รายการอ้างอิง

1. สถาบันวิจัยพลังงานจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. รายงานการศึกษาเรื่องการใช้และการประหยัดพลังงานในโรงงานน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

2. เกศสุชา พูลคำ. การกำจัดโลหะหนักโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากชานอ้อยและผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

3. Hugot, E. Handbook of cane sugar engineering. 3 rd ed. Amsterdam: Elsevier, 1986.

4. Behne, E. R. The analysis of final bagasse. International Sugar Journal 39 (1937): 304-306.

5. Adams, T. N., Whitehouse, G. D., and Maple, D. Properties and operating experience with bagasse as a boiler flue. Proc. of National Waste Processing Conference (1978): 101-106.

6. Hessey, R. W. G. The combustion value of bagasse. Queensland Bareau of Sugar Experiment Stations - Technical Communications 11 (1937): 279-291.

7. Maranhao, L. E. C. Bagasse drying. Paper for Presentation at the ISSCT Combined Factory/Energy Workshop on Efficient Production & Utilization of Steam in Sugar Factory (1994): 1/105-1/117.

8. Pilgrim, A. C. Bagasse drying for caribbean cane sugar factories. Doctoral dissertation University of the West Indise, 1989.

9. Matsumoto, S., and Pei, D. C. T. A mathematical analysis of pneumatic drying of grains-I constant drying rate. Int. J. Heat Mass Transfer 27 No.6 (1984): 843-849.

10. รัตนชัย ไพรินทร์. รายงานการวิจัยเรื่องความเป็นไปได้ในการใช้ก๊าซร้อนทิ้งอบแห้งกากอ้อยในโรงงานน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.

11. ธีระยุทธ หลีวิจิตร. การจำลองแบบเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบไหลสวนทาง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

12. เรียวโซ โทเอ. อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม. แปลโดย วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2525.

13. Page, G. Factors influencing the maximum rate of air drying shelled corn in thin layers. Master's Thesis Purdue University, 1949.

14.Thompson, T. L., Peart, R. M., and Foster, C. H. Mathematical simulation of corn drying a new model. Trans. of American Society of Agricultural Engineers 11 (1968): 582-586.

15. Wang, C. Y. Drying simulation of rough rice. Doctoral dissertation University of California Davis, 1978.

16. Perry, R. H., and Green, D. Chemical engineers' handbook. Malaysia: McGraw-Hill, 1984.

17. จิรวุฒิ จิตตโสภณ. การออกแบบหม้อไอน้ำแรงดันต่ำโดยใช้เหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

18. American Society of Agricultural Engineers. ASAE standards 1994: Standard engineering practices data. 41 th ed. Michigan: ASAE, 1994.

19. Kays, W. M., and Crawford, M. E. Convective heat and mass transfer. 3 th ed. New York: McGraw-Hill, 1993.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบการทดลอง

ในภาคผนวก ก นี้จะแสดงข้อมูลดิบของการทดลองทั้ง 16 การทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 1

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.02 Kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 Kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	102	80	71	55	54	54

$T_s$out = 38 C W out = 47.6 % wet-basis

ΔP = 31.2 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 2

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	125	105	92	75	69	60

$T_s$out = 38 C W out = 46.8 % wet-basis

ΔP = 32 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 3

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	142	129	116	109	106	92

$T_s$out = 37 C W out = 46.98 % wet-basis

ΔP = 35.2 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 4

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	164	151	142	140	125	120

$T_s$out = 37 C W out = 48.04 % wet-basis

ΔP = 41 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 5

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.02 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	110	83	70	53	53	53

$T_s$out = 40 C W out = 47.8 % wet-basis

ΔP = 31.6 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 6

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	135	106	100	82	69	68

$T_s$out = 40 C W out = 47.01 % wet-basis

ΔP = 32.2 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 7

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	150	134	132	112	105	100

$T_s$out = 40 C W out = 47.5 % wet-basis

ΔP = 35.6 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 8

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	166	159	150	143	142	126

$T_s$out = 39 C W out = 48.52 % wet-basis

ΔP = 41.4 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 9

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.02 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	115	92	65	60	54	54

$T_s$out = 42 C W out = 46.05 % wet-basis

ΔP = 31.8 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 10

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	137	112	102	82	81	69

$T_s$out = 42 C W out = 45.13 % wet-basis

ΔP = 32.6 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 11

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	155	140	128	127	112	105

$T_s$out = 42 C W out = 45.59 % wet-basis

ΔP = 35.8 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 12

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	177	166	165	150	149	136

$T_s$out = 41 C W out = 46.77 % wet-basis

ΔP = 41.8 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 13

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.02 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	118	92	65	64	54	54

$T_s$out = 43 C W out = 48 % wet-basis

ΔP = 32 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 14

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	142	119	110	90	85	80

$T_s$out = 43 C W out = 46.94 % wet-basis

ΔP = 32.8 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 15

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	164	150	149	124	120	109

$T_s$out = 43 C W out = 47.55 % wet-basis

ΔP = 36 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 16

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	1	2	3	4	5	6
T_{air} (C)	185	180	166	162	152	150

$T_s$out = 43 C W out = 48.75 % wet-basis

ΔP = 42.2 mmH_2O

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการจำลองแบบ

ในภาคผนวก ข นี้จะแสดงข้อมูลผลการจำลองแบบ โดยใช้สภาวะที่ทางเข้าเช่นเดียวกันกับการทดลองทั้ง 16 การทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 1

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.02 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	51.60	0.0190	170.00	33.00	5.83	0.01
1	49.24	0.0428	94.69	43.34	5.02	2.34
2	48.23	0.0525	67.77	43.48	4.72	2.15
3	47.72	0.0571	54.32	43.48	4.57	1.98
4	47.57	0.0587	47.40	43.48	4.48	1.88
5	47.57	0.0592	47.35	43.48	4.48	1.86
6	47.57	0.0592	47.35	43.48	4.48	1.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 2

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	51.60	0.0190	170.00	33.00	7.29	0.01
1	49.68	0.0349	117.26	43.04	6.58	3.60
2	48.70	0.0426	95.88	43.04	6.30	3.66
3	47.91	0.0480	80.02	43.06	6.07	3.53
4	47.48	0.0517	68.76	43.06	5.91	3.36
5	47.05	0.0542	60.82	43.06	5.80	3.25
6	46.80	0.0558	52.89	43.06	5.67	3.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 3

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	51.60	0.0190	170.00	33.00	9.63	0.01
1	50.02	0.0290	135.39	42.85	9.01	5.32
2	49.21	0.0342	119.53	42.85	8.73	5.82
3	48.40	0.0381	110.19	42.85	8.57	5.87
4	47.93	0.0413	102.26	42.85	8.44	5.85
5	47.51	0.0442	94.33	42.85	8.30	5.73
6	47.08	0.0465	86.39	42.85	8.15	5.59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 4

Condition : T_a in = 170 C T_s in = 33 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 51.6 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	51.60	0.0190	170.00	33.00	14.58	0.01
1	50.41	0.0241	151.53	42.50	14.09	8.51
2	49.65	0.0267	143.59	42.50	13.88	9.82
3	49.25	0.0288	135.66	42.50	13.66	10.34
4	48.85	0.0307	127.72	42.50	13.43	10.54
5	48.44	0.0325	119.79	42.50	13.21	10.54
6	48.03	0.0343	112.51	42.50	13.00	10.54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 5

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.02 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.20	0.0180	180.00	32.00	5.95	0.01
1	49.80	0.0431	99.17	43.85	5.08	2.37
2	48.72	0.0537	70.22	44.00	4.76	2.18
3	48.19	0.0587	55.26	44.00	4.58	1.98
4	48.00	0.0605	47.84	44.00	4.49	1.88
5	48.00	0.0610	47.78	44.00	4.50	1.86
6	48.00	0.0610	47.78	44.00	4.50	1.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 6

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.20	0.0180	180.00	32.00	7.43	0.01
1	50.17	0.0348	122.75	43.51	6.66	3.65
2	49.10	0.0429	99.49	43.51	6.35	3.72
3	48.28	0.0487	83.62	43.57	6.13	3.58
4	47.79	0.0529	70.45	43.57	5.94	3.40
5	47.37	0.0557	62.51	43.57	5.83	3.28
6	47.04	0.0575	54.58	43.57	5.71	3.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 7

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.20	0.0180	180.00	32.00	9.81	0.01
1	50.55	0.0285	142.36	43.33	9.15	5.39
2	49.78	0.0339	126.49	43.33	8.87	5.91
3	48.99	0.0381	114.31	43.33	8.65	5.96
4	48.37	0.0417	106.38	43.33	8.52	5.92
5	47.95	0.0446	98.44	43.33	8.38	5.80
6	47.53	0.0474	90.51	43.33	8.24	5.67

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 8

Condition : T_a in = 180 C T_s in = 32 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.018 kg/kg W in = 52.2 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.20	0.0180	180.00	32.00	14.87	0.01
1	50.98	0.0233	159.72	42.98	14.32	8.60
2	50.23	0.0261	151.79	42.98	14.12	9.95
3	49.72	0.0284	143.85	42.98	13.90	10.51
4	49.33	0.0303	135.92	42.98	13.68	10.73
5	48.93	0.0323	127.98	42.98	13.45	10.73
6	48.52	0.0342	120.05	42.98	13.23	10.73

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 9

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.02 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	50.90	0.0190	190.00	32.00	6.10	0.01
1	48.29	0.0448	106.81	44.97	5.20	2.53
2	47.05	0.0562	76.44	45.18	4.87	2.35
3	46.39	0.0621	58.80	45.19	4.66	2.14
4	46.05	0.0645	50.86	45.19	4.57	2.02
5	46.05	0.0649	49.20	45.19	4.55	1.97
6	46.05	0.0649	49.20	45.19	4.55	1.97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 10

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	50.90	0.0190	190.00	32.00	7.62	0.01
1	48.72	0.0363	131.03	44.61	6.83	3.82
2	47.57	0.0449	106.58	44.63	6.50	3.92
3	46.70	0.0512	90.15	44.77	6.28	3.78
4	46.04	0.0557	74.98	44.78	6.06	3.59
5	45.59	0.0589	67.05	44.78	5.95	3.45
6	45.12	0.0610	59.11	44.78	5.83	3.34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 11

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	50.90	0.0190	190.00	32.00	10.06	0.01
1	49.13	0.0299	150.72	44.46	9.36	5.59
2	48.16	0.0355	134.85	44.46	9.09	6.15
3	47.31	0.0399	120.99	44.46	8.84	6.21
4	46.50	0.0438	113.06	44.46	8.71	6.17
5	46.05	0.0468	105.13	44.46	8.57	6.05
6	45.60	0.0497	97.19	44.48	8.43	5.92

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 12

Condition : T_a in = 190 C T_s in = 32 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 50.9 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	50.90	0.0190	190.00	32.00	15.24	0.01
1	49.49	0.0245	168.67	44.14	14.67	8.88
2	48.69	0.0275	160.74	44.14	14.47	10.28
3	48.06	0.0299	152.80	44.14	14.26	10.86
4	47.64	0.0318	144.87	44.14	14.03	11.10
5	47.21	0.0338	136.93	44.14	13.81	11.11
6	46.77	0.0357	129.00	44.14	13.58	11.11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 13

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.02 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.80	0.0190	200.00	33.00	6.23	0.01
1	50.20	0.0470	110.51	45.80	5.27	2.53
2	48.95	0.0592	78.35	46.05	4.92	2.34
3	48.31	0.0653	59.88	46.06	4.70	2.12
4	47.99	0.0678	51.60	46.06	4.60	1.99
5	47.99	0.0682	49.90	46.06	4.58	1.94
6	47.99	0.0682	49.90	46.06	4.58	1.94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 14

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.025 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.80	0.0190	200.00	33.00	7.79	0.01
1	50.64	0.0377	136.90	45.40	6.94	3.83
2	49.32	0.0469	111.23	45.48	6.60	3.94
3	48.51	0.0536	93.08	45.59	6.35	3.79
4	47.82	0.0585	77.22	45.62	6.12	3.60
5	47.39	0.0619	68.43	45.62	6.00	3.45
6	46.96	0.0640	60.50	45.62	5.88	3.33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 15

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.033 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.80	0.0190	200.00	33.00	10.28	0.01
1	50.94	0.0308	157.71	45.25	9.53	5.62
2	50.11	0.0369	141.27	45.25	9.25	6.21
3	49.33	0.0417	125.40	45.25	8.96	6.28
4	48.52	0.0456	116.51	45.25	8.82	6.21
5	47.97	0.0490	108.58	45.25	8.68	6.09
6	47.55	0.0519	100.64	45.28	8.54	5.97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการจำลองแบบ

สภาวะการทดลองที่ 16

Condition : T_a in = 200 C T_s in = 33 C

m_a = 0.05 kg/s m_s = 0.005 kg/s

H in = 0.019 kg/kg W in = 52.8 % wet-basis

x (m)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (C)	T_s (C)	u_a (m/s)	u_s (m/s)
0	52.80	0.0190	200.00	33.00	15.57	0.02
1	51.45	0.0250	176.54	44.92	14.94	8.93
2	50.71	0.0282	168.61	44.92	14.75	10.36
3	49.96	0.0308	160.67	44.92	14.54	10.97
4	49.57	0.0328	152.74	44.92	14.32	11.24
5	49.17	0.0347	144.80	44.92	14.09	11.28
6	48.77	0.0367	136.87	44.92	13.87	11.28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ระเบียบวิธี 4^{th}- order Runge-Kutta

การแก้ระบบสมการที่ประกอบด้วยสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งหลายสมการที่มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน โดยระเบียบวิธี 4^{th}- order Runge-Kutta

$$\frac{dy_1}{dx} = f_1(x,y_1,y_2,y_3,\ldots\ldots,y_n)$$

$$\frac{dy_2}{dx} = f_2(x,y_1,y_2,y_3,\ldots\ldots,y_n)$$

$$\vdots$$

$$\frac{dy_n}{dx} = f_n(x,y_1,y_2,y_3,\ldots\ldots,y_n)$$

อธิบายได้โดยพิจารณาระบบสมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่ประกอบด้วยสมการ 2 สมการที่มีรูปแบบดังนี้

$$\frac{dy}{dx} = f_1(x,y,z)$$

$$\frac{dz}{dx} = f_2(x,y,z)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลลัพธ์ของระบบสมการดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูป

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{6}(k_{1y}+2k_{2y}+2k_{3y}+k_{4y})$$

$$z_{i+1} = z_i + \frac{h}{6}(k_{1z}+2k_{2z}+2k_{3z}+k_{4z})$$

โดย

$$k_{1y} = f_1(x_i , y_i , z_i)$$

$$k_{2y} = f_1(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_{1y}, z_i + \frac{1}{2}hk_{1z})$$

$$k_{3y} = f_1(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_{2y}, z_i + \frac{1}{2}hk_{2z})$$

$$k_{4y} = f_1(x_i + h, y_i + hk_{3y}, z_i + hk_{3z})$$

$$k_{1z} = f_2(x_i , y_i , z_i)$$

$$k_{2z} = f_2(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_{1y}, z_i + \frac{1}{2}hk_{1z})$$

$$k_{3z} = f_2(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_{2y}, z_i + \frac{1}{2}hk_{2z})$$

$$k_{4z} = f_2(x_i + h, y_i + hk_{3y}, z_i + hk_{3z})$$

สำหรับกรณีระบบสมการที่ประกอบด้วยสมการมากกว่า 2 สมการขึ้นไปก็สามารถทำได้ในลักษณะเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

คุณสมบัติของอากาศ

การหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆของอากาศที่ใช้ในการจำลองแบบ ประกอบด้วย ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำ, ความชื้นอิ่มตัวของอากาศชื้น, ความหนาแน่นของอากาศชื้น และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ ใช้ความสัมพันธ์ซึ่งเสนอโดย American Society of Agricultural Engineers, ASAE [18] และพิจารณาอากาศชื้นเป็นก๊าซอุดมคติ

ง.1 ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำ

$$\ln\left(\frac{P_{sat}}{3206.18}\right) = \frac{-2.74 \times 10^{4} + 54.18\,T_a - 0.045\,T_a^{2} + 0.215 \times 10^{-4}\,T_a^{3} - 0.462 \times 10^{-8}\,T_a^{4}}{2.416 T_a - 1.215 \times 10^{-3}\,T_a^{2}} \quad \text{(ง.1)}$$

เมื่อ $491.69\ R \leq T_a \leq 959.69\ R$

โดย

P_{sat} - ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำ, psia

T_a - อุณหภูมิของอากาศ, R

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2 ความชื้นอิ่มตัวของอากาศชื้น

$$H_{sat} = \frac{0.6219\, P_{sat}}{P_{atm} - P_{sat}} \qquad (ง.2)$$

โดย

H_{sat} - ความชื้นอิ่มตัวของอากาศชื้น, kg/kg dry air

P_{sat} - ความดันไออิ่มตัวของไอน้ำ, psia

P_{atm} - ความดันบรรยากาศ, psia

ง.3 ความหนาแน่นของอากาศชื้น

$$v_H = (0.772 + 1.24H)\frac{T_a}{273.15} \qquad (ง.3.1)$$

ดังนั้น ความหนาแน่นของอากาศชื้นมีค่าเท่ากับ

$$\rho_a = \frac{(1 + H)}{v_H} \qquad (ง.3.2)$$

โดย

v_H - ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น, m^3/kg dry air

ρ_a - ความหนาแน่นของอากาศชื้น, kg/m^3

H - ความชื้นของอากาศ, kg/kg dry air

T_a - อุณหภูมิของอากาศ, K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.4 ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ

กรณี $273.15\ K \leq T_a \leq 338.72\ K$

$$h_{fg} = \frac{2.503 \times 10^{6} - 2.386 \times 10^{3}(T_a - 273.15)}{1 \times 10^{3}} \qquad (ง.4.1)$$

กรณี $338.72\ K < T_a \leq 533.15\ K$

$$h_{fg} = \frac{\sqrt{7.329 \times 10^{12} - 1.6\,T_a^{\,2}}}{1 \times 10^{3}} \qquad (ง.4.2)$$

โดย

h_{fg} - ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ, kJ/kg

T_a - อุณหภูมิของอากาศ, K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.5 สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ

การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ ใช้ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Fuller, Schettler, and Giddings. Perry's chemical engineers' handbook [16]

$$D_{AB} = \frac{10^{-3} \times T_a^{1.75} \sqrt{(M_a + M_w)/M_a M_w}}{P\left[(\sum \upsilon)_a^{1/2} + (\sum \upsilon)_w^{1/3}\right]^2} \qquad (ง.5)$$

โดย

D_{AB} - สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ, m^2/s

$\sum \upsilon$ - atomic diffusion volume

$\sum \upsilon_a = 20.1$

$\sum \upsilon_w = 12.7$

M - Molecular weight

$M_a = 18$

$M_w = 29$

T_a - อุณหภูมิของอากาศ, K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาค่าความจุความร้อนจำเพาะ, ค่าการนำความร้อนของอากาศแห้ง ใช้ข้อมูลจาก Heat ans Mass Transfer [19] ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานสำหรับการอบแห้ง (273 – 573 K) สร้างเป็นสมการโดยวิธี curve-fitting

ง.6 ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง

$$C_a = 3.617 \times 10^{-7} T_a^{\ 2} - 1.697 \times 10^{-4} T_a + 1.023 \qquad (ง.6)$$

โดย

C_a - ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, kJ/kg.K

T_a - อุณหภูมิของอากาศ, K

ง.7 ค่าการนำความร้อนของอากาศ

$$k_a = -2.632 \times 10^{-11} T_a^{\ 2} + 8.811 \times 10^{-8} T_a + 2.061 \times 10^{-6} \qquad (ง.7)$$

โดย

k_a - ค่าการนำความร้อนของอากาศ, kW/m.K

T_a - อุณหภูมิของอากาศ, K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.8 ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ

การหาค่าความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ ใช้ข้อมูลจาก Perry's chemical engineers' handbook [16] ในช่วงอุณหภูมิ 280 – 500 K สร้างเป็นสมการโดยวิธี curve-fitting

$$\mu_a = 4.489 \times 10^{-5} \exp\left(\frac{-269.25}{T_a}\right) \qquad (ง.8)$$

โดย

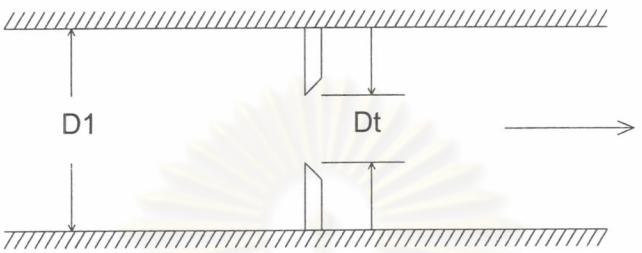
μ_a - ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ, $N.s/m^2$

T_a - อุณหภูมิของอากาศ, K

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

การวัดอัตราการไหลของอากาศ



พิจารณาการไหลของอากาศผ่าน Orifice

จาก Bernoulli equation

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

Assumptions : (1) Steady flow

(2) Incompressible flow, $\rho_1 = \rho_2$

(3) Flow along a streamline

(4) No friction

(5) Uniform velocity at sections 1 and 2

(6) $z_1 = z_2$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะได้ว่า

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho v_2^2}{2}\left[1-\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2\right]$$

จาก continuity

$$V_1A_1 = V_2A_2 \qquad \text{ดังนั้น} \qquad \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2$$

ดังนั้น

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho v_2^2}{2}\left[1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right]$$

เพราะฉะนั้น V_2 มีค่าเท่ากับ

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho[1-(A_2/A_1)^2]}}$$

อัตราการไหลเชิงทฤษฎีมีค่าเท่ากับ

$$m_a = \rho v_2 A_2 = \rho\sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho[1-(A_2/A_1)^2]}}\ A_2$$

$$= \frac{A_2}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}}\sqrt{2\rho(P_1 - P_2)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในทางปฏิบัติอัตราการไหลจริงมีค่าเท่ากับ

$$m_a = \frac{CA_t}{\sqrt{1-(A_t/A_1)^2}}\sqrt{2\rho(P_1-P_2)}$$

$$= \frac{CA_t}{\sqrt{1-(D_t/D_1)^4}}\sqrt{2\rho(P_1-P_2)}$$

หรือ

$$m_a = KA_t\sqrt{2\rho(P_1-P_2)}, \qquad K = \frac{C}{\sqrt{1-(D_t/D_1)^4}}$$

เมื่อ

C - discharge coefficient

K - flow coefficient

ดังนั้นเมื่อทราบค่าความดันแตกต่างก็จะสามารถหาค่าอัตราการไหลของอากาศผ่าน Orifice ได้ โดยค่า K (flow coefficient) เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างการคำนวณสมดุลมวลและพลังงาน

การคำนวณสมดุลมวลและพลังงานของเครื่องอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลม เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการจำลองแบบ โดยใช้ข้อมูลเงื่อนไขที่ทางเข้า และผลที่ได้จากการจำลองแบบที่ทางออกของท่ออบแห้ง

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ :

<u>ขนาดเครื่องอบแห้ง</u>

- เส้นผ่านศูนย์กลางท่ออบแห้ง	1	m
- ความยาวท่ออบแห้ง	30	m

<u>เงื่อนไขที่ทางเข้า</u>

- อัตราการไหลของลมร้อน	8	$kg_{dry\ air}/s$
- อัตราการป้อนกากอ้อย	1	$kg_{dry\ bagasse}/s$
- ความชื้นกากอ้อย	50	% (wet-basis)
- ความชื้นลมร้อน	0.019	$kg_{vapor}/kg_{dry\ air}$
- อุณหภูมิของลมร้อน	200	°C
- อุณหภูมิของกากอ้อย	33	°C

<u>ผลการจำลองแบบที่ทางออก</u>

- ความชื้นกากอ้อย	35.55	% (wet-basis)
- ความชื้นลมร้อน	0.075	$kg_{vapor}/kg_{dry\ air}$
- อุณหภูมิของลมร้อน	57.31	°C
- อุณหภูมิของกากอ้อย	48.26	°C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาสมดุลมวลของน้ำ

$$\begin{bmatrix}\text{Rate of}\\ \text{water vapor}\\ \text{in with air}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\text{Rate of}\\ \text{moisture}\\ \text{in with solid}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\text{Rate of}\\ \text{water vapor}\\ \text{in with air}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\text{Rate of}\\ \text{moisture}\\ \text{in with solid}\end{bmatrix}$$

$$m_aH_i + m_sW_i = m_aH_e + m_sW_e$$

พิจารณา 2 เทอมทางซ้ายของสมการ

$$m_aH_i + m_sW_i = (8 \times 0.019) + (1 \times 1)$$
$$= 1.152 \text{ kg}$$

พิจารณา 2 เทอมทางขวาของสมการ

$$m_aH_e + m_sW_e = (8 \times 0.075) + (1 \times 0.552)$$
$$= 1.152 \text{ kg}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาสมดุลของพลังงาน

[Rate of thermal energy in with air] + [Rate of thermal energy in with solid] = [Rate of thermal energy out with air] + [Rate of thermal energy out with solid]

$$m_a h_{a,\,i} + m_s h_{s,\,i} = m_a h_{a,\,e} + m_s h_{s,\,e}$$

เมื่อ

$$h_a = (C_a + C_v H)T_a + h_{fg,0}H$$

$$h_s = (C_s + C_w W)T_s$$

Inlet condition : T_a = 473.15 K, H = 0.019 kg/kg dry air, W = 1 kg/kg dry bagasse, T_s = 306.15 K

$C_a = 3.617 \times 10^{-7} T_a^{\,2} - 1.697 \times 10^{-4} T_a + 1.023$

$= 3.617 \times 10^{-7} (473.15)^2 - 1.697 \times 10^{-4} (473.15) + 1.023$

$= 1.02368$ kJ/kg.K

$h_a = (1.02368 + 1.8887(0.019))(473.15 - 273.15) + 2500.16(0.019)$

$= 259.4162$ kJ/kg

$h_s = (1.6786 + 4.196(1))(306.15 - 273.15)$

$= 193.8618$ kJ/kg

Outlet condition : T_a = 330.46 K, H = 0.075 kg/kg dry air, W = 0.551 kg/kg dry bagasse, T_s = 321.41 K

$C_a = 3.617 \times 10^{-7} T_a^{\,2} - 1.697 \times 10^{-4} T_a + 1.023$

$= 3.617 \times 10^{-7} (330.46)^2 - 1.697 \times 10^{-4} (330.46) + 1.023$

$= 1.006419$ kJ/kg.K

$h_a = (1.006419 + 1.8887(0.075))(330.46 - 273.15) + 2500.16(0.075)$

$= 253.3080$ kJ/kg

$$h_s = (1.6786 + 4.196(0.551)(321.41 - 273.15)$$
$$= 192.5862 \quad kJ/kg$$

พิจารณา 2 เทอมทางซ้ายของสมการ

$$m_a h_{a,\,i} + m_s h_{s,\,i} = (8 \times 259.4162) + (1 \times 193.8618)$$
$$= 2269.1914 \quad kW$$

พิจารณา 2 เทอมทางขวาของสมการ

$$m_a h_{a,\,e} + m_s h_{s,\,e} = (8 \times 253.3080) + (1 \times 192.5862)$$
$$= 2219.050163 \quad kW$$

ดังนั้น ค่าความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ

$$\% \text{ error} = \frac{2219.050163 - 2269.1914}{2269.1914} \times 100$$

$$= -2.21 \%$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ซ

โปรแกรมคอมพิวเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Input data

- Diameter of drying column, D (m)
- Mass flow rate of dry air, m_a (kg/s)
- Mass flow rate of dry bagasse, m_s (kg/s)
- Air humidity at inlet, H_i (kg/kg dry air)
- Moisture content of bagasse at inlet, W_i (% wet-basis)
- Temperature of air at inlet, $T_{a,i}$ (°C)
- Temperature of bagasse at inlet, $T_{s,i}$ (°C)
- Desired distance for calculation, xL (m)
  or desired Moisture content of bagasse, WL (% wet-basis)

Output data

- Moisture content of bagasse at outlet, W_e (% wet-basis)
- Air humidity at outlet, H_e (kg/kg dry air)
- Temperature of air at outlet, $T_{a,e}$ (°C)
- Temperature of bagasse at outlet, $T_{s,e}$ (°C)
- Velocity of air at outlet, $u_{a,e}$ (m/s)
- Velocity of bagasse at outlet, $u_{s,e}$ (m/s)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Main program

```
      PROGRAM THESIS
**********************************************************************************
**********************************************************************************
**                                                                              **
**                          M.Eng Thesis                                        **
**          A Simulation of A Pneumatic Conveying Bagasse Dryer                 **
**                                                                              **
**                                                                              **
**                          A Program for Solving                               **
**          A Set of Ordinary First-Order Differential Equations                **
**          Using The Fourth-Order Runge-Kutta Method                           **
**                                                                              **
**                                By                                            **
**                        Mr. Saran  Wattanachai                                **
**     Department of Mechanical Engineering.  Chulalongkorn University          **
**                                                                              **
**********************************************************************************
**********************************************************************************
C
C--------------------------------------------------------------------------------
C
C                    Definition Of Symbols
C
C--------------------------------------------------------------------------------
C
C          X         =  Dimensionless distance
C          DX        =  Step size
C          H         =  Absolute humidity
C          W         =  Moisture content of bagasse (dry-basis)
C          WW        =  Moisture content of bagasse (wet-basis)
C          TA        =  Temperature of air (K)
C          TCA       =  Temperature of air (C)
C          TA0       =  Temperature of air at inlet (K)
C          TS        =  Temperature of bagasse (K)
C          TCS       =  Temperature of bagasse (C)
C          UA        =  Dimensionless velocity of air
C          US        =  Dimensionless velocity of bagasse
C          UUA0      =  Velocity of air at inlet
C          MA        =  Mass flow rate of dry air
C          MS        =  Mass flow rate of bagasse (dry-basis)
```

```
C       M       = Mass flow rate ratio (MS/MA)
C       D       = Diameter of the drying column
C       DP      = Diameter of the solid particle (bagasse)
C       DENA    = Density of air
C       DENA0   = Density of air at inlet
C       DENS    = Density of bagasse (dry-basis)
C       RDENA   = Relative density of air
C       VIS     = Viscosity of dry air
C       VIS0    = Viscosity of dry air at inlet
C       RVIS    = Relative viscosity of air
C       CA      = Specific heat at constant pressure of dry air
C       CW      = Specific heat at constant pressure of water
C       CV      = Specific heat at constant pressure of water vapor
C       CS      = Specific heat at constant pressure of dry bagasse
C       HSAT    = Saturated humidity of air
C       LATENT= Latent heat of vaporization
C       KA      = Thermal conductivity of air
C       DAB     = Water vapor diffusivity in air
C       K0,K1   = Parameter of equation
C       RE0     = Reynolds number based on the diameter of the drying column
C       REP     = Reynolds number around a single particle
C       PR      = Prandtl number
C       NU      = Nusselt number
C       SC      = Schmidt number
C       SH      = Sherwood number
C       FR0     = Froude number
C       CD      = Drag coefficient
C       NITER   = Number of iterations
C       XL      = Desired distance for calculation
C       WL      = Desired moisture content of bagasse (dry-basis)
C                 for calculation
C
C-----------------------------------------------------------------------------------------
C
C.....DECLARE ALL VARIABLES
        INTEGER NITER,NO,NP
        REAL X,DX,W,H,TA,TA0,TS,UA,US,UUA0,MA,MS,M,D,HSAT,VH,DENA,DENA0,
       +LATENT,DAB,CA,KA,VIS,VIS0,RE0,PI,XL,WL,TCA,TCS,WW,WWL
C
        COMMON
       +/VAR0/  DENA0,RE0
       +/VEL0/  UUA0
```

```
      +/DIA/  D
      +/VISCOS/VIS0
      +/TEMP/  TA0
C
        OPEN(9,FILE='OUTPUT.OUT')
        OPEN(10,FILE='X.OUT')
        OPEN(11,FILE='W.OUT')
        OPEN(12,FILE='H.OUT')
        OPEN(14,FILE='TA.OUT')
        OPEN(15,FILE='TS.OUT')
        OPEN(16,FILE='UA.OUT')
        OPEN(17,FILE='US.OUT')
C
C.....ASSIGN VARIABLES
        PI   = 4.*ATAN(1.)
        NITER = 0
        NP   = 0
        DX   = 0.00005
C
C.....INPUT DATA :
C
C       DRYER CONFIGURATION AND OPERATING CONDITIONS
        WRITE(*,100)
  100   FORMAT('   A Simulation of A Pneumatic Conveying Bagasse Dryer'//
     +  '   Input Dryer Configuration and Operating Conditions'/)
        WRITE(*,200)
  200   FORMAT('    - Diameter of drying column (m)          : '\)
        READ(*,*) D
        WRITE(*,300)
  300   FORMAT('    - Mass flow rate of dry air (kg/s)       : '\)
        READ(*,*) MA
        WRITE(*,400)
  400   FORMAT('    - Mass flow rate of dry bagasse (kg/s)   : '\)
        READ(*,*) MS
C
C       THE INLET CONDITIONS
        X  = 0.
        US = 0.001
        WRITE(*,500)
  500 FORMAT(/'   Input Inlet Conditions'/)
        WRITE(*,600)
  600   FORMAT('    - Air humidity (kg vapor/kg dry air)     : '\)
```

```
      READ(*,*) H
      WRITE(*,700)
  700 FORMAT('    - Moisture content of bagasse (% wet-basis) : '\)
      READ(*,*) WW
      WRITE(*,800)
  800 FORMAT('    - Temperature of air (C)                    : '\)
      READ(*,*) TCA
      WRITE(*,900)
  900 FORMAT('    - Temperature of bagasse (C)                : '\)
      READ(*,*) TCS
      WW = WW/100.
      W  = WW/(1.-WW)
      TA = TCA + 273.15
      TS = TCS + 273.15
C
C.....CHOOSE THE MAIN CALCULATION
      WRITE(*,110)
  110 FORMAT(//'   Choose the Calculation'/)
      WRITE(*,120)
  120 FORMAT('    I. Calculate moisture content of bagasse at desired',
     + ' distance (enter 1) '//)
      WRITE(*,140)
  140 FORMAT('    II.Calculate the length of drying column at desired',
     + ' moisture content'/'       of bagasse (enter 2)')
      WRITE(*,150)
  150 FORMAT(/'    - Choose the calculation you want           : '\)
      READ(*,*) NO
      IF(NO.EQ.1)THEN
      WRITE(*,160)
  160 FORMAT(/'    - Input the desired distance (m)            : '\)
      READ(*,*) XL
      XL = XL/D
      WL = 0.
      ELSE
      WRITE(*,170)
  170 FORMAT(/'    - Input the desired moisture content'/
     +       '      of bagasse (% wet-basis)                  : '\)
      READ(*,*) WWL
      WWL = WWL/100.
      WL  = WWL/(1.- WWL)
      XL  = 10000.
      END IF
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
C
C.....FIND THE DATA WHICH ARE REQUIRED IN THE SIMULATION
      CALL PROPS(H,TA,TS,HSAT,VH,DENA,LATENT,DAB,CA,KA,VIS)
C
      M    = MS/MA
      TA0  = TA
      DENA0 = DENA
      UUA0  =  MA*VH/(PI*(D**2.)/4.)
      VIS0  = VIS
      RE0   = DENA0*UUA0*D/VIS0
C
C.....FIND THE DIMENSIONLESS VELOCITY OF AIR AT INLET
      UA    = (TA/TA0)*(1.+H*(29./18.))
C
C.....WRITE THE OPERATING CONDITIONS AND THE INLET CONDITIONS TO FILE
      WRITE(9,210)
  210 FORMAT(' The Operating Condition'/)
      WRITE(9,220)MA
  220 FORMAT(' - Mass flow rate of dry air : ',F8.5,' kg/s'/)
      WRITE(9,230)MS
  230 FORMAT(' - Mass flow rate of dry bagasse : ',F8.5,' kg/s')
      WRITE(9,240)
  240 FORMAT(//' The Result of Simulation')
      WRITE(9,250)
  250 FORMAT(/12X,'x',20X,'W',20X,'H',20X,'Ta',20X,'Ts',20X,'ua',20X,
     +    'us'/)
C
      CALL OUTP(X,W,H,TA,TS,UA,US)
C
C.....START ITERATION
C
    1 NITER = NITER + 1
      NP    = NP    + 1
C
C.....FIND THE DIMENSIONLESS VELOCITY OF AIR
      UA   = (TA/TA0)*(1.+H*(29./18.))
C
C.....SOLVE A SET OF ODE
      CALL RUNGE4(X,W,H,TA,TS,UA,US,M,DX)
C
C.....WRITE THE RESULT AT DESIRED DISTANCE TO FILE
      IF(NP.GE.20000)THEN
```

```
            CALL OUTP(X,W,H,TA,TS,UA,US)
            NP = 0
            END IF
C
C.....CHECK THE FINAL CONDITION AND WRITE THE FINAL RESULT TO FILE
            IF(W.LE.WL.OR.X.GE.XL)THEN
            CALL OUTP(X,W,H,TA,TS,UA,US)
           GO TO 2
            END IF
            GO TO 1
C
C.....END        ITERATION
C
        2   CONTINUE
C.....WRITE THE FINAL RESULT TO MONITOR
          WRITE(*,410)
    410   FORMAT(//'     The Result of Simulation')
          WRITE(*,420) X*D,(W/(1.+W))*100.,NITER
    420   FORMAT(/'       x  = ',F6.2,' m       W  = ',F6.2,' % wet-basis'//
       +        '       No. of Iteration  = ',I10)
          STOP
          END
C
C-----------------------------------------------------------------------
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Subprogram

```
C
C       SUBROUTINE RUNGE4
C       FOR SOLVING A SET OF ODE
C        USING THE FOURTH-ORDER RUNGE-KUTTA METHOD
C
        SUBROUTINE RUNGE4(X,W,H,TA,TS,UA,US,M,DX)
C
C.....DECLARE ALL VARIABLES
        REAL X0,W0,H0,TA0,TS0,US0,K1W,K1H,K1TA,K1TS,K1US,K2W,K2H,K2TA,K2TS
     +,K2US,K3W,K3H,K3TA,K3TS,K3US,K4W,K4H,K4TA,K4TS,K4US,X,W,H,TA,TS,UA
     +,US,M,DX,FW,FH,FTA,FTS,FUS
C
        X0   = X
        W0   = W
        H0   = H
        TA0  = TA
        TS0  = TS
        US0  = US
C
C.....FIND K1 FOR ALL EQUATIONS
        CALL DERIVT(W,H,TA,TS,UA,US,M,FW,FH,FTA,FTS,FUS)
C
        K1W  = FW
        K1H  = FH
        K1TA = FTA
        K1TS = FTS
        K1US = FUS
C
        X    = X  + DX/2.
        W    = W  + DX*K1W/2.
        H    = H  + DX*K1H/2.
        TA   = TA + DX*K1TA/2.
        TS   = TS + DX*K1TS/2.
        US   = US + DX*K1US/2.
C
C.....FIND K2 FOR ALL EQUATIONS
        CALL DERIVT(W,H,TA,TS,UA,US,M,FW,FH,FTA,FTS,FUS)
C
        K2W  = FW
        K2H  = FH
```

```
      K2TA = FTA
      K2TS = FTS
      K2US = FUS
C
      X    = X  + DX/2.
      W    = W  + DX*K2W/2.
      H    = H  + DX*K2H/2.
      TA   = TA + DX*K2TA/2.
      TS   = TS + DX*K2TS/2.
      US   = US + DX*K2US/2.
C
C.....FIND K3    FOR ALL EQUATIONS
      CALL DERIVT(W,H,TA,TS,UA,US,M,FW,FH,FTA,FTS,FUS)
C
      K3W  = FW
      K3H  = FH
      K3TA = FTA
      K3TS = FTS
      K3US = FUS
C
      X    = X  + DX
      W    = W  + DX*K3W
      H    = H  + DX*K3H
      TA   = TA + DX*K3TA
      TS   = TS + DX*K3TS
      US   = US + DX*K3US
C

C.....FIND K4    FOR ALL EQUATIONS
      CALL DERIVT(W,H,TA,TS,UA,US,M,FW,FH,FTA,FTS,FUS)
C
      K4W  = FW
      K4H  = FH
      K4TA = FTA
      K4TS = FTS
      K4US = FUS
C
C.....INTEGRATE THE SET OF ODE
      W    = W0  + (K1W + 2.*K2W + 2.*K3W + K4W)*DX/6.
      H    = H0  + (K1H + 2.*K2H + 2.*K3H + K4H)*DX/6.
      TA   = TA0 + (K1TA + 2.*K2TA + 2.*K3TA + K4TA)*DX/6.
      TS   = TS0 + (K1TS + 2.*K2TS + 2.*K3TS + K4TS)*DX/6.
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
      US    = US0 + (K1US + 2.*K2US + 2.*K3US + K4US)*DX/6.
      X     = X0  + DX
C
      RETURN
      END
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
C     SUBROUTINE PROPS
C    FOR FINDING THE PROPERTIES OF AIR
C
      SUBROUTINE PROPS(H,TA,TS,HSAT,VH,DENA,LATENT,DAB,CA,KA,VIS)
C
C.....DECLARE ALL VARIABLES
     REAL H,TA,TS,HSAT,VH,DENA,LATENT,DAB,CA,KA,VIS,R,PSAT,PATM,A,B
C
C.....FIND THE VAPOR PRESSURE OF WATER
      R =       (9./5.)*TS
      A = -27405.5+54.1896*R-0.04513*(R**2.)+0.215321*(10.**(-4.))*(R**3
     +.)-0.462027*(10.**(-8.))*(R**4.)
      B = 2.41613*R-0.00121547*(R**2.)
      PSAT =3206.18*EXP(A/B)
C
C.....FIND THE SATURATED HUMIDITY OF AIR
      PATM = 14.696
      HSAT = 0.621*PSAT/(PATM-PSAT)
C
C.....FIND THE HUMID VOLUME AND DENSITY OF AIR
     VH   = (0.772+1.24*H)*(TA/273.15)
      DENA = (1.+H)/VH
C
C.....FIND THE LATENT HEAT OF VAPORIZATION
      IF (TS.GE.273.16.AND.TS.LE.338.72)THEN
      LATENT=(2.503*(10.**6.)-2.386*(10.**3.)*(TS-273.15))/1000.
      ELSE
      LATENT = ((7.329*(10.**12.)-1.6*(TS**2.))**(1./2.))/1000.
      END IF
C
C.....FIND THE WATER VAPOR DIFFUSIVITY IN AIR
      DAB =  1.175*(10.**(-9.))*(TA**1.75)
C
C.....FIND THE SPECIFIC HEAT OF AIR
```

```
      CA = 3.617*(10.**(-7.))*(TA**2.)-1.697*(10.**(-4.))*TA+1.023
C
C.....FIND THE THERMAL CONDUCTIVITY OF AIR
      KA = -2.632*(10.**(-11.))*(TA**2.)+8.811*(10.**(-8.))*TA
     ++2.061*(10.**(-6.))
C
C.....FIND THE VISCOSITY OF AIR
      VIS = 4.489*(10.**(-5.))*EXP(-269.25/TA)
C
      RETURN
      END
C
C-----------------------------------------------------------------
C
C     SUBROUTINE DIMLES
C    FOR CALCULATING THE DIMENSIONLESS VARIABLES
C
      SUBROUTINE DIMLES (UA,US,DENA,DAB,CA,KA,VIS,REP,CD,PR,SC,NU,SH,FR0
     +,K0,K1)
C
C.....DECLARE ALL VARIABLES
      REAL UA,US,DENA,DAB,CA,KA,VIS,REP,CD,PR,SC,NU,SH,FR0,K0,K1,C,M,N
C
      PARAMETER (C = 0.6, M = 0.5, N = 1./3.)
C
      COMMON
     +/VAR0/   DENA0,RE0
     +/VEL0/   UUA0
     +/DIA/    D
     +/DIAP/   DP
     +/DENSIT/ DENS
     +/TEMP/   TA0
C
C.....FIND THE REYNOLDS NUMBER BASED AROUND A SINGLE PARTICLE
      REP  = DENA*(UA-US)*UUA0*DP/VIS
C
C.....FIND THE DRAG COEFFICIENT
      IF(REP.LE.5)THEN
      CD  = 24./REP
      ELSE IF(REP.LT.500.)THEN
      CD  = 10./(REP**0.5)
      ELSE IF(REP.GE.500.)THEN
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
          CD  = 0.44
           END IF
C
C.....FIND THE PRANDTL NUMBER
           PR  = CA*VIS/KA
C
C.....FIND THE SCHMIDT NUMBER
          SC  = VIS/(DENA*DAB)
C
C.....FIND THE NUSSELT NUMBER
           NU  = 2.+ C*(REP**M)*(PR**N)
C
C.....FIND THE SHERWOOD NUMBER
           SH  = 2.+ C*(REP**M)*(SC**N)
C
C.....FIND THE FROUDE NUMBER
           FR0 = UUA0/((9.81*D)**(1./2.))
C
C.....FIND THE PARAMETER OF EQUATION
           K0  = 6.*((D/DP)**2.)*(DENA0/DENS)*(RE0**(-1.))*(SC**(-1.))
           K1  = (3./4.)*(D/DP)*(DENA0/DENS)
C
          RETURN
           END
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
C        SUBROUTINE DERIVT
C          FOR CALCULATING THE DERIVATIVE OF VARIABLES
C
           SUBROUTINE DERIVT(W,H,TA,TS,UA,US,M,FW,FH,FTA,FTS,FUS)
C
C.....DECLARE ALL VARIABLES
           REAL W,H,TA,TS,UA,US,M,HSAT,VH,DENA,LATENT,DAB,CA,KA,VIS,RDENA
       +,RVIS,REP,CD,PR,SC,NU,SH,FR0,K0,K1,FW,FH,FTA,FTS,FUS
C
           COMMON
       +/SPECIF/ CW,CV,CS
       +/VAR0/   DENA0,RE0
       +/VEL0/   UUA0
       +/VISCOS/ VIS0
C
```

```
C.....FIND THE PROPERTIES OF AIR
      CALL PROPS(H,TA,TS,HSAT,VH,DENA,LATENT,DAB,CA,KA,VIS)
C
C.....CALCULATE THE RELATIVE DENSITY AND RELATIVE VISCOSITY OF AIR
      RDENA= DENA/DENA0
      RVIS = VIS0/VIS
C
C.....CALCULATE THE DIMENSIONLESS VARIABLES
      CALL DIMLES(UA,US,DENA,DAB,CA,KA,VIS,REP,CD,PR,SC,NU,SH,FR0,K0,K1)
C
C.....CALCULATE THE DERIVATIVE OF VARIABLES
      FW  =-K0*(SH/US)*RVIS*(HSAT-H)
C
      FH  =-M*FW
C
      FTA =(1./(1.+(CV/CA)*H))*(-K0*M*(SC/PR)*(NU/US)*RVIS*(TA-TS))
C
      FTS =(1./((CS/CW)+W))*( (-1./M)*(1.+(CV/CA)*H)*(CA/CW)*FTA + (-1.
     +/M)*((CV/CW)*(TA-TS)+(LATENT/CW))*FH )
C
      FUS =(1./US)*( K1*(RDENA/(1.+W))*CD*((UA-US)**2.)-(FR0**(-2.)))
C
      RETURN
      END
C
C-----------------------------------------------------------------------
C
C     SUBROUTINE OUTP
C       FOR WRITING THE RESULT TO FILE
C
      SUBROUTINE OUTP(X,W,H,TA,TS,UA,US)
C
C.....DECLARE ALL VARIABLES
      REAL X,W,H,TA,TS,UA,US
C
       COMMON
     +/VEL0/ UUA0
     +/DIA/  D
C
       WRITE(9,310) X*D,(W/(1.+W))*100.,H,TA-273.15,TS-273.15,UA*UUA0,
     + US*UUA0
  310 FORMAT(7F16.5)
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
      WRITE(10,*) X*D
      WRITE(11,*) (W/(1.+W))*100.
      WRITE(12,*) H
      WRITE(14,*) TA-273.15
      WRITE(15,*) TS-273.15
      WRITE(16,*) UA*UUA0
      WRITE(17,*) US*UUA0
      RETURN
      END
C
C-----------------------------------------------------------------------
      BLOCK DATA
C
      REAL CW,CV,CS,DP,DENS
C
      COMMON
     +/SPECIF/ CW,CV,CS
     +/DIAP/   DP
     +/DENSIT/ DENS
      DATA CW/4.1960/
      DATA CV/1.8887/
      DATA CS/1.6786/
      DATA DP/0.00157/
      DATA DENS/125./
C
      END
C-----------------------------------------------------------------------
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรัณย์ วัฒนไชย เกิดวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2516 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย