บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ศุภวัตร รัตอนันต์. การประเมินค่าปริมาณน้ำที่สูญเสียโดยรั่วซึมในคูส่งน้ำชลประทานที่เป็นดินเหนียว หน้า 1-8 กรุงเทพมหานคร:2522.

จารึน อัตถะโยธิน. คู่มือการส่งน้ำและบำรุงรักษา, หน้า 115-118. กรุงเทพมหานคร: กองชลประทาน กรมชลประทาน, 2522.

วรุณ คุณวาสี. ไฮดรอลิคซ, หน้า 178-182, 194-197 กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2519.

ธำรง เปรมปรีดิ์ และ จักรี จัตุทะศรี. ชลศาสตร์และเครื่องกลพลังน้ำ หน้า 23-24. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2520.

ธำรง เปรมปรีดิ์. อุทกวิทยาประยุกต์ หน้า 169-171 กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2517.

ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. กลศาสตร์ของไหล หน้า 215-217 กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ที่ห้างหุ้นส่วนจำกัด ศึกษาสัมพันธ์, 2520.

ภาษาอังกฤษ

Ranald V. Giles. Fluid Mechanics and Hydraulic, pp. 160-162. Second Editions McGraw-Hill Book Company. New York: Schaum Publishing Company, 1962.

Ven Te Chow. Open-Channel Hydraulics, 3-12, 39-41. International Student Edition. Tokyo: McGraw-Hill Kogakusha, LTD, 1969.

Sherman M. Woodward and Chesly J. Posly. Hydraulics of Steady Flow in Open Channels, pp. 2-7. New York: John Wiley & Sons, 1958.

Serge Leliavsky. Irrigation and Hydraulic Design, pp. 360-365. Volume 1. London: General Principles of Hydraulic Design Chapman and Hall LTD, 1955.

R.L. Daugherty and A.C. Ingersoll, Fluid Mechanics, pp. 234-237. With Engineering Applications Fifth Edition. New York:McGraw-Hill Book Company, 1954.

Horace W. King Chester, O. Wisler and James G. Woodburn. Hydraulics, pp. 240-250 Fifth Edition University of Michigan, New York: John Wiley & Sons, 1922.

E.H. Lewitt. Hydraulics and Fluid Mechanics, pp. 250-261. Tenth Edition, London: Pitman Publishing Corporation, 1958.

A.J. Aisenbreg, Jr. R.B. Hayes, H.J. Warren, D.L. Winsett, R.B. Young. Design of Small Canal Structures, pp. 38-39. United States Department of the Interior. Denver: A Water Resources Technical Publication, 1974.

Victor L. Streeter. Fluid Mechanics, pp. 542-544. Four Edition. New York: McGraw-Hill Book Company 1966.

John A. Roberson And Clayton T. Crowe. Engineering Fluid Mechanics, pp. 602-607. Second Edition Washington State University. Boston: Hough Mifflin Company, 1976.

Robert H.J. Sellin. Flow In Channels, pp. 37-40. New York: Macmillan St. Martin's Press, 1969.

George E. Russell. Hydraulics, pp. 269-276. Fifth Edition Holt Rinheart and Winston. New York: Henery Holt Company, 1941.

Calvin Victor Davis. Hand Book of Applied Hydraulics, pp. 1203-1204. Second Edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1952.

ภาคผนวก ก.

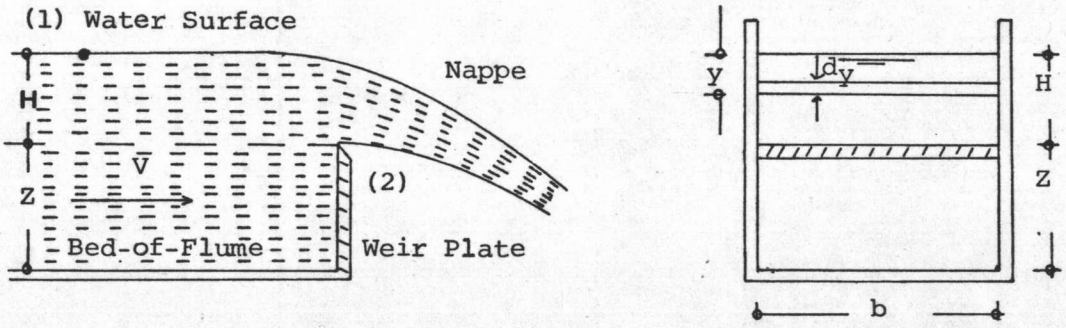
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

เวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ก. เวีย (Weirs) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณการไหลของน้ำจากที่กักเก็บน้ำหรือจากอ่างกักน้ำ เพื่อที่จะให้การวัดปริมาณการไหลของน้ำได้ค่ามาตรฐานและมีผลที่แน่นอนยอดสันของเวียต้องคม ลักษณะรูปแบบต่าง ๆ ของเวีย นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมีรูปแบบแน่นอน เช่น รูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมคางหมูวางขวางกั้นการไหลของน้ำ ตัวอย่างการไหลของน้ำผ่านประตูน้ำหรือการไหลของน้ำผ่านเขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น ปริมาณการไหลของน้ำผ่านเวียอาจจะเป็นแบบอิสสระ (Free) หรือแบบจมอยู่ใต้น้ำก็ได้ (Submerged) ถ้าผิวทางท้ายน้ำจากเวียอยู่ต่ำกว่ายอดของสันเวีย การไหลของน้ำเป็นแบบอิสสระ ถ้าผิวน้ำทางท้ายน้ำอยู่สูงกว่ายอดสันเวียแล้ว เวียจะจมอยู่ใต้น้ำ

การหาอัตราการไหลโดยใช้เวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูป ก.1 หลักการของเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จากรูป b = ความกว้างของเวีย

H = ระดับความสูงจากสันเวียถึงผิวน้ำ

Z = ความสูงของสันเวีย

C_d = ส.ป.ส. แห่งการไหลออก (ได้จากการทดลอง)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการ Bernoulli

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \quad \text{.....(ก-1)}$$

เมื่อ $P_1 = P_2 = 0$

V_1 = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำ = $\frac{Q}{b.(H+Z)}$

V_2 = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำขณะผ่านเวียร

$Z_1 = y, \quad Z_2 = 0$

$$0 + \frac{V_1^2}{2g} + y = 0 + \frac{V_2^2}{2g} + 0$$

$$V_2 = \sqrt{2g(y + \frac{V_1^2}{2g})} \quad \text{.....(ก-2)}$$

แต่จากสมการของการไหลสม่ำเสมอ

$$dQ = d(A.V.)$$

$$= A.dV + V.dA$$

ให้ $dV = 0$

$$dQ = VdA = V_2 dA \quad \text{.....(ก-3)}$$

$$= \sqrt{2g(y + \frac{V_1^2}{2g})}.dA$$

เมื่อ $dA = b.(dy)$

$$dQ = b.(dy)\sqrt{2g}[y + \frac{V_1^2}{2g}]^{1/2}$$

$$\int_0^H dQ = b\sqrt{2g} \int_0^H (y + \frac{V_1^2}{2g})^{1/2}. dy$$

ถ้า Cd = สัมประสิทธิ์แห่งการไหลออกผ่านเวียร

$$Q = \frac{2}{3} Cd.b\sqrt{2g}[(H + \frac{V_1^2}{2g})^{3/2} - (\frac{V_1^2}{2g})^{3/2}]$$

ให้ค่าคงที่ $K = \frac{2}{3} Cd\sqrt{2g}.b$

$$Q = \frac{2}{3} Cd\sqrt{2g}.b[(H + \frac{V_1^2}{2g})^{3/2} - (\frac{V_1^2}{2g})^{3/2}] \quad \ldots\ldots (n-4)$$

ในกรณีที่ไม่คิดความเร็ว (V_1) เข้าใกล้

$$Q = KH^{3/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (n-5)$$

ข. การ Calibrate เวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในการทดลองเพื่อวิจัยหาค่าความสัมพันธ์ของแฟคเตอร์ความเสียดทาน (f) และเรย์โนลด์นัมเบอร์ (R_e) เพื่อศึกษาสภาพการไหลของมวลน้ำในทางน้ำไหลสังกะสีรูปครึ่งวงกลมทั้ง 3 แบบ จะต้องใช้เวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ต่อติดกับต้นทางน้ำไหลรูปจำลองทำด้วยสังกะสีรูปครึ่งวงกลม เพื่อที่จะหาปริมาณการไหลของน้ำที่ไหลล้นผ่านเวีย โดยมีขนาดของช่องเปิดเวียกว้าง 0.15 เมตร ลึก 0.35 เมตร จากที่ได้กล่าวมาเบื้องต้นแล้วถึงสูตรสมการปริมาณการไหลของน้ำล้นผ่านเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังนี้

$$Q = \frac{2}{3} Cd\sqrt{2g}.b.H^{3/2}$$

เพื่อให้การวัดค่าปริมาณการไหลของน้ำล้นผ่านเวียเข้าใจยิ่งขึ้นและได้ผลแน่นอนสำหรับเวียอันหนึ่ง ๆ โดยสมมุติให้ปริมาณการไหลแปรตาม H ดังนี้

$$Q = KH^n$$

ให้ Calibrate เวียเสียก่อนเพื่อหาค่า K และ n โดยทดลองวัดค่าความสูงที่ระดับผิวน้ำเหนือขอบสันเวีย (H) ที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน และทำ Weight Time Measurement เพื่อหาค่าปริมาณการไหล (Q) ต่าง ๆ ดังมีอยู่ในตาราง ก.1 ขั้นต่อไปคำนวณโดยวิธี Correlation and Least-Square Method แปลงข้อมูลต่าง ๆ ในตาราง ก.1 ให้เป็นค่า log และจาก $Q = KH^n$ และได้สมการดังนี้

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

หรือเปลี่ยนรูปให้เป็น $y = A + nx$ ซึ่งเป็นสมการเส้นตรง วิธีการพล็อตข้อมูลอาจใช้สายตาคาดคะเนเฉลี่ยและลากเส้นตรงนั้น แต่เป็นวิธีที่ไม่ดี เพราะการใช้สายตาคาดคะเน

อาจวางเส้นผิดที่ได้ง่าย ทำให้ความเอนเอียงของเส้นตรงคลาดเคลื่อนได้ วิธีที่ดีควรวางเส้นตรงโดยอาศัยหลักให้เส้นตรงผ่านจุด Mean พิกัด โดยใช้ไม้บรรทัดทาบผ่านจุด Mean แล้วหมุนไปเรื่อย ๆ จนได้แนวเส้นที่ดีที่สุดเป็นสมการเส้นตรงหรือเรียกว่า สมการ Regression

วิธีทำนำข้อมูลจากตาราง ก.2 ซึ่งแปลงมาจากตาราง ก.1 หาค่า Coefficient of Correlation เพื่อศึกษาข้อมูลจากตาราง ก. ว่ามีความสัมพันธ์กันดีมากหรือน้อยเพียงใดและมีความเหมาะสมที่จะเป็นสมการ Regression ได้หรือไม่

เช่นมีสมการเส้นตรง

$$Y = a_1X + b_1 \qquad \text{.....} \quad (ก-6)$$

a_1 และ b_1

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

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

ค่า x และ y เป็นข้อมูลต่าง ๆ แต่ละค่าที่ได้จากการทดลอง, $\bar{x}$ และ $\bar{y}$ เป็นค่ามัชฌิมเลขคณิตของแต่ละข้อมูล

$$\text{Coefficient of Correlation } (r) = \frac{\Sigma(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x - \bar{y})^2, \Sigma(y - \bar{y})^2}}$$

ถ้า $r = 1$ หมายถึงค่า x และ y มีความสัมพันธ์โดยตรงและสมการ Regression ใช้ได้แน่นอน

ถ้า $0.6<r<1$ หมายถึงค่า x และ y มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดี

ถ้า $0<r<0.6$ หมายถึงค่า x และ y มีความสัมพันธ์น้อย

ถ้า $r = 0$ หมายถึงค่า x และ y ไม่มีความสัมพันธ์ด้วยกัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และสมการ Regression ใช้ไม่ได้

วิธีทำ

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

นำค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ในตาราง ก.2 มาแทนค่า

$$r = \frac{1.4636}{\sqrt{(1.0039)(2.1370)}} = 0.9993$$

แสดงว่าค่า r ที่คำนวณได้อยู่ระหว่าง $0.60<r<1$ ดังนั้น ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากทดลองของค่า x และ y มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดี

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

$$a_1 = \frac{1.4636}{1.0039} = 1.4579$$

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

$$b_1 = - 2.2045 + (1.4579)(1.1044)$$

$$= - 0.5944$$

ดังนั้น สามารถเขียนข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้ให้เป็นสมการเส้นตรงได้

$$y = a_1x + b_1 \qquad \text{..... (ก-7)}$$

นำตัวคงที่ a_1, b_1 แทนค่าสมการได้

$$y = 1.4579\ x - 0.5944$$

นำผลการคำนวณข้อมูลจากตาราง ก.2 มาพล๊อตกราฟแล้ว สมมุติค่า X ต่าง ๆ แทนสมการ (ก-6)

$X = -0.80, \quad Y = -1.7607$

$X = -1.00, \quad Y = -2.0523$

$X = -1.20, \quad Y = -2.3439$

$X = -1.50, \quad Y = -2.7813$

เอาค่า x, y ต่าง ๆ มาพล๊อตกราฟลงในรูป ก.2 แล้วลากเส้นตรง จะได้เส้นตรงมัชฌิมข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้

<u>สูตรสมการของเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า</u>

$$Q = KH^n$$

$$\log Q = \log K + n \log H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก-8)}$$

เมื่อ $H = 1, \log H = 0$

$$\log Q = \log K$$

จากสมการ (ก-6) เทียบกับสมการ (ก-7) เมื่อ x หรือ $\log H = 0$ และ y หรือ $\log Q = -0.5944$

$$\log K = -0.5944$$

$$K = 0.2545$$

จากสมการ (ก-7) ได้

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

$$n = \frac{\log Q - \log K}{\log H} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก-9)}$$

เมื่อ log K = -0.5944 (ค่าที่คำนวณได้) และจากรูป ก.2 ได้ log Q = -2.1958 log H = 1.10 แทนค่าสมการ (ก-9) ดังนี้

$$n = \frac{-2.1958 + 0.5944}{-1.10}$$

$$n = 1.4558$$

นั่นคือ $$Q = 0.2545\ H^{1.4558} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(ก-10)}$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก. 1 ผลการทดลองระหว่าง H(m) และ Q(m^3/s) โดยวิธี Weight Time Measurement

$$Q = \frac{W}{\gamma t} \quad m^3/s$$

ลำดับ	H m	W kg	T ^oC	γ kg/m^3	t s	Q 10^{-2} m^3/s
1	0.0315	100	27.50	996.40	61.80	0.1624
2	0.0383	25	27.50	996.40	24.58	0.2034
3	0.0390	100	27.50	996.40	42.57	0.2358
4	0.0410	25	27.50	996.40	10.20	0.2460
5	0.0449	100	27.50	996.40	34.52	0.2907
6	0.0515	200	27.50	996.40	29.60	0.3391
7	0.0595	200	27.50	996.40	48.70	0.4122
8	0.0616	200	27.50	996.40	45.55	0.4407
9	0.0645	200	27.50	996.40	42.43	0.4731
10	0.0707	200	27.50	996.40	37.30	0.5381
11	0.0741	200	27.50	996.40	34.99	0.5737
12	0.0749	200	27.50	996.40	34.67	0.5790

ตาราง ก.1 (ต่อ)

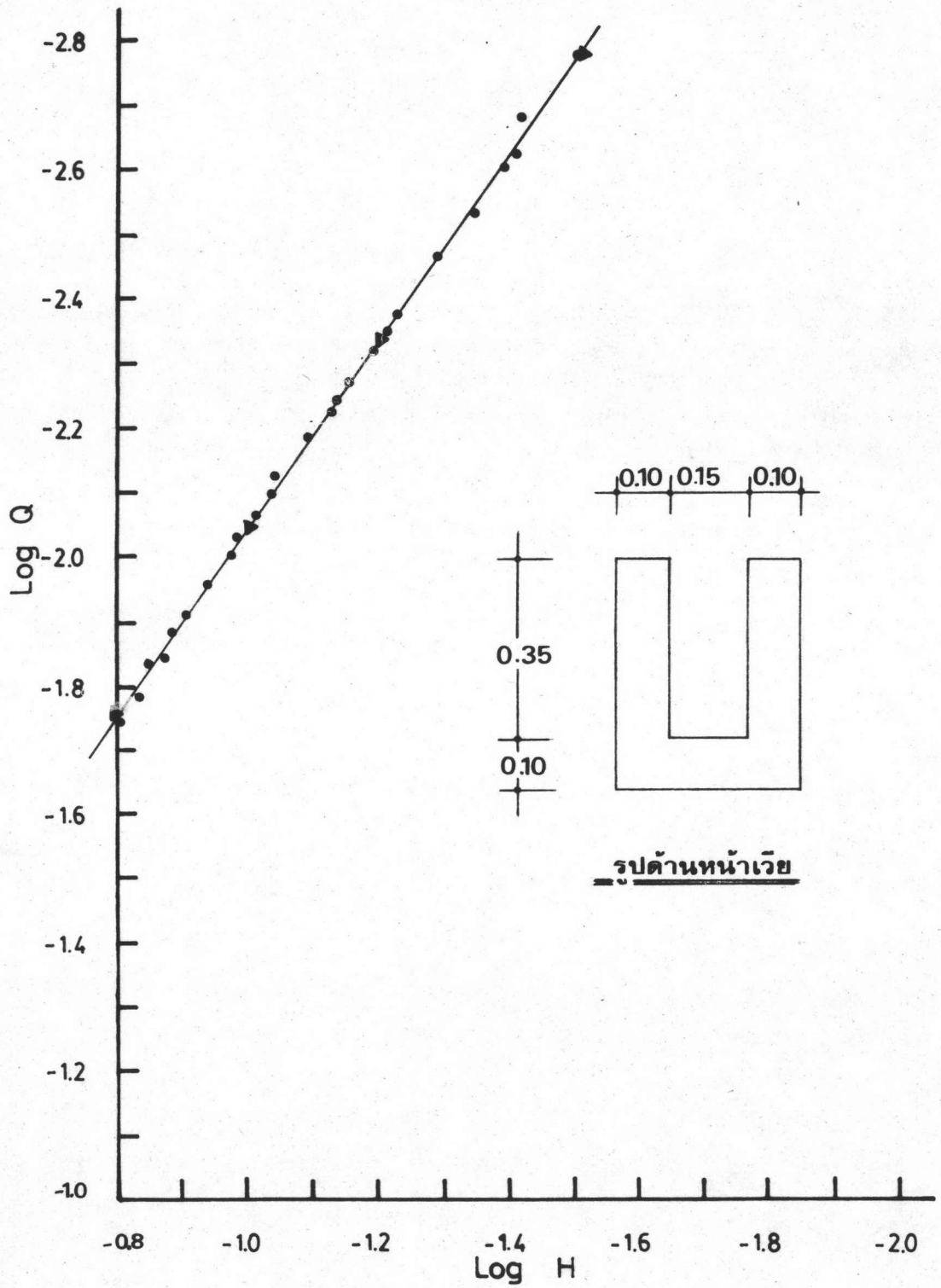
ลำดับ	H m	W kg	T ^{o}C	γ kg/m^3	t s	Q $10^{-2} m^3/s$
13	0.0813	200	27.50	996.40	31.63	0.6346
14	0.0895	200	27.50	996.40	27.20	0.7380
15	0.0926	200	27.50	996.40	25.49	0.7875
16	0.0975	200	27.50	996.40	23.63	0.8495
17	0.1041	200	27.50	996.40	21.97	0.9136
18	0.1057	200	27.50	996.40	20.68	0.9706
19	0.1153	200	27.50	996.40	18.43	1.0891
20	0.1245	200	27.50	996.40	16.60	1.2092
21	0.1295	200	27.50	996.40	15.63	1.2842
22	0.1346	200	27.50	996.40	14.35	1.3988
23	0.1423	200	27.50	996.40	13.83	1.4514
24	0.1475	200	27.50	996.40	12.44	1.6135
25	0.1565	200	27.50	996.40	11.63	1.7259

ตาราง ก.2 นำผลทดลองจากตาราง ก.1 มาคำนวณโดยวิธี Least - Squares Methods

ลำดับ	X=log H	Y=log Q	$(X-\bar{X})$	$(Y-\bar{Y})$	$(X-\bar{X})^2$ 10^{-1}	$(Y-\bar{Y})^2$ 10^{-1}	$(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})$ 10^{-1}
1	- 1.5017	- 2.7894	- 0.3973	- 0.5849	1.5785	3.4211	2.3238
2	- 1.4168	- 2.6917	- 0.3123	- 0.4872	0.9753	2.3736	1.5122
3	- 1.4089	- 2.6275	- 0.3045	- 0.4230	0.9272	1.7893	1.2880
4	- 1.3872	- 2.6091	- 0.2828	- 0.4046	0.7998	1.6370	1.1442
5	- 1.3478	- 2.5365	- 0.2434	- 0.3320	0.5924	1.1022	0.8081
6	- 1.2882	- 2.4697	- 0.1838	- 0.2652	0.3378	0.7033	0.4847
7	- 1.2255	- 2.3849	- 0.1211	- 0.1804	0.1467	0.3254	0.2185
8	- 1.2104	- 2.3557	- 0.1060	- 0.1512	0.1124	0.2286	0.1603
9	- 1.1904	- 2.3251	- 0.0860	- 0.1206	0.0740	0.1454	0.1037
10	- 1.1506	- 2.2691	- 0.0462	- 0.0646	0.0213	0.0417	0.0299
11	- 1.1302	- 2.2413	- 0.0258	- 0.0368	0.0067	0.0135	0.0095
12	- 1.1255	- 2.2373	- 0.0211	- 0.0328	0.0045	0.0108	0.0069
13	- 1.0899	- 2.1975	0.0145	0.0070	0.0021	0.0005	0.0010

ตาราง ก.2 (ต่อ)

ลำดับ	X=log H	Y=log Q	$(X-\bar{X})$	$(Y-\bar{Y})$	$(X-\bar{X})^2$ 10^{-1}	$(Y-\bar{Y})^2$ 10^{-1}	$(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})$ 10^{-1}
14	- 1.0482	- 2.1319	0.0562	0.0726	0.0316	0.0527	0.0408
15	- 1.0334	- 2.1038	0.0710	0.1007	0.0504	0.1014	0.0715
16	- 1.0110	- 2.0708	0.0934	0.1337	0.0872	0.1788	0.1249
17	- 0.9830	- 2.0392	0.1214	0.1653	0.1474	0.2732	0.2007
18	- 0.9759	- 2.0130	0.1285	0.1915	0.1651	0.3667	0.2461
19	- 0.9382	- 1.9629	0.1662	0.2416	0.2762	0.5837	0.4015
20	- 0.9048	- 1.9175	0.1996	0.2870	0.3984	0.8237	0.5729
21	- 0.8877	- 1.8914	0.2167	0.3131	0.4696	0.9803	0.6785
22	- 0.8710	- 1.8543	0.2334	0.3502	0.5448	1.2264	0.8174
23	- 0.8468	- 1.8382	0.2576	0.3663	0.6636	1.3418	0.9436
24	- 0.8312	- 1.7922	0.2732	0.4123	0.7464	1.6999	1.1264
25	- 0.8055	- 1.7630	0.2989	0.4415	0.8934	1.9492	1.3196
	$\bar{X}$= -1.1044	$\bar{Y}$= -2.2045			Σ=1.0039	Σ=2.1370	Σ=1.4636



รูป ก.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Log H และ Log Q ในเวียรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข.1 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ หน่วยเมตริก

Temp. ^{o}C	Specific Weight γ, kg/m^3	Density ρ, $kg.s^2/m^4$	Dynamic Viscosity μ, $kg.s/m^2$ $10^6\ \mu$ =	Kinematic Viscosity ν, m^2/s $10^6\ \nu$ =	Surface tension σ, kg/m $100\ \sigma$ =	Elastic Modulus K, kg/m^2 $10^{-3}K$ =
0	999.9	101.95	182.9	1.794	0.7709	206008
5	1000.0	101.95	155.2	1.522	0.7642	207485
10	999.7	101.95	133.5	1.310	0.7575	214446
15	999.2	101.86	117.03	1.149	0.7508	218242
20	998.2	101.76	103.08	1.013	0.7453	223726
25	997.1	101.67	91.53	0.900	0.7358	225976
30	995.7	101.54	81.82	0.806	0.7268	226820
35	994.1	101.38	73.70	0.727	0.7188	228508
40	992.2	101.19	66.81	0.660	0.7101	231039
45	990.2	100.98	60.99	0.604	0.7003	233148
50	988.0	100.75	56.08	0.557	0.6905	234273
55	985.6	100.51	51.75	0.515	0.6837	234554
60	983.2	100.27	47.9	0.478	0.6756	232023
70	977.8	99.71	41.6	0.417	0.6581	229492
80	971.8	99.10	36.53	0.369	0.6384	222601
90	965.2	98.41	32.38	0.329	0.6194	217610
100	958.4	97.75	29.0	0.296	0.6012	210930

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.2 ค่า C ต่างๆในสูตร Ganguillet และ Kutter หน่วยอังกฤษ

$\sqrt{m}$	n	Slopes						n	Slopes					
		0·00005	0·00006	0·0001	0·0002	0·0004	0·001		0·00005	0·00006	0·0001	0·0002	0·0004	0·001
1	0·010	141	144	148	152	155	156	0·013	104	107	110	113	115	117
1·5		169	170	171	173	174	174		128	129	130	132	132	133
2·0		187	187	186	185	185	185		145	144	144	143	143	142
2·5		201	198	196	194	192	192		157	155	153	151	150	149
3		210	207	204	200	198	196		167	164	161	157	155	154
1	0·017	76·7	78·6	80·7	83·3	84·8	86·0	0·020	63·7	65·2	66·9	69·2	70·6	71·5
1·5		96·9	97·6	98·5	99·4	99·9	100		81·7	82·3	83·1	83·9	84·4	84·8
2·0		112	111	111	110	110	110		95·2	94·8	94·4	93·9	93·6	93·5
2·5		123	121	120	118	117	116		106	104	103	101	100	99·6
3·0		132	129	126	123	122	121		114	112	109	107	105	104
3·5		139	135	132	128	126	124		121	118	115	111	109	108
4·0		144	140	136	131	129	127		127	123	119	114	112	110
1	0·0225	55·7	57·0	58·5	60·5	61·7	62·3	0·025	49·4	50·5	51·8	53·6	54·6	55·4
1·5		72·3	72·8	73·4	74·2	74·7	74·9		64·7	65·2	65·8	66·5	66·9	67·2
2·0		84·9	84·5	84·2	83·7	83·5	83·3		76·6	76·3	76·0	75·6	75·3	75·1
2·5		94·8	93·7	92·3	90·7	89·8	89·3		86·1	85·0	83·8	82·3	81·5	80·9
3·0		103	101	98·6	96·1	94·6	93·8		93·8	92·0	89·9	87·5	86·2	85·3
3·5		110	107	104	100	98·4	97·4		100	97·7	94·9	91·7	89·9	88·7
4·0		115	112	108	104	101	100		106	103	99·0	95·0	92·8	91·5
1	0·030	40·2	41·1	42·1	43·5	44·3	44·9	0·035	33·8	34·4	35·4	36·4	37·1	37·6
1·5		53·5	53·9	54·3	54·9	55·2	55·5		45·6	45·9	46·2	46·7	47·0	47·2
2·0		64·1	63·9	63·6	63·2	63·0	62·9		55·1	55·0	54·7	54·4	54·2	54·1
2·5		72·8	71·8	70·8	69·6	68·8	68·3		63·1	62·4	61·5	60·4	59·7	59·3
3·0		80·0	78·5	76·6	74·5	73·3	72·6		69·8	68·5	67·0	65·1	64·0	63·3
3·5		86·0	83·9	81·4	78·6	76·9	75·9		75·6	73·7	71·6	69·0	67·5	66·6
4·0		91·2	88·5	85·4	81·9	79·9	78·6		80·6	78·1	75·4	72·2	70·4	69·2

ตาราง ข.3 ค่า C ต่าง ๆ ในสูตร Ganguillet และ Kutter หน่วยแมตริก

Hydraulic Mean Radius m	n	Slope							n	Slope						
		0·000025	0·00005	0·0001	0·0002	0·0004	0·001	0·01		0·000025	0·00005	0·0001	0·0002	0·0004	0·001	0·01
0·05	0·010	38	44	51	54	56	57	58	0·013	28	31	35	38	40	41	42
0·1		49	56	61	65	68	70	71		36	30	44	47	49	50	51
0·2		68	70	74	77	78	79	80		46	50	53	56	58	59	59
0·3		72	77	81	84	85	86	86		53	57	60	63	64	64	65
0·5		83	86	84	90	91	91	91		62	65	67	69	69	70	70
1·0		100	100	100	100	100	100	100		77	77	77	77	77	77	77
2·0		115	111	109	107	106	105	105		90	87	85	84	83	82	82
3·0		124	117	113	111	110	109	108		99	94	89	88	87	86	85
5·0		134	123	118	115	113	112	111		108	100	93	91	90	89	88
15·0		151	135	125	121	118	117	116		125	114	102	98	96	94	92
0·05	0·017	19	22	24	26	28	29	29	0·020	15	18	20	21	23	23	24
0·1		25	29	32	34	35	36	36		21	23	25	28	29	29	30
0·2		34	37	39	41	42	42	43		28	30	32	34	35	36	36
0·3		40	48	45	46	47	47	48		33	35	37	38	39	40	40
0·5		47	49	50	51	51	52	52		40	41	42	43	43	44	44
1·0		58	58	58	58	58	58	58		50	50	50	50	50	50	50
2·0		71	69	67	66	65	64	64		61	59	57	56	56	55	55
3·0		78	74	71	70	69	68	68		69	64	61	59	59	58	58
5·0		87	79	75	73	72	71	70		76	70	66	63	62	61	61
15·0		105	90	83	79	77	76	75		94	81	74	70	68	67	66
0·05	0·025	12	13	15	16	17	18	18	0·030	10	11	12	13	13	14	14
0·1		17	18	19	20	21	22	22		13	14	15	16	17	18	18
0·2		22	23	24	25	26	27	27		18	19	19	20	21	22	22
0·3		26	28	29	30	30	31	31		21	22	23	24	24	25	25
0 5		31	32	33	34	34	35	35		25	26	27	27	28	29	29
1·0		40	40	40	40	40	40	40		33	33	33	33	33	33	33
2·0		50	48	47	46	45	45	45		42	41	40	40	39	38	38
3·0		56	53	51	49	48	48	47		48	45	43	42	42	41	41
5·0		64	59	54	53	52	51	50		56	51	47	45	44	43	43
15·0		81	71	63	59	57	56	55		76	62	55	52	51	49	48
0·05	0·035	8	9	9	10	10	11	11	0·040	6	7	7	8	8	9	9
0·1		11	12	12	13	13	14	14		9	10	11	11	12	12	12
0·2		15	16	16	17	17	18	18		13	14	14	15	15	16	16
0·3		18	19	19	20	20	21	21		15	16	17	18	18	18	18
0·5		22	23	23	23	24	24	24		19	19	20	20	21	21	21
1·0		29	29	29	29	29	29	29		25	25	25	25	25	25	25
2·0		36	35	34	34	33	33	33		32	31	31	30	30	29	29
3·0		42	40	38	37	36	36	36		37	35	34	33	32	32	32
5·0		49	45	43	42	41	40	39		44	41	39	38	37	36	35
15·0		65	56	51	47	45	44	43		59	52	46	43	42	41	40

ตาราง ข. 4 ค่า C ต่าง ๆ ในสูตร Manning หน่วยอังกฤษ

$\sqrt{n}$	*Values of n*												
	0·009	0·010	0·011	0·012	0·013	0·015	0·017	0·020	0·0225	0·025	0·275	0·30	0·35
0·4	121	100	98	91	84	73	64	55	49	44	40	36	31
0·5	131	118	106	98	91	79	69	59	52	47	43	39	34
0·6	140	125	113	104	97	84	72	63	56	50	45	42	35
0·7	147	132	119	110	102	88	80	66	59	53	48	44	38
0·8	153	138	124	115	106	92	81	70	61	55	50	46	39
0·9	159	143	129	120	111	96	84	72	64	57	52	48	41
1·0	165	149	134	124	114	99	87	74	66	59	54	50	43
1·1	170	153	138	128	118	102	90	77	68	61	56	51	44
1·2	176	158	142	132	122	106	93	79	70	63	58	53	45
1·3	180	162	146	135	125	108	95	81	72	65	59	54	46
1·4	185	167	150	139	128	111	98	84	74	67	61	56	48
1·5	190	170	154	142	131	114	101	86	76	68	62	57	49
1·6	194	173	157	145	134	116	103	87	78	70	63	58	50
1·7	198	178	161	149	137	119	105	89	79	71	65	59	51
1·8	201	180	163	151	140	121	108	91	81	73	66	61	52
1·9	205	184	166	154	142	123	109	92	82	74	67	62	53
2·0	208	187	169	156	144	125	110	94	83	75	68	62	54
2·1	212	190	171	159	147	127	113	95	85	76	69	64	54
2·2	215	193	174	161	149	129	114	97	86	78	70	65	55
2·3	218	196	177	163	151	131	116	98	87	79	71	66	56
2·4	221	199	179	166	153	133	117	100	88	80	72	66	57
2·5	224	202	182	168	155	135	119	101	90	81	73	67	58
2·6	227	204	184	170	157	136	120	102	91	82	74	68	58
2·7	230	207	186	172	159	138	122	104	92	83	75	69	59
2·8	233	209	189	174	161	140	123	105	93	84	76	70	60
2·9	235	212	191	177	163	141	125	106	94	85	77	71	60
3·0	238	214	193	179	165	143	126	107	95	86	78	71	61
3·1	241	217	195	180	167	144	128	108	96	87	79	72	62
3·2	243	219	197	183	168	146	129	110	97	88	80	73	63
3·3	246	221	199	184	170	147	130	111	98	88	81	74	63
3·4	248	223	201	186	172	149	132	112	99	89	81	74	64
3·5	251	226	203	188	174	150	133	113	100	90	82	75	65
3·6	253	228	205	190	175	152	134	114	101	91	83	76	65
3·7	255	230	207	192	177	153	135	115	102	92	84	77	66
3·8	258	232	209	193	178	154	137	116	103	93	84	77	66
3·9	260	234	211	195	180	156	138	117	104	94	85	78	67
4·0	262	236	212	197	181	157	139	118	105	94	86	79	67

ตาราง ข. 6 ค่า C ต่าง ๆ ในสูตร Bazin หน่วยอังกฤษ

$\sqrt{m}$	*Values of Rugosity Factor γ*					
	0·06	0·16	0·46	0·85	1·30	1·75
	Values of Coefficient C					
0·4	124	91·8	51·1	32·8	23·2	17·9
0·5	130	99·9	59·1	38·6	27·6	21·5
0·6	133	106	66·1	44·2	32·0	25·2
0·7	136	115	71·9	49·2	36·0	28·6
0·8	139	116	77·1	53·2	40·0	31·9
0·9	141	119	81·7	58·0	43·6	34·9
1·0	142	112	85·9	61·9	47·1	37·8
1·1	144	125	89·6	65·7	50·2	40·6
1·2	144	127	93·1	69·0	53·2	43·3
1·3	145	129	96·1	72·1	56·0	45·8
1·4	146	131	98·8	74·9	58·8	48·2
1·5	147	132	101	77·6	61·3	50·5
1·6	148	133	104	80·3	63·8	52·8
1·7	148	135	106	82·6	66·1	55·0
1·8	149	136	108	84·9	68·3	57·0
1·9	149	137	110	86·9	70·3	59·0
2·0	149	138	111	88·9	72·2	61·0
2·1	150	138	113	90·9	74·2	62·8
2·2	150	139	114	92·5	76·1	64·6
2·3	150	140	116	94·3	77·9	66·3
2·4	151	141	117	95·8	79·6	67·9
2·5	151	141	118	97·4	81·2	69·5
2·6	151	142	119	99·0	82·8	71·1
2·7	151	142	120	100	84·2	72·5
2·8	152	143	121	102	85·6	73·8
2·9	152	143	122	103	86·9	75·2
3·0	152	144	123	104	88·1	76·5
3·1	152	144	124	105	89·4	77·9
3·2	152	144	125	106	90·7	79·2
3·3	152	145	126	107	91·9	80·3
3·4	153	145	127	109	93·1	81·5
3·5	153	145	127	110	94·2	82·6
3·6	153	146	128	110	95·3	83·8
3·7	153	146	129	111	96·2	84·7
3·8	153	146	129	112	97·2	85·8
3·9	153	147	130	113	98·2	86·3
4·0	153	147	130	114	99·2	87·8

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.7 ค่า C ต่าง ๆ ในสูตร Bazin หน่วยเมตริก

γ	0·06	0·16	0·46	0·85	1·30	1·75	γ	0·06	0·16	0·46	0·85	1·30	1·75
m							m						
0·05	68·5	50·7	28·5	18·1	12·8	9·9	0·45	79·8	70·2	51·6	38·4	29·6	24·1
0·06	69·8	52·6	30·2	19·4	13·8	10·7	0·46	79·9	70·4	51·8	38·6	29·8	24·3
0·07	70·9	54·2	31·7	20·6	14·7	11·4	0·47	80·0	70·5	52·0	38·8	30·0	24·5
0·08	71·8	55·6	33·1	21·7	15·5	12·1	0·48	80·0	70·6	52·8	39·1	30·2	24·7
0·09	72·5	56·7	34·4	22·7	16·3	12·7	0·49	80·1	70·8	52·5	39·3	30·4	24·8
0·10	78·1	57·7	35·5	23·6	17·0	13·3	0·50	80·2	70·9	52·7	39·5	30·6	25·0
0·11	73·6	58·7	36·5	24·4	17·7	13·9	0·55	80·4	71·5	53·7	40·5	31·6	25·9
0·12	74·1	59·5	37·4	25·2	18·3	14·4	0·60	80·7	72·1	54·6	41·4	32·5	26·7
0·13	74·6	60·2	38·2	25·9	18·9	14·9	0·65	80·9	72·6	55·4	42·3	33·3	27·4
0·14	75·0	60·9	39·0	26·7	19·4	15·3	0·70	81·1	73·0	56·1	43·1	34·1	28·1
0·15	75·8	61·5	39·7	27·2	19·9	15·8	0·75	81·3	73·4	56·8	43·9	34·8	28·8
0·16	75·6	62·1	40·5	27·8	20·4	16·2	0·80	81·5	73·8	57·4	44·6	35·5	29·4
0·17	75·9	62·7	41·2	28·4	20·9	16·6	0·85	81·7	73·1	58·0	45·2	36·1	30·0
0·18	76·2	63·2	41·8	29·0	21·4	17·0	9·90	81·8	73·4	58·6	45·9	36·7	30·6
0·19	76·5	63·6	42·4	29·5	21·8	17·3	0·95	81·9	74·7	59·1	46·5	37·3	31·1
0·20	76·7	64·1	42·9	30·0	22·3	17·7	1·00	82·0	75·0	59·6	47·0	37·8	31·6
0·21	76·9	64·5	43·5	30·5	22·7	18·1	1·10	82·2	75·4	60·5	48·0	38·8	32·6
0·22	77·1	64·9	44·0	30·9	23·1	18·4	1·20	82·4	75·9	61·3	48·9	39·7	33·5
0·23	77·8	65·2	44·4	31·4	23·4	18·7	1·30	82·6	76·3	62·0	49·8	40·6	34·3
0·24	77·5	65·5	44·8	31·8	23·8	19·0	1·40	82·8	76·6	62·6	50·6	41·4	35·1
0·25	77·6	65·9	45·3	32·2	24·8	19·3	1·50	82·9	76·9	63·2	51·3	42·2	35·8
0·26	77·8	66·2	45·7	32·6	24·5	19·6	1·60	83·0	77·2	63·8	52·0	42·9	36·5
0·27	78·0	66·5	46·1	33·0	24·8	19·9	1·70	83·1	77·5	64·3	52·6	43·6	37·1
0·28	78·1	66·8	46·5	33·4	25·2	20·2	1·80	83·2	77·7	64·8	53·2	44·2	37·7
0·29	78·3	67·0	46·9	33·7	25·5	20·5	1·90	83·3	77·9	65·2	53·8	44·8	38·3
0·30	78·4	67·3	47·3	34·1	25·8	20·7	2·00	83·4	78·1	65·6	54·3	45·8	38·9
0·31	78·5	67·6	47·6	34·3	26·1	21·0	2·20	83·6	78·5	66·4	55·3	46·4	39·9
0·32	78·6	67·8	47·9	34·7	26·4	21·2	2·40	83·7	78·8	67·1	56·2	47·3	40·8
0·33	78·8	68·0	48·2	35·1	26·7	21·5	2·60	83·8	79·1	67·7	57·0	48·1	41·7
0·34	78·9	68·2	48·5	35·4	26·9	21·7	2·80	83·9	79·4	68·2	57·7	48·9	42·5
0·35	79·0	68·4	48·8	35·7	27·2	22·0	3·00	84·0	79·6	68·7	58·3	49·7	43·3
0·36	79·1	68·6	49·2	36·0	27·5	22·2	3·20	84·1	79·8	69·2	58·9	50·4	44·0
0·37	79·2	68·8	49·5	36·3	27·7	22·4	3·40	84·2	80·0	69·6	59·5	51·0	44·6
0·38	79·2	69·0	49·8	36·6	28·0	22·7	3·60	84·3	80·2	70·0	60·1	51·6	45·2
0·39	79·3	69·2	50·1	36·8	28·2	22·9	3·80	84·4	80·4	70·4	60·6	52·2	45·8
0·40	79·4	69·4	50·4	37·1	28·5	23·1	4·00	84·4	80·5	70·7	61·0	52·7	46·4
0·41	79·5	69·6	50·6	37·4	28·7	23·3	4·50	84·6	80·9	71·5	62·1	53·9	47·6
0·42	79·6	69·7	50·9	37·6	28·9	23·5	5·00	84·7	81·2	72·1	63·0	55·0	48·8
0·43	79·7	69·9	51·1	37·9	29·2	23·7	5·50	84·8	81·4	72·7	63·8	56·0	49·8
0·44	79·7	70·1	51·4	38·1	29·4	23·9	6·00	84·9	81·6	73·2	64·6	56·8	50·7

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ : เรืออากาศเอก วิญญู กุลศิริมงคล

เกิด : จังหวัดสมุทรปราการ เมื่อวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2491

การศึกษา : ปี 2514 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น

การทำงานและประสบการณ์ : ภายหลังสำเร็จการศึกษาเข้าทำงานที่ กรมช่างโยธาทหารอากาศ ดอนเมือง กรุงเทพมหานคร

ปี 2516 ได้รับประกาศนียบัตรหลักสูตรนายทหารสัญญาบัตรของกรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

ปี 2516 ทางกรมช่างโยธาทหารอากาศส่งไปอบรมการประชุมทางวิชาการเรื่องบทบาทวิศวกรไทย ณ โรงแรมอินทรา

ปี 2523 ได้รับวุฒิบัตรหลักสูตรการรักษาความมั่นคงภายในของกองอำนวยการรักษาความมั่นคงภายใน

ปี 2524 ได้รับประกาศนียบัตรหลักสูตร นายทหารช่างโยธาชั้นต้นของกรมช่างโยธาทหารอากาศ

ปัจจุบันนี้ ตำแหน่งนายทหารตรวจสอบ แผนกวิจัยและสถิติ กองวิทยาการ กรมช่างโยธาทหารอากาศ