

รายการอ้างอิง

- Abramovich, G.N. (1963). *The Theory of Turbulent Jets*. Massachusetts: English Translation published by M.I.T. Press.
- Albertson, M.L. Dai, Y.B. Jensen, R.A. and Rouse, H. (1950). Diffusion of submerged jets. *Trans. A.S.C.E.* 115: 639-697.
- Andreopoulos, J. (1984). Initial conditions, Reynolds number effects and the near field characteristics of the round jet in a Crossflow. *J. Flight Sci. Space Res.* 8.
- Andreopoulos, J. (1985). On the structure of jets in crossflow. *J. Fluid Mech.* 157: 163-197.
- Andreopoulos, J. and Rodi, W. (1984). Experimental investigation of jets in a Crossflow. *J. Fluid Mech.* 138: 93-127.
- Broadwell, J.E. and Breidenthal, R.E. (1984). Structure and mixing of a transverse jet in incompressible flow. *J. Fluid Mech.* 148: 405-412.
- Bunyajitradulya, A. and Wangjiraniran, W. 2003. Experimental Study on Non-Zero Tangential Velocity, Non-Zero Circulation Swirling Jet in Crossflow. *Proceeding of The ASAHI GLASS FOUNDATION Conference 2003*. Chulalongkorn University.
- Coelho, S.L.V. and Hunt, J.C.R. (1989). The dynamics of the near field of strong jets in crossflows. *J. Fluid Mech.* 200: 95-120.
- Corrsin, S. (1946). Investigation of flow in an axially symmetric heated jet of air. *N.A.C.A. Wartime Report*. W-49.
- Davidson, G.A. (1989). Simultaneous trajectory and dilution predictions from a simple integral plume model. *Atmos. Environ.* 23: 341.
- Denev, J. Frohlich, J. and Bockhorn, H. 2005. Structure and mixing of a swirling transverse jet into a crossflow. In Humphrey *et al.*(eds.), *Procs. Of 4th Int. Symp. On Turbulent Shear Flow Phenomena*. Williamsburg. June 27-29 2005: 1255-1260.
- Eff, O.S. Kawall, J.G. and Keffer, J.F. (1995). Lock-in of vortices in the wake of an elevated round turbulent jet in a crossflow. *Exp. Fluids.* 19: 203-213.

- Findlay, M.J. Salcudean, M. and Gartshore, I.S. (1999). Jets in a Crossflow: Effects of Geometry and Blowing Ratio. *J. Fluids Eng.* 121: 373-378.
- Fric, T.F. (1990). Structure in the near field of the transverse jet. *Ph.D. thesis.* California Institute of Technology.
- Fric, T.F. and Roshko, A. (1989). Structure in the near field of the transverse jet. *Seventh Symposium on Turbulent Shear Flows.* 6.4.1-6.4.6.
- Fric, T.F. and Roshko, A. (1994). Vortical structure in the wake of a transverse jet. *J. Fluid Mech.* 279: 1-47.
- Hinze, J.O. and Zijnen, B.G. (1949). Transfer of heat and matter in the turbulent mixing zone of an axially symmetric jet. *J. Appl. Sci. Res. A1.* 435-461.
- Johari, H. Paduano, R. Dilution and mixing in an unsteady jet. *Experiments in Fluids.* 23: 272-280
- Kamotani, Y, and Greber, I, (1972). Experiments on a Turbulent Jet in a Crossflow. *AIAA Journal.* 11: 1425 –1429.
- Karagozian, A.R. (1986). An analytical model for the vorticity associated with a transverse jet. *AIAA Journal.* 24: 429 – 436.
- Keffer J.F. and Baines, W.D. (1963). The round turbulent jet in a cross-wind. *J. Fluid Mech.* 15: 481-496.
- Kelso, R.M. Lim, T.T. and Perry, A.E. (1996). An experimental study of round jets in cross-flow. *J. Fluid Mech.* 306: 111-144.
- Lighthill, M.J. (1963). in *Laminar Boundary Layers.* Rosenhead, L. editor: Oxford University Press.
- Magason, R.J. (1993). Fifty years of jet in Crossflow research. *AGARD-CP 534.* Paper1.
- Morton, B.R. (1984). The generation and decay of vorticity. *Geophys. Astrophys. Fluid Dyn.* 28: 277-293.
- Moussa, Z.M. Trischka, J.W. and Eskinazi, S. (1977). The near field in the mixing of a round jet with a cross-stream. *J. Fluid Mech.* 80: 49-80.
- Niederhaus, C.E. Champagne, F.H. and Jacobs, J.W. (1997). Scalar transport in a swirling transverse jet. *AIAA Journal.* 35: 1697-1704.

- Pratte, B.D. and Baines, W.D. (1967). Profiles of the round turbulent jets in a Crossflow. *Proc. A.S.C.E. J. Hydraul. Div.* 92: 53-64.
- Rajaratnam, N. (1976). *Turbulent jets*. New York: EISEVIER Scientific Publishing Company.
- Rajaratnam, N. and Gangadhariah, T. (1980). *Circular jets in cross-flow. Tech. Report.* University of Alberta. Edmonton. Canada.
- Raud, N. Bury, Y. Bazile, R. Boree, J. and Charnay, G. (1999). Experimental Study of the Behavior of Confined Variable Density Jets in a Time Varying Crossflow. *J. Fluids Eng.* 121: 65-72.
- Sherif, S.A. and Pletcher, R.H. (1989). Measurements of the flow and turbulence characteristics of round jets in Crossflow. *J. Fluids Eng.* 111-165.
- Sivadas, V. Pani, B.S. Butefisch, K.A. and Meier, G.E.A. (1997). Flow visualisation studies on growth of area of deflected jets. *Exp. Fluids.* 13: 105-112.
- Smith, S.H. and Mungal, M.G. (1998). Mixing, structure and scaling of the jet in crossflow. *J. Fluid Mech.* 357: 83-122.
- Sykes, R.I. Lewellen, W.S. and Parker, S.F. (1986). On the vorticity dynamics of a turbulent jet in a crossflow. *J. Fluid Mech.* 80: 49-80.
- Tenneke, H. and Lumley, J.L. (1972). *A First course in Turbulence.* Cambridge: M.I.T. Press.
- Townsend, A.A. (1956). *The Structure of Turbulent Shear Flow.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Wangjiraniran, W. and Bunyajitradulya, A. 2001. Temperature Distribution in Non-Zero Circulation Swirling Jet in Crossflow. *Proceeding of The Fifteenth Mechanical Engineering Network Conference.* 1: TF104-TF116.
- Yuan, L.L. and Street, R.L. (1998). Trajectory and entrainment of a round jet in crossflow. *Phys. fluids.* 10: No. 9: 2323-2335.
- Zaman, K.B.M.Q. and Foss, J.K. (1997). The effect of vortex generators on a jet in a cross-flow. *Phys. Fluids.* 9: 106-114.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การหาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

1 $V_j, V_{cf}, V_\omega, d_j, \mu_j, \mu_{cf}, \rho_j, \rho_{cf}$

2 เลือกมิติ M, L และ t

3 V, d, μ, ρ_{cf}
 $\frac{L}{t}, L, \frac{M}{Lt}, \frac{M}{L^3}$

4 เลือกพารามิเตอร์ทำซ้ำ d_j, ρ_j, V_j

$$(L)^a \left(\frac{M}{L^3}\right)^b \left(\frac{L}{t}\right)^c L = \frac{[]}{d}$$

$$M : b = 0; a = -1$$

$$L : a - 3b + c + 1 = 0; b = 0$$

$$t : -c = 0; c = 0$$

$$(L)^a \left(\frac{M}{L^3}\right)^b \left(\frac{L}{t}\right)^c \frac{L}{t} = \frac{[]}{V}$$

$$M : b = 0; a = 0$$

$$L : a - 3b + c + 1 = 0; b = 0$$

$$t : -c - 1 = 0; c = -1$$

$$(L)^a \left(\frac{M}{L^3}\right)^b \left(\frac{L}{t}\right)^c \frac{M}{Lt} = \frac{[]}{d\rho V}$$

$$M : b + 1 = 0; a = -1$$

$$L : a - 3b + c - 1 = 0; b = -1$$

$$t : -c - 1 = 0; c = -1$$

$$(L)^a \left(\frac{M}{L^3}\right)^b \left(\frac{L}{t}\right)^c \frac{M}{L^3} = \frac{[]}{\rho}$$

$$M : b + 1 = 0; a = 0$$

$$L : a - 3b + c - 3 = 0; b = -1$$

$$t : -c = 0; c = 0$$

5 ดังนั้นมีเทอมไร้มิติ $n - m = 5$ เทอม

$$\Pi_1 = d_j^a \rho_j^b V_j^c V_{cf} = \frac{V_{cf}}{V_j} = r$$

$$\Pi_4 = d_j^a \rho_j^b V_j^c \mu_j = \frac{\mu_j}{\rho_j V_j d_j} = Re_j$$

$$\Pi_2 = d_j^a \rho_j^b V_j^c V_\theta = \frac{V_\theta}{V_j} = S_r$$

$$\Pi_5 = d_j^a \rho_j^b V_j^c \rho_{cf} = \frac{\rho_{cf}}{\rho_j}$$

$$\Pi_3 = d_j^a \rho_j^b V_j^c \mu_{cf} = \frac{\mu_{cf}}{\rho_j V_j d_j}$$

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5) = f(r, S_r, Re_j, \frac{\mu_{cf}}{\rho_j V_j d_j}, \frac{\rho_{cf}}{\rho_j}) \quad (n.1)$$

6 Manipulate Pi Group

Assumption

6.1 $\mu_{cf} \approx \mu_j$, then $\Pi_7 = \Pi_8$

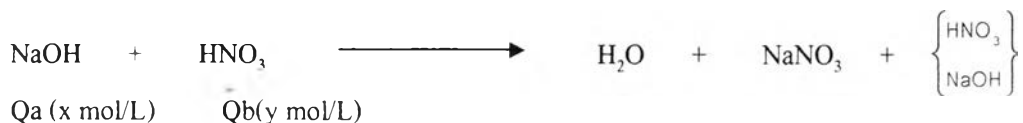
6.2 $\rho_{cf} \approx \rho_j$, then $\Pi_9 = \text{constant}$

$$Re_j = f(r, S_r) \quad (n.2)$$

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารเคมีเพื่อการศึกษาแสดงปฏิกิริยาการผสม

ใช้การทำปฏิกิริยาทางเคมี(active scalar) เพื่อศึกษาการผสมกันในระดับโมเลกุล โดยใช้ ph indicator ช่วยทำให้เห็นถึงกระบวนการการผสม ในการทดลองของงานวิจัยนี้เลือกใช้ phenolphthalein ของ LABCHEM 368-100G ซึ่งช่วงของการเปลี่ยนสีคือไม่มีสีที่ pH 8.0 สีแดงที่ pH 10.0 โดยในการทดลองได้เตรียมสารละลายกรดจาก HNO₃ เข้มข้น 15 โมล/ลิตร เตรียมสารละลายเบสจาก NaOH เข้มข้น 50% ให้ทำปฏิกิริยากันถึงจุดยุติที่อัตราส่วน HNO₃ : NaOH เป็น 1:1 โดยปริมาตร โดยใน ความหมายว่าหยดกรด 1 ส่วน ลงในเบส 1 ส่วนแล้วสีแดงของสารละลายเบสที่มี phenolphthalein เป็น pH indicator เปลี่ยนเป็นไม่มีสี โดยปริมาณกรดที่หยดลงไปแล้วถึงจุดยุติให้ผิดพลาดได้ประมาณ ±5 %



หาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นเบสกับกรดที่ทำให้ pH ของสารละลายเบสเปลี่ยนจากมีสีเป็นไม่มีสีจากสมการ pH

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14 - \text{pOH} \\ 8 &= 14 + \log \left[\frac{x(Q_b) - y(Q_a)}{Q_a + Q_b} \right] \\ x &= \frac{(Q_a + Q_b)10^{-(14-8)} + y(Q_a)}{Q_b} \end{aligned} \tag{๗.1}$$

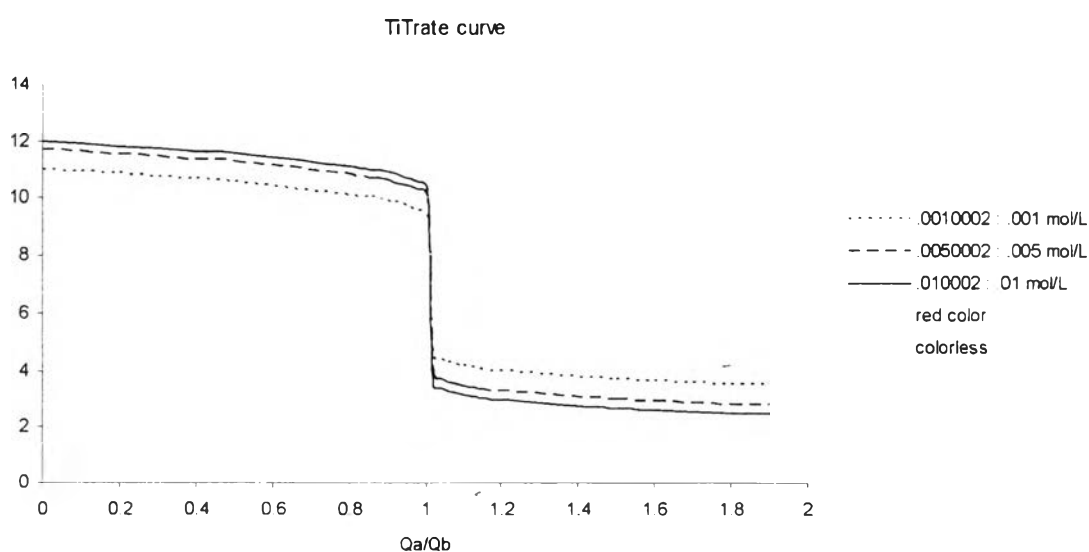
pH ที่เกิดขึ้นกรณีมีกรดเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์

$$\text{pH} = -\log \left[\frac{y(Q_a + 0.05Q_a) - x(Q_b)}{(Q_a + 0.05Q_a) + Q_b} \right] \tag{๗.2}$$

pH ที่เกิดขึ้นกรณีมีเบสเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์

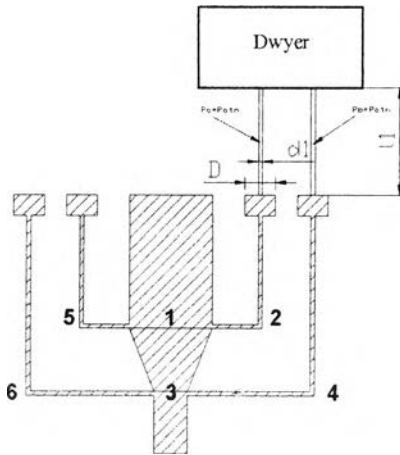
$$\text{pH} = 14 + \log \left[\frac{x(Q_b) - y(Q_a - 0.05Q_a)}{(Q_a - 0.05Q_a) + Q_b} \right] \tag{๗.3}$$

นำสมการของ pH ไป plot titration curve เพื่อเลือกความเข้มข้นที่จะในการทดลอง ซึ่งจากกราฟการเตรียมสารให้ได้ความเข้มข้น HNO_3 0.010002 โมล/ลิตร และ NaOH 0.01 โมล/ลิตร จะทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยกว่าเพราะในช่วงของการเปลี่ยนสีอยู่ในปริมาณของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดเล็กน้อยก็ทำให้ pH เปลี่ยนจากเบสกลายเป็นกรดซึ่งทำให้สีชมพูหายไปทันที

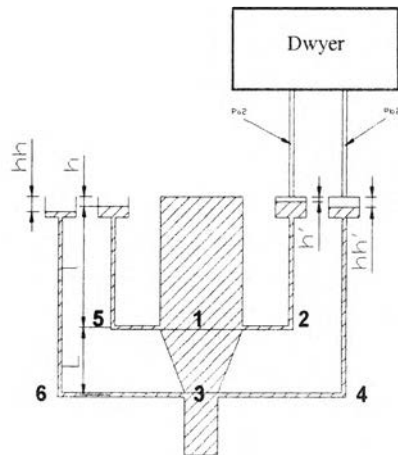


ภาคผนวก ค
 กระจเปาะเพิ่ม sensitivity

(การนำมานอร์มิเตอร์วัดความแตกต่างของความดันชนิดอากาศ
 มาใช้วัดความแตกต่างของความดันของของเหลว)



สภาวะเริ่มต้นก่อนมีการไหลใน ventury



สภาวะขณะมีการไหลใน ventury

$$P_a V_1 = P_{a_2} V_2$$

$$P_{a_2} = \frac{P_a V_1}{V_2}$$

$$= \frac{P_a \frac{\pi d_1^2 l_1}{4}}{\pi D^2 h' + \frac{\pi d_1^2 l_1}{4}}$$

$$= \frac{P_a}{\frac{\pi D^2 h'}{4} + 1 + \frac{\pi d_1^2 l_1}{4}}$$

$$= \frac{P_{atm}}{\frac{D^2 h'}{d_1^2 l_1} + 1} \quad [1]$$

Consider at point 5 and 2

$$P_3 = P_2$$

$$P_{atm} + \rho g l = P_{a_2} + \rho g [l + h - h']$$

$$P_{atm} = P_{a_2} + \rho g [h - h'] \quad [2]$$

Replace [1] in [2]

$$= \frac{P_{atm}}{\frac{D^2 h'}{d_1^2 l_1} + 1} + \rho g [h - h']$$

define $\frac{D^2}{d_1^2 l_1} = A$

$$= \frac{P_{atm}}{Ah' + 1} + \rho g [h - h']$$

Manipulate A

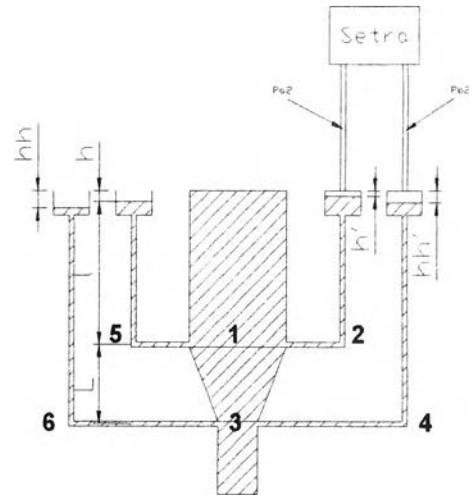
$$A = \frac{P_{atm}}{h' [P_{atm} - \rho g [h - h']] - \frac{1}{h'}} \quad [3]$$

Table 1. Value A of percentage error ($h'/h \times 100$) measuring at any h

$$A = \frac{P_{atm}}{h'(P_{atm} - \rho g(h - h'))} - \frac{1}{h'}$$

=100000/(D\$2*\$C3/100*(100000-1000*9.81*(C3-D\$2*\$C3/100))-1/(D\$2*\$C3/100))

	C	D										
	h\ (h'/h)	0.001	0.01	0.1	0.25	0.5	1	2	3	5	10	50
2	0.000254	9810.1	980.9	98.00	39.14	19.522	9.712	4.8070	3.1720	1.8639	0.8829	0.0981
3	0.0003	9810.1	980.9	98.00	39.14	19.522	9.712	4.8070	3.1720	1.8640	0.8829	0.0981
	0.00035	9810.2	980.9	98.00	39.14	19.522	9.712	4.8071	3.1720	1.8640	0.8829	0.0981
	0.0004	9810.2	980.9	98.00	39.14	19.522	9.712	4.8071	3.1720	1.8640	0.8829	0.0981
	0.00045	9810.3	980.9	98.00	39.14	19.522	9.712	4.8071	3.1720	1.8640	0.8829	0.0981
	0.0005	9810.3	980.9	98.00	39.14	19.522	9.712	4.8071	3.1721	1.8640	0.8829	0.0981
	0.00055	9810.4	980.9	98.00	39.14	19.522	9.712	4.8072	3.1721	1.8640	0.8829	0.0981
	0.004	9813.7	981.2	98.04	39.15	19.529	9.715	4.8087	3.1731	1.8646	0.8832	0.0981
	0.0042	9813.9	981.3	98.04	39.15	19.529	9.715	4.8088	3.1732	1.8646	0.8832	0.0981
	0.0044	9814.1	981.3	98.04	39.15	19.530	9.716	4.8089	3.1732	1.8647	0.8832	0.0981
	0.0046	9814.3	981.3	98.04	39.15	19.530	9.716	4.8090	3.1733	1.8647	0.8833	0.0981
	0.0048	9814.5	981.3	98.04	39.16	19.531	9.716	4.8091	3.1733	1.8647	0.8833	0.0981
	0.005	9814.7	981.3	98.04	39.16	19.531	9.716	4.8092	3.1734	1.8648	0.8833	0.0981
	0.0052	9814.9	981.4	98.05	39.16	19.531	9.716	4.8093	3.1735	1.8648	0.8833	0.0981
	0.0054	9815.1	981.4	98.05	39.16	19.532	9.717	4.8094	3.1735	1.8648	0.8833	0.0981
	0.0056	9815.2	981.4	98.05	39.16	19.532	9.717	4.8095	3.1736	1.8648	0.8833	0.0981
	0.0058	9815.4	981.4	98.05	39.16	19.533	9.717	4.8096	3.1737	1.8649	0.8834	0.0981
	0.006	9815.6	981.4	98.05	39.16	19.533	9.717	4.8097	3.1737	1.8649	0.8834	0.0981
	0.0062	9815.8	981.4	98.06	39.16	19.533	9.717	4.8098	3.1738	1.8650	0.8834	0.0981
	0.0064	9816.0	981.5	98.06	39.16	19.534	9.717	4.8099	3.1738	1.8650	0.8834	0.0981
	0.0066	9816.2	981.5	98.06	39.16	19.534	9.718	4.8100	3.1739	1.8650	0.8834	0.0981
	0.0068	9816.4	981.5	98.06	39.16	19.534	9.718	4.8100	3.1740	1.8651	0.8834	0.0981
	0.007	9816.6	981.5	98.06	39.16	19.535	9.718	4.8101	3.1740	1.8651	0.8834	0.0981
	0.0072	9816.8	981.5	98.07	39.16	19.535	9.718	4.8102	3.1741	1.8652	0.8835	0.0981
	0.0074	9817.0	981.6	98.07	39.17	19.536	9.718	4.8103	3.1741	1.8652	0.8835	0.0981
	0.0076	9817.2	981.6	98.07	39.17	19.536	9.719	4.8104	3.1742	1.8652	0.8835	0.0981
	0.0078	9817.4	981.6	98.07	39.17	19.536	9.719	4.8105	3.1743	1.8653	0.8835	0.0981
	0.008	9817.6	981.6	98.07	39.17	19.537	9.719	4.8106	3.1743	1.8653	0.8835	0.0981
	0.0082	9817.7	981.6	98.08	39.17	19.537	9.719	4.8107	3.1744	1.8653	0.8835	0.0981
	0.0084	9817.9	981.7	98.08	39.17	19.537	9.719	4.8108	3.1744	1.8654	0.8836	0.0981
	0.0086	9818.1	981.7	98.08	39.17	19.538	9.720	4.8109	3.1745	1.8654	0.8836	0.0981



$$P_5 = \rho g l + P_{Atm}$$

$$P_6 = \rho g [L + l + h - hh] + P_{Atm}$$

$$P_2 = P_{a_2} + \rho g [l + h - h']$$

$$P_4 = P_{b_2} + \rho g [L + l + h - hh]$$

$$\boxed{P_5 = P_2}$$

$$\rho g l + P_{Atm} = P_{a_2} + \rho g [l + h - h']$$

$$P_{Atm} = P_{a_2} + \rho g [h - h']$$

[A]

$$\boxed{P_6 = P_4}$$

$$\rho g [L + l + h - hh] + P_{Atm} = P_{b_2} + \rho g [L + l + h - hh]$$

$$P_{Atm} = P_{b_2} + \rho g [hh - hh']$$

[B]

$$\boxed{A = B}$$

$$P_{a_2} + \rho g [h - h'] = P_{b_2} + \rho g [hh - hh']$$

$$\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} = [hh - hh'] - [h - h']$$

$$= [hh - h] - [hh' - h']$$

$$\frac{V_3^2 - V_1^2}{2g} = \frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} + hh' - h'$$

$$\frac{\left(\frac{Q}{A_3}\right)^2 - \left(\frac{Q}{A_1}\right)^2}{2g} = \frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} + hh' - h'$$

$$Q^2 = \frac{2g \left[\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} + hh' - h' \right]}{\frac{1}{A_3^2} - \frac{1}{A_1^2}}$$

[C]

Approximate the term of
$$\frac{\left(\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} \right)}{hh' - h'}$$

$$P_{a_2} V_{a_2} = P_{b_2} V_{b_2}$$

$$\frac{P_{a_2}}{P_{b_2}} = \frac{V_{b_2}}{V_{a_2}}$$

Define $A_{\text{probe}_1} = A_{\text{probe}_2} \rightarrow m_{a_2} RT_2 = m_{b_2} RT_2$

$$\begin{aligned} &= \frac{V_i + \frac{\pi}{4} D^2 hh'}{V_i + \frac{\pi}{4} D^2 h'} \\ &= \frac{1 + \frac{D^2}{d_1^2 l} hh'}{1 + \frac{D^2}{d_1^2 l} h'} \\ &= \frac{1 + Ahh'}{1 + Ah'} \end{aligned}$$

$$\frac{P_{a_2}}{P_{b_2}} - 1 = \frac{1 + Ahh'}{1 + Ah'} - 1$$

$$\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{P_{b_2}} = \frac{A(hh' - h')}{1 + Ah'}$$

$$P_{a_2} - P_{b_2} = P_{b_2} \left(\frac{A(hh' - h')}{1 + Ah'} \right)$$

$$\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} = \frac{P_{b_2}}{\rho g} \left(\frac{A}{1 + Ah'} \right) (hh' - h')$$

[5]

Replace [B] in [5]

$$\begin{aligned} &= \frac{P_{Atm} - \rho g [hh - hh']}{\rho g} \left(\frac{A}{1 + Ah'} \right) (hh' - h') \\ &= \left(\frac{P_{Atm}}{\rho g} - (hh - hh') \right) \left(\frac{A}{1 + Ah'} \right) (hh' - h') \end{aligned}$$

$$\frac{\left(\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} \right)}{hh' - h'} = \left(\frac{P_{Atm}}{\rho g} - (hh - hh') \right) \left(\frac{A}{1 + Ah'} \right)$$

[5.1]

Error from Method

$$Q_{Act} = \sqrt{\frac{2g \left[\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} + hh' - h' \right]}{\frac{1}{A_3^2} - \frac{1}{A_1^2}}}$$

$$Q_{Mec} = \sqrt{\frac{2g \left[\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} \right]}{\frac{1}{A_3^2} - \frac{1}{A_1^2}}}$$

$$\% error_Q = \left[\frac{Q_{Act} - Q_{Mec}}{Q_{Act}} \right] \times 100 \%$$

$$= \left(\frac{\sqrt{\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} + hh' - h'} - \sqrt{\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g}}}{\sqrt{\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g} + hh' - h'}} \right) \times 100 \%$$

$$= \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{hh' - h'}{\frac{P_{a_2} - P_{b_2}}{\rho g}}} \right) \times 100 \%$$

[6]

Replace [5.1] in [6]

$$= \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{1}{\left(\frac{P_{Atm}}{\rho g} - (hh - hh') \right) \left(\frac{A}{1 + Ah'} \right)}} \right) \times 100 \%$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{P_{Atm}}{\rho g} - (hh - hh') \right) \left(\frac{A}{1 + Ah'} \right) + 1} \times 100 \%$$

[6.1]

Percent error in measuring

$$\% \text{ Error}_{Q_{\text{all}}} = \% \text{ Error}_{Q_{\text{method}}} + \% \text{ Error}_{Q_{\text{instrument}}}$$

$$= \left(\left(\frac{1}{\left(\frac{P_{\text{atm}}}{\rho g} - (hh - hh') \right) \left(\frac{A}{1 + Ah'} \right) + 1} \right) + \frac{\left(\frac{(\%FS)(\Delta P_{\text{Instrument}_{\text{READ}}})}{\rho g} \right) 2g}{\left(\frac{1}{A_3^2} - \frac{1}{A_1^2} \right)} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\left(\frac{1}{\left(\frac{10^5}{1000(9.81)} - \left(0.00401 - \frac{0.1}{100} (0.00401) \right) \right) \left(\frac{98.04}{1 + 98.04 \left(0.00401 \times \frac{0.1}{100} \right) \right) + 1} \right) + \frac{((0.25)(0.00376))2(9.81)}{\left(\frac{1}{\left(\frac{\pi 0.014^2}{4} \right)^2} - \frac{1}{\left(\frac{\pi 0.028^2}{4} \right)^2} \right)} \right) \times 100\%$$

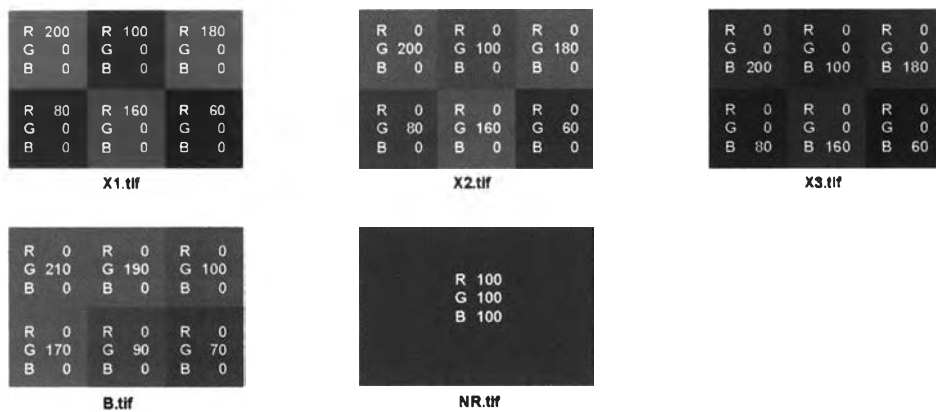
$$= (0.001000397117 + 0.0000000004661733965) \times 100\%$$

$$= 0.1000397583\%$$

ภาคผนวก ง

การสอบเทียบโปรแกรมการทำกระบวนการทางภาพ

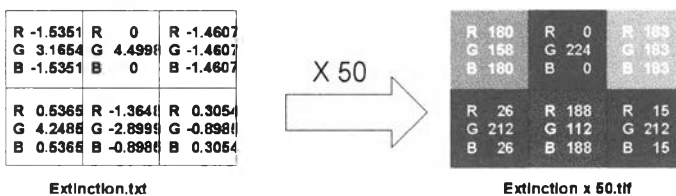
ในการปรับเทียบโปรแกรมที่ใช้งานมีความสำคัญเพื่อให้โปรแกรมที่ใช้งานมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยมีวิธีในการปรับเทียบ จะสร้างไฟล์รูปภาพ 3 ชุด ประกอบด้วย 1.) ชุดข้อมูลแทน $X_{ij,k}$ คือ X1.tif, X2.tif และ X3.tif. 2.) ข้อมูลแทน \overline{NR}_{ij} คือ B.tif และ 3.) ข้อมูลแทน \overline{B}_{ij} คือ NR.tif



ผลสอบเทียบของโปรแกรมที่ใช้คำนวณเฉลี่ยค่า \overline{C}_N

$$\text{แสดงผลการนำค่า } \overline{C}_N \text{ ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ } \overline{C}_N = -\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n=3000} \ln \left(\frac{X_{ij,k} - \overline{NR}_{ij}}{B_{ij} - \overline{NR}_{ij}} \right)$$

มาคูณด้วย 50 เพื่อแสดงผลในคอมพิวเตอร์ให้สามารถมองเห็นได้เนื่องจากค่า \overline{C}_N ที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งภาพที่แสดงในคอมพิวเตอร์ได้จะต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็มและอยู่ในช่วง 0 - 255 เท่านั้น ค่าที่เป็นลบเนื่องจาก \overline{C}_N นั้นเป็นลบเมื่อคูณด้วย 50 แล้วจะถูกบวกด้วย 256 ไปเรื่อยๆจนกว่าค่าที่ได้จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ อนึ่งค่า \overline{C}_N ที่เป็นบวกแต่เมื่อคูณด้วย 50 แล้วเกิน 255 จะถูกลบด้วย 256 ไปเรื่อยๆจนกว่าค่าที่ได้จะน้อยกว่า 256 นั่นคือค่าที่จะใช้แสดงผลบนจอ



ซึ่งการการสอบเทียบพบว่าผลของภาพที่ได้คือ Extinction x 50.tif มีค่าระดับความเข้มแสงในรูปภาพ สอดคล้องกับค่าระดับความเข้มแสงในการคำนวณ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ในการคำนวณนั้น เพื่อให้การคำนวณเดินหน้าต่อไปได้ เทอมที่ไม่สามารถนิยามค่าได้เช่น $\frac{R}{0}$,

$\ln(0)$, $\ln(R^-)$ ที่จะนำไปแทนในสมการ $\overline{C_{N_y}} = -\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \ln\left(\frac{X_{y,k} - \overline{NR_y}}{\overline{B_y} - \overline{NR_y}}\right)$ จำเป็นต้องหลีกเลี่ยง

โดยปกติแล้ว $X_{y,k}$ และ $\overline{B_y}$ จะมีค่ามากกว่า $\overline{NR_y}$ เพราะมีสัญญาณของแสงแต่ในรูปภาพที่มี pixel เป็นเส้น pixel เป็นไปได้ว่ามี 1 pixel หรือมากกว่าที่ไม่มีสัญญาณแสงหรือมีน้อยมากเช่น ภาพถ่าย topview ที่ปากเจ็ดเป็นโลหะและการให้แสงนั้นมาจากด้านหลังจึงเป็นบริเวณที่ไม่มีสัญญาณแสงเข้ามาสู่ ccd ในภาพถ่าย sideview นั้น ผู้คนที่ติดผนัง test section ก็สามารถบังแสงได้เช่นกัน ด้วยเหตุนี้จำเป็นต้องกำหนดค่าให้ pixel นั้นใหม่เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว

การกำหนดค่านี้ได้หลายวิธีสำหรับค่าที่ pixel นั้นมีปัญหาในการคำนวณ เช่นนำค่า pixel รอบๆมาทำการคำนวณด้วยเพื่อประมาณค่าใน pixel ที่มีปัญหา แต่ในงานวิจัยนี้เลือกเปลี่ยนค่าในแบบคงไว้ซึ่งความใกล้เคียงค่าในรูปภาพเดิม โดยพิจารณาว่า $X_{y,k} - \overline{NR_y}$ และ $\overline{B_y} - \overline{NR_y}$ จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์เสมอ เพราะสัญญาณความเข้มแสงควรที่จะมีค่ามากกว่า noise แต่บาง pixel ที่สัญญาณความเข้มแสงนั้นมีค่าใกล้กับศูนย์(เนื่องจากเวลาบันทึกภาพอาจมีฝุ่นมาบังแสง ณ pixel นั้น)แล้ว noise กลับมีค่ามากกว่าหรือเท่ากัน จึงทำให้ค่า $X_{y,k} - \overline{NR_y}$ หรือ $\overline{B_y} - \overline{NR_y}$ ที่ได้มีค่าเป็นลบหรือศูนย์ได้ แต่บางกรณีที่ได้ค่าของ $X_{y,k} - \overline{NR_y}$ และ $\overline{B_y} - \overline{NR_y}$ เป็นลบทั้งคู่ในการหารกันทำให้สามารถคำนวณต่อได้ก็จะไม่ทำการเปลี่ยนค่าสัญญาณความเข้มแสง

เมตริกซ์ข้างล่างนี้แสดงกรณีทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นได้ในระหว่างการคำนวณ จึงได้กำหนดตัวเลขใหม่ให้สอดคล้องกับความหมายในรูปภาพเดิมให้มากที่สุด ด้วยตัวเลขตามเมตริกซ์ทางขวามือ

$$\begin{bmatrix} \frac{I^-}{I^-} & \frac{0}{I^-} & \frac{I^+}{I^-} \\ \frac{I^-}{0} & \frac{0}{0} & \frac{I^+}{0} \\ \frac{I^-}{I^+} & \frac{0}{I^+} & \frac{I^+}{I^+} \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{bmatrix} \frac{I^-}{I^-} & \frac{1}{I^-} & \frac{I^+}{I^-} \\ \frac{1}{0} & \frac{1}{0} & \frac{I^+}{0} \\ \frac{1}{I^+} & \frac{1}{I^+} & \frac{I^+}{I^+} \end{bmatrix}$$

$$\bar{R}_{11} = -\frac{\ln \frac{200-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{100}{1} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100}}{3} = -1.535056729$$

$$\bar{R}_{12} = -\frac{\ln \frac{100-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{1}{1} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100}}{3} = 0$$

$$\bar{R}_{13} = -\frac{\ln \frac{180-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{80}{1} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100}}{3} = -1.460675545$$

$$\bar{R}_{21} = -\frac{\ln \frac{80-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-20}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100}}{3} = 0.536479304$$

$$\bar{R}_{22} = -\frac{\ln \frac{160-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{60}{1} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100}}{3} = -1.364781521$$

$$\bar{R}_{23} = -\frac{\ln \frac{60-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-40}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100}}{3} = 0.305430244$$

$$\bar{G}_{11} = -\frac{\ln \frac{0-100}{210-100} + \ln \frac{200-100}{210-100} + \ln \frac{0-100}{210-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{1}{110} + \ln \frac{100}{110} + \ln \frac{1}{110}}{3} = 3.165423637$$

$$\bar{G}_{12} = -\frac{\ln \frac{0-100}{190-100} + \ln \frac{100-100}{190-100} + \ln \frac{0-100}{190-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{1}{90} + \ln \frac{1}{90} + \ln \frac{1}{90}}{3} = 4.49980967$$

$$\bar{G}_{13} = -\frac{\ln \frac{0-100}{100-100} + \ln \frac{180-100}{100-100} + \ln \frac{0-100}{100-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{1}{1} + \ln \frac{80}{1} + \ln \frac{1}{1}}{3} = -1.460675545$$

$$\bar{G}_{21} = -\frac{\ln \frac{0-100}{170-100} + \ln \frac{80-100}{170-100} + \ln \frac{0-100}{170-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{1}{70} + \ln \frac{1}{70} + \ln \frac{1}{70}}{3} = 4.248495242$$

$$\bar{G}_{22} = -\frac{\ln \frac{0-100}{90-100} + \ln \frac{160-100}{90-100} + \ln \frac{0-100}{90-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{60}{1} + \ln \frac{-100}{-100}}{3} = -2.899838249$$

$$\bar{G}_{23} = -\frac{\ln \frac{0-100}{70-100} + \ln \frac{60-100}{70-100} + \ln \frac{0-100}{70-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-30} + \ln \frac{-40}{-30} + \ln \frac{-100}{-30}}{3} = -0.89854256$$

$$\bar{B}_{11} = -\frac{\ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{200-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{100}{1}}{3} = -1.535056729$$

$$\bar{B}_{12} = -\frac{\ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{100-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{1}{1}}{3} = 0$$

$$\bar{B}_{13} = -\frac{\ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{180-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{80}{1}}{3} = -1.460675545$$

$$\bar{B}_{21} = -\frac{\ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{80-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-20}{-100}}{3} = 0.536479304$$

$$\bar{B}_{22} = -\frac{\ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{160-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{60}{1}}{3} = -1.364781521$$

$$\bar{B}_{23} = -\frac{\ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{0-100}{0-100} + \ln \frac{60-100}{0-100}}{3} = -\frac{\ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-100}{-100} + \ln \frac{-40}{-100}}{3} = 0.305430244$$

เมื่อนำไปแสดงผลในรูปแบบของระบบปฏิบัติการ windows จึงคุณด้วยตัวเลขคงที่ทั้งภาพ

$$\bar{R}_{11} \times 50 = -1.535056729 \times 50$$

$$= -76.7528$$

$$\Rightarrow 179.2472$$

$$\bar{R}_{12} \times 50 = 0 \times 50$$

$$= 0$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_{11} \times 50 &= -1.460675545 \times 50 \\ &= -73.0338 \\ &\Rightarrow 182.9662\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_{21} \times 50 &= 0.536479304 \times 50 \\ &= 26.8240\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_{22} \times 50 &= -1.364781521 \times 50 + 256 \\ &= -68.2391 \\ &\Rightarrow 187.7609\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_{23} \times 50 &= 0.305430244 \times 50 \\ &= 15.2715\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{G}_{11} \times 50 &= 3.165423637 \times 50 \\ &= 158.2712\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{G}_{12} \times 50 &= 4.49980967 \times 50 \\ &= 224.9905\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{G}_{13} \times 50 &= -1.460675545 \times 50 \\ &= -73.0338 \\ &\Rightarrow 182.9662\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{G}_{21} \times 50 &= 4.248495242 \times 50 \\ &= 212.4248\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{G}_{22} \times 50 &= -2.899838249 \times 50 \\ &= -144.9919 \\ &\Rightarrow 111.0081\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{G}_{23} \times 50 &= -0.89854256 \times 50 \\ &= -44.9271 \\ &\Rightarrow 211.0729\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_{11} \times 50 &= -1.535056729 \times 50 \\ &= -76.7528 \\ &\Rightarrow 179.2472\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_{12} \times 50 &= 0 \times 50 \\ &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_{13} \times 50 &= -1.460675545 \times 50 \\ &= -73.0338 \\ &\Rightarrow 182.9662\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_{21} \times 50 &= 0.536479304 \times 50 \\ &= 26.8240\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_{22} \times 50 &= -1.364781521 \times 50 \\ &= -68.2391 \\ &\Rightarrow 187.7609\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}_{23} \times 50 &= 0.305430244 \times 50 \\ &= 15.2715\end{aligned}$$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ธีรวิภา ยิงเจริญ เกิดวันที่ 14 ตุลาคม พ.ศ.2518 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

