ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลการทดลอง

ตาราง ก1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่, ความการนำความร้อนและค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ที่คำนวณได้จากการทดลอง (นำมาเฉพาะค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 30% เท่านั้น)

TYPE	$T_e(^0C)$	$Q\ (kW)$	$Q''(kW/m^2)$	$Q_c(kW)$	%ERROR
W20% 1Di	70	0.0496	0.8703	0.0098	25.5
	80	0.087	2.5150	0.0114	20.1
	90	0.1067	4.4309	0.0022	19.1
W20% 1.5Di	70	0.0525	6.0752	0.0122	24.7
	80	0.0768	10.6468	0.0120	20.6
	90	0.1144	13.0640	0.0038	18.4
W20%2Di	60	0.0484	0.4051	0.0151	26.6
	70	0.0675	1.3309	0.0176	21.9
	80	0.0930	2.4984	0.0122	19.6
	90	0.1169	4.2902	0.0049	18.4
W35% 1Di	60	0.0824	1.7502	0.0088	20.3
	70	0.0760	4.1211	0.0093	21.0
	80	0.0916	10.0929	0.0115	19.9
	90	0.1244	9.3086	0.0028	18.4
W35% 1.5Di	70	0.0421	11.2122	0.0176	28.5
	80	0.0671	15.2349	0.0211	21.9
	90	0.0908	0.2341	0.0035	19.5

ตาราง ก1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่, ความการนำความร้อนและค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ที่คำนวณได้จากการทดลอง (นำมาเฉพาะค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 30% เท่านั้น) (ต่อ)

TYPE	$T_e(^0C)$	$Q\ (kW)$	$Q''(kW/m^2)$	$Q_c(kW)$	%ERROR
W35% 2Di	50	0.0995	2.2793	0.0110	20.4
	60	0.1201	4.9266	0.0144	19.1
	70	0.1808	6.0889	0.0184	18.2
	80	0.2122	7.3511	0.0220	17.1
	90	0.0995	11.0651	0.0074	16.9
W50% 1Di	60	0.0414	5.0755	0.0077	28.6
	70	0.1107	13.5504	0.0094	18.5
	80	0.1391	17.0227	0.0087	17.8
	90	0.1208	14.7867	0.0078	18.2
W50% 1.5 Di	60	0.0348	2.8459	0.0088	32.2
	70	0.0529	4.3160	0.0118	24.7
	80	0.0680	5.5545	0.0195	21.8
	90	0.1141	9.3137	0.0142	18.5
W50% 2 Di	50	0.0532	3.2573	0.0051	24.5
	60	0.0754	4.6156	0.0082	20.9
	70	0.0925	5.6638	0.0113	19.5
	80	0.1107	6.7765	0.0142	18.6
	90	0.1299	7.9502	0.0175	18.2
W65% 1Di	50	0.1107	0.0571	0.0069	24.4
	60	0.1299	0.0983	0.0086	19.2
	70	0.0414	0.1670	0.0097	17.3
	80	0.1107	0.2251	0.0099	16.8
	90	0.1391	0.3569	0.0036	16.5

ตาราง ก1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่, ความการนำความร้อนและค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ที่คำนวณได้จากการทดลอง (นำมาเฉพาะค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 30% เท่านั้น) (ต่อ)

TYPE	$T_e(^0C)$	$Q\ (kW)$	$Q''(kW/m^2)$	$Q_c(kW)$	%ERROR
W65% 1.5Di	50	0.0469	3.8311	0.0115	26.4
	60	0.1368	11.1612	0.0133	17.7
	70	0.1881	15.3474	0.0142	17.0
	80	0.3775	30.8040	0.0161	16.4
	90	0.5295	43.2041	0.0025	16.3
W65% 2Di	40	0.0589	3.6078	0.0061	23.2
	50	0.1351	8.2721	0.0086	17.8
	60	0.2319	14.1935	0.0107	16.6
	70	0.3289	20.1306	0.0125	16.5
	80	0.4527	27.7010	0.0130	16.4
	90	0.6402	39.1750	0.0130	16.3
W80% 1Di	60	0.0571	6.9880	0.0094	23.9
	70	0.0780	9.5454	0.0059	20.7
	80	0.1091	13.3549	0.0064	18.7
	90	0.1114	13.6339	0.0035	18.5
W80% 1.5Di	40	0.1144	9.3403	0.0081	18.5
	50	0.1175	9.5921	0.0090	18.3
	60	0.1206	9.8444	0.0058	18.2
	70	0.1239	10.1092	0.0045	18.3
	80	0.1399	11.4142	0.0040	17.8
	90	0.1682	13.7282	0.0040	17.4
W80% 2Di	40	0.0460	2.8155	0.0067	27.1
	50	0.0712	4.3626	0.0109	21.4
	60	0.0942	5.7667	0.0155	19.3
	70	0.1213	7.4240	0.0226	18.3
	80	0.1327	8.1214	0.0134	17.8
	90	0.1734	10.6117	0.0074	17.2

ตาราง ก1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่, ความการนำความร้อนและค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ที่คำนวณได้จากการทดลอง (นำมาเฉพาะค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 30% เท่านั้น) (ต่อ)

TYPE	$T_e\left({}^0C\right)$	$Q\ (kW)$	$Q''\left(kW/m^2\right)$	$Q_c(kW)$	%ERROR
E20% 1Di	60	0.0492	6.0238	0.0081	25.8
	70	0.0675	8.2668	0.0079	21.8
	80	0.0931	11.4002	0.0082	19.4
	90	0.1177	14.412	0.0028	18.7
E20% 1.5Di	60	0.0558	4.5531	0.0046	23.9
	70	0.1027	8.3858	0.0058	19.0
	80	0.1316	10.7370	0.0043	18.0
	90	0.1511	12.3296	0.0034	17.7
E20% 2Di	50	0.0562	3.4421	0.0083	24.0
	60	0.0771	4.7202	0.0109	20.8
	70	0.0983	6.0162	0.0138	19.1
	80	0.1138	6.9668	0.01646	18.7
	90	0.1311	8.0230	0.0086	18.0
E35% 1Di	60	0.0478	5.8604	0.01189	26.2
	70	0.0693	8.4926	0.01253	21.5
	80	0.0819	10.0304	0.0123	20.1
	90	0.1004	12.2915	0.0028	18.9
E35% 1.5Di	60	0.0408	3.3357	0.0139	29.2
	70	0.0679	5.5432	0.0098	21.8
	80	0.0950	7.7581	0.0068	19.3
	90	0.0693	5.6560	0.0020	21.6
E35% 2Di	50	0.0436	2.6700	0.0078	27.9
	60	0.0681	4.1676	0.0107	21.8
	70	0.0943	5.7759	0.0135	19.4
	80	0.1210	7.4068	0.0099	18.2
	90	0.1512	9.2532	0.0063	17.6

ตาราง ก1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่, ความการนำความร้อนและค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ที่คำนวณได้จากการทดลอง (นำมาเฉพาะค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 30% เท่านั้น) (ต่อ)

TYPE	$T_e(^0C)$	$Q\ (kW)$	$Q''(kW/m^2)$	$Q_c(kW)$	%ERROR
E50% 1Di	60	0.0438	5.3631	0.0077	27.6
	70	0.0604	7.3933	0.0087	23.0
	80	0.1023	12.5197	0.0081	18.9
	90	0.1229	15.0410	0.0074	18.1
E50% 1.5Di	70	0.0506	4.1293	0.0122	25.5
	80	0.0742	6.0579	0.0142	21.2
	90	0.1076	8.7862	0.0085	18.9
E50% 1.5Di	60	0.0482	2.9539	0.0070	25.9
	70	0.0702	4.3008	0.0099	21.4
	80	0.0928	5.6842	0.0114	19.3
	90	0.1182	7.2330	0.0174	18.4
E65% 1Di	50	0.0471	7.6387	0.0078	22.5
	60	0.0865	14.3194	0.0093	18.3
	70	0.1227	21.0569	0.0117	17.2
	80	0.1662	32.2974	0.0127	16.6
	90	0.2030	41.4609	0.0030	16.5
E65% 1.5Di	50	0.1228	3.8477	0.0092	26.5
	60	0.1887	7.0573	0.0104	19.8
	70	0.2514	10.0129	0.0079	18.1
	80	0.3292	13.5657	0.0081	17.3
	90	0.3994	16.5689	0.0043	16.9
E65%2Di	40	0.0304	3.5213	0.0093	23.6
	50	0.0571	7.5174	0.0117	18.1
	60	0.0983	11.5512	0.0135	17.0
	70	0.1670	15.3880	0.0121	16.7
	80	0.2251	20.1454	0.0182	16.5
	90	0.3995	24.4443	0.0063	16.4

ตาราง ก1. แสดงค่าการถ่ายเทความร้อน, ค่าการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่, ความการนำความร้อนและค่าความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ที่คำนวณได้จากการทดลอง (นำมาเฉพาะค่าที่มีความผิดพลาดน้อยกว่า 30% เท่านั้น) (ต่อ)

TYPE	$T_e(^0C)$	$Q\ (kW)$	$Q''(kW/m^2)$	$Q_c(kW)$	*% ERROR*
E80% 1Di	60	0.0432	5.2953	0.0142	28.2
	70	0.0539	6.5997	0.0173	24.8
	80	0.0658	8.0621	0.0204	22.3
	90	0.0766	9.3861	0.0036	20.9
E80% 1.5Di	60	0.0461	3.7676	0.0117	27.0
	70	0.0476	3.8872	0.0146	26.5
	80	0.0634	5.1769	0.0140	22.6
	90	0.0967	7.8919	0.0015	19.3
E80% 2Di	40	0.0394	2.4133	0.0040	29.8
	50	0.0394	2.4133	0.0063	29.8
	60	0.0682	4.1756	0.0088	21.7
	70	0.0775	4.7453	0.0113	20.7
	80	0.0946	5.7887	0.0136	19.4
	90	0.1117	6.8352	0.0072	18.5

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ หาค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าความผิดพลาด

VCLPHP ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน อัตราการเติม 50% และอุณหภูมิการทำงานเท่ากับ 90^0C ได้ผลการทดลองดังนี้ คือ ได้ T_i = 28.1°C T_o = 44 °C $\%RH$ = 50.3, T_{evap} = 88.7°C และ T_{cond} = 72.8°C

จากตาราง Psychometric chart

จะได้ h_i , h_o และ ν เท่ากับ 59 kJ/kg 76.5 kJ/kg และ 0.869 m^3/kg ตามลำดับ

<u>วิธีทำ</u>

จากสมการที่ (2.3) $Q = \dot{m}(h_o - h_i)$

หาค่า $\dot{m}$ จาก $\dot{m}$ = V(m^3/s)/ν (m^3/kg) แทนค่าตัวแปรต่างๆจะได้ว่า

$\dot{m}$ = 0.006/0.869 = 0.0069 kg/s (V เป็นค่าคงที่ในการทดสอบครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 0.006 m^3/s)

แทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการจะได้ว่า

$$Q = 0.0069\ (76.5\text{-}59)$$
$$= 0.1208\ kW$$

หาค่า A จากสมการ $A = 2\pi DL_eN$ จะได้ว่า

$$A = \pi\ (2)(\ (0.001)(0.05)(26)$$
$$= 8.16 \times 10^{-3}\ \ m^2$$

เพราะฉะนั้นจาก $Q^{"} = \frac{Q}{A}$ จะได้ว่า

$$Q^{"} = \frac{0.1208}{8.16 \times 10^{-3}} = 14.79\ \ kW/m^2$$

หาค่าความผิดพลาดจาก

$$\frac{\partial Q}{\partial \dot{m}} d\dot{m} = (76.5\text{-}59)(0.001)$$

$$= 0.0175$$

$$\frac{\partial Q}{\partial h_o} dh_o = 0.0069045(1)$$

$$= 0.0069045$$

$$\frac{\partial Q}{\partial h_i} dh_i = -0.0069045(1)$$

แทนค่าต่างๆ ลงในสมการที่ 2.6 จะได้ว่า

$$dQ = \sqrt{(0.0175^2 + 0.006045^2 + (-0.006045)^2)} = 0.0195\ kW$$

หาค่าความผิดพลาดต่อหน่วยพื้นที่ได้จาก $\frac{dQ}{A}$ จะได้ว่า

$$e = \frac{dQ}{A} = \frac{0.0195}{8.16 \times 10^{-3}} = 2.3\ kW/m^2$$

หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากสมการ $\%E = \frac{e}{Q} \times 100$

แทนค่าจะได้ว่า $\%E = \frac{2.3}{14.79} \times 100 = 15.55\ \%$

หาค่าการนำความร้อนจากสมการ (2.4) จาก $q_x = kA\frac{T_e - T_c}{L_{eff}}$

หาค่า A จาก $A = 2\pi N(r_o^2 - r_i^2)$ แทนค่าจะได้ว่า

$$A = 2 \times \pi \times 26 \times (0.001^2 - 0.0005^2) = 1.22 \times 10^{-5}\ m^2$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$Q_c = 401 \times 1.22 \times 10^{-5} \times \frac{(88.7 - 72.8)}{0.1} = 0.77 \text{ W}$$

หรือ $Q_c = 0.0077$ kW

การหาค่าความต้านทานความร้อน

จากสมการ

$$R_{total} = \frac{T_{evap} - T_{cond}}{Q}$$

แทนค่า ตัวแปรต่างๆ ลงในสมการจะได้ค่าความต้านทานความร้อนดังนี้

$$R_{total} = \frac{88.7 - 72.8}{0.12082875 \times 10^{3}} = 0.131 \text{ K/W}$$

การหาค่าตัวแปรไร้มิติ

VCLPHP ใช้น้ำเป็นสารทำงาน, FR= 50% $D_i = 1mm$ อุณหภูมิการทำงานเท่ากับ 90°C T_i=28.1°C T_o=44°C T_{evap}=88.7°C T_{cond} =72.8°C และ T_{mean}=80.75°C

จากตาราง ค1.สามารถหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ได้ดังนี้

$\rho_l = 971.3kg/m^3$ $\rho_v = 0.305kg/m^3$ $\sigma = 0.063N/m$ $P_e = 70{,}834Pa$

$P_c = 27{,}931Pa$ $\mu_l = 0.0003483Ns/m^2$ $\mu_l = 0.0003483Ns/m^2$

$k_l = 0.669W/m.K$ $h_{fg} = 2307kJ/kg$ และ $C_{p,l} = 4.198kJ/kg.K$

จากสมการที่ 2.7 สามารถหาค่า Ka ได้ดังนี้

$$Ka = f \cdot \mathrm{Re}_l^2 = \frac{\rho_{liq} \cdot (\Delta P) \cdot D_i^3}{\mu_l^2 \cdot L_{eff}}$$

$$Ka = \frac{971.3(70{,}834 - 27{,}931)0.001^3}{0.000348^2 \times 0.1} = 330710$$

จากสมการที่ 2.8 สามารถหาค่า Pr ได้ดังนี้

$$\mathrm{Pr} = \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)_l$$

$$\mathrm{Pr} = \frac{4.198 \times 0.0003483}{0.669}$$

$$= 3.538$$

จากสมการที่ 2.10 สามารถหาค่า Bo ได้ดังนี้

$$Bo = D_i \sqrt{g(\rho_l - \rho_v)/\sigma}$$

$$Bo = 0.001\sqrt{9.81(971.3 - 0.305)/0.063}$$

$$= 0.143$$

จากสมการที่ 2.12 สามารถหาค่า Ku ได้ดังนี้

$$Ku = \frac{q''}{h_{fg}\rho_v \left(\frac{\sigma g(\rho_l - \rho_v)}{\rho_v^2} \right)^{\frac{1}{4}}}$$

$$Ku = \frac{14.79}{2307 \times 0.305 \left(\frac{0.063 \times 9.81(971.3 - 0.305)}{0.305^2} \right)^{\frac{1}{4}}}$$

$$= 0.0113$$

จากสมการที่ 2.13 สามารถหาค่า Ja^* ได้ดังนี้

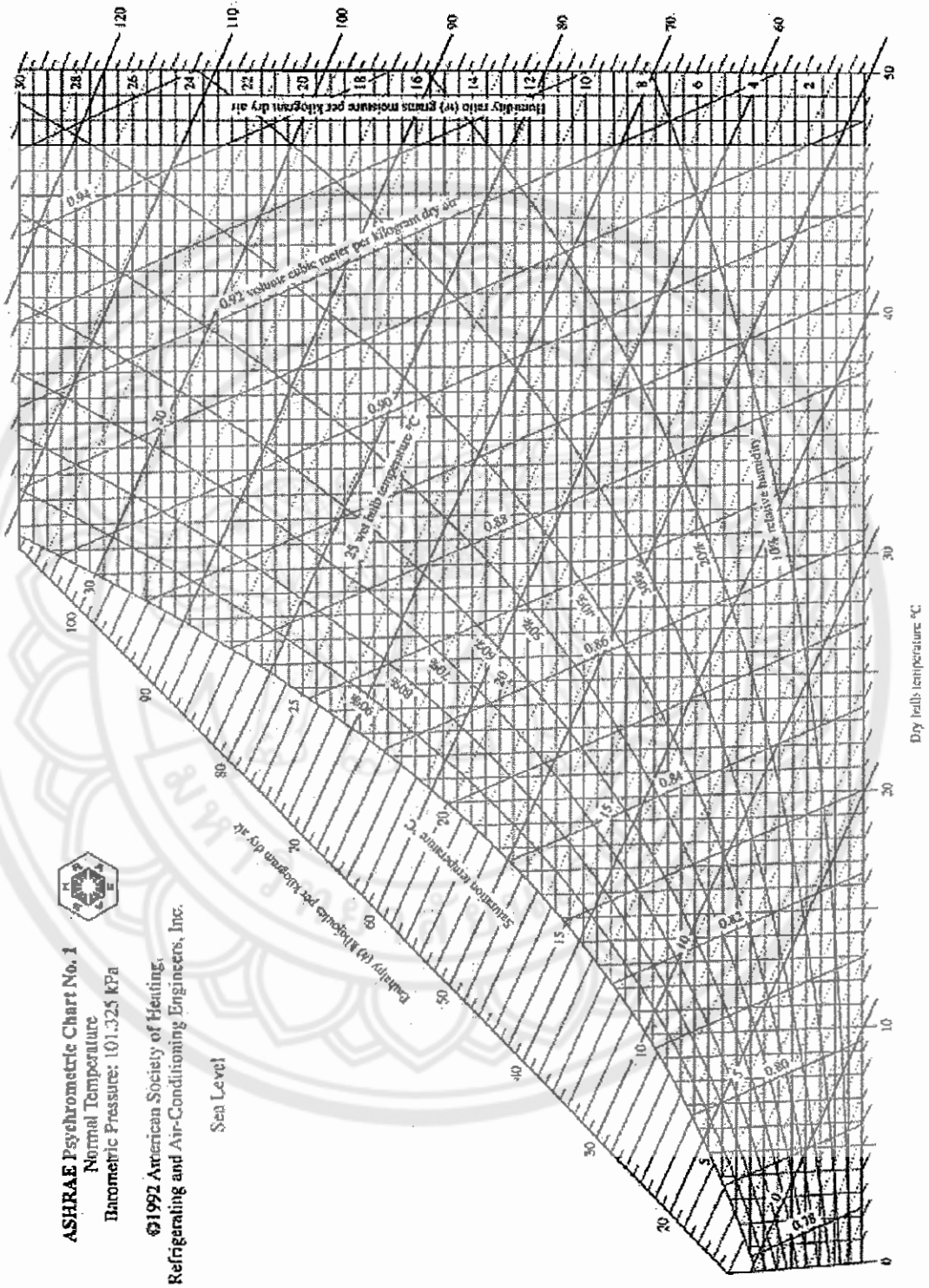
$$Ja^* = \frac{(FR)C_{p,l}\Delta T_{e,c}}{(1 - FR)h_{fg}}$$

$$Ja^* = \frac{(0.5)4.198(88.7 - 72.8)}{(1 - 0.5)2.307} \quad = 0.0278$$

ภาคผนวก ค

แผนภูมิและค่าคุณสมบัติของสารที่ใช้คำนวน

รูป ค1. แสดงแผนภูมิไซโครเมตริกซ์



ตาราง ค1. แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของน้ำและเอทานอล

น้ำ											
T (°C)	P_v (Pa)	h_{fg} (kJ/kg)	P_l (kg/m^3)	P_v (kg/m^3)	μ_l (N.s/m^2)	μ_v (N.s/m^2)	K_l (W/m-K)	Kv (W/m-K)	σ (N/m)	$C_{p,l}$ (kJ/kg-K)	$C_{p,v}$ (kJ/kg-K)
20	2,336.80	2,453.80	999	0.01729	0.0010015	0.00000885	0.602	0.0188	0.07288	4.182	1.874
40	7,374.90	2,406.50	993.05	0.0511	0.0006513	0.00000966	0.63	0.0201	0.06948	4.179	1.894
60	19,919	2,358.40	983.28	0.1302	0.000463	0.0000105	0.653	0.0216	0.06607	4.185	1.924
80	47,359	2,308.90	971.82	0.2932	0.000351	0.0000113	0.669	0.0231	0.06269	4.197	1.969
100	101,325	2,251.20	958.77	0.5974	0.000279	0.0000121	0.68	0.0248	0.05891	4.216	2.034

เอทานอล											
20	5,800	1030	800	0.085	0.001198	0.00000835	0.179	0.0139	0.0228	2.396	1.4
40	18,000	1,011.90	789	0.316	0.000819	0.000009	0.175	0.016	0.021	2.576	1.48
60	47,200	988.9	770	0.748	0.000588	0.00000959	0.171	0.0179	0.0192	2.787	1.54
80	108,600	960	757	1.43	0.000432	0.0000103	0.169	0.0799	0.0173	3.029	1.61
100	226,000	927	730	3.41	0.000318	0.00001092	0.167	0.0219	0.0155	3.303	1.68