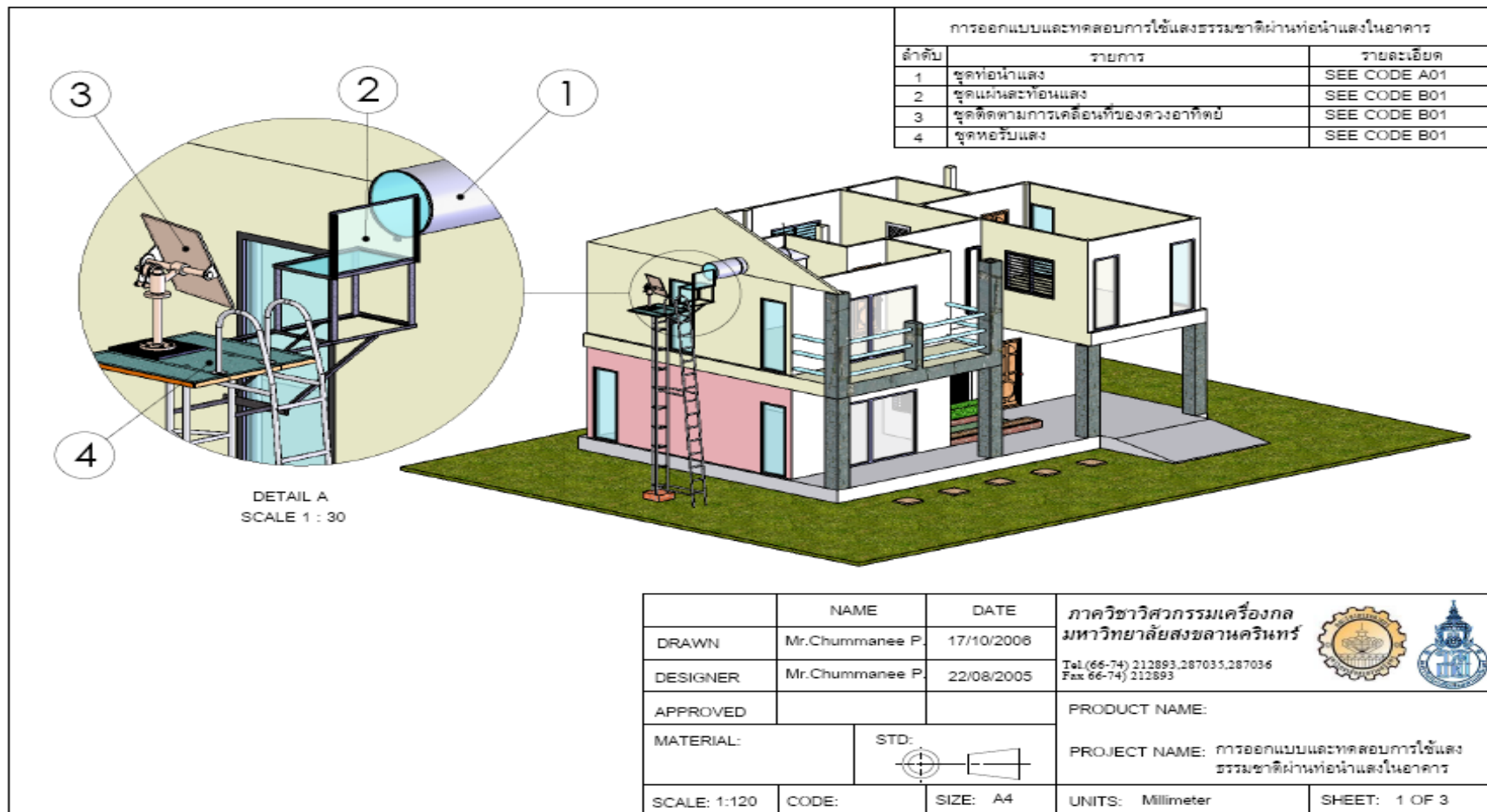
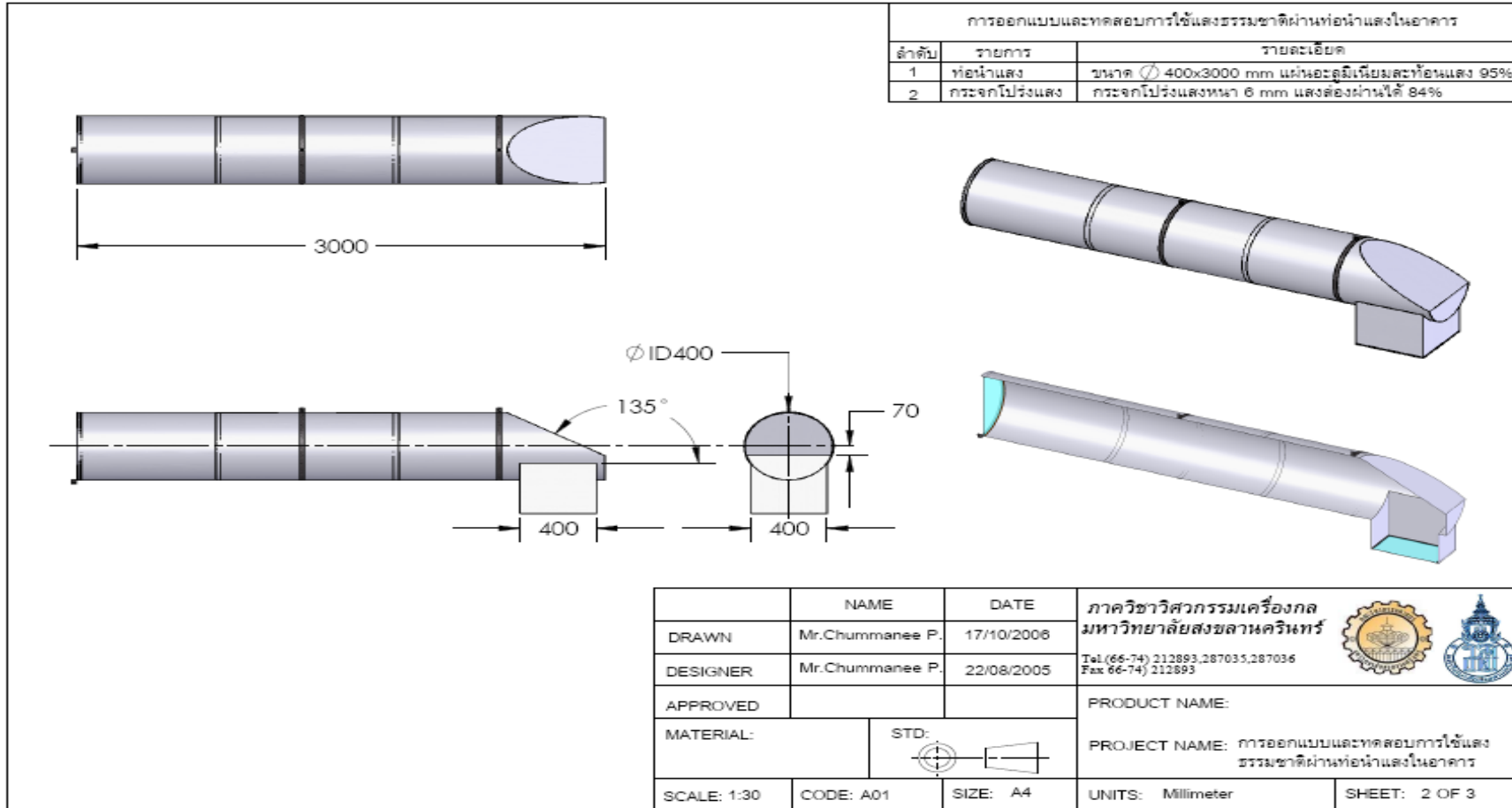


### ภาคผนวก ก

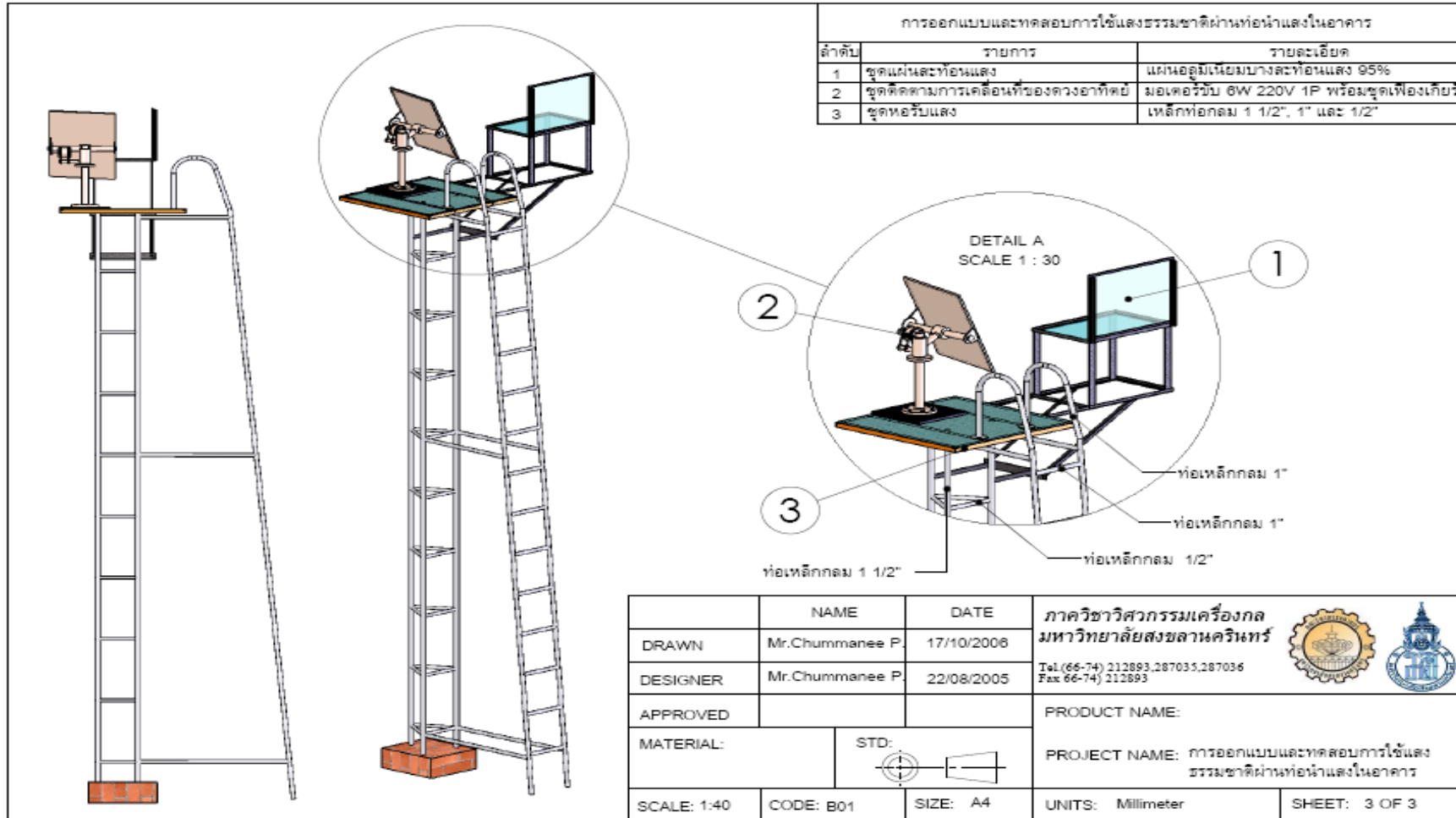
รูปแบบระบบท่อนำแสงและระบบติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 1 ตำแหน่งติดตั้งระบบท่อนำแสง



รูปที่ ก 2 ท่อนำแสงทรงกลมปลายด้านออกปาดเฉียง



รูปที่ ก 3 ระบบติดตามดวงอาทิตย์

**ภาคผนวก ข**

**การจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.1.2**

ตารางที่ ข 1 ข้อมูลการจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.1.2 ใช้วัสดุแบบอคูมิเนียมผิวขัดมัน (เมฆปานกลาง)

Light Pipe 0.4 m												
Clouds (Mediocre)												
Time(hr)	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Solar altitude	12.57	25.0	39.45	52.32	63.05	68.18	64.12	53.86	41.16	27.49	13.37	10.51
External Illuminance (Klux)	6.4	10.0	13.4	16.9	19.2	20.4	20.2	18.7	16.1	12.4	8.0	5.0
Luminance (lux)	5	33	90	151	207	247	250	217	162	98	38	11
Diffuse Visible Transmittance (%)	9	19.5	25.5	32.1	37.5	42.8	44.9	41.1	35.6	30.1	23.9	19.9

ตารางที่ ข 2 ข้อมูลการจำลองต้นแบบด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.1.2 ใช้วัสดุแบบอะคริลิก (เมฆปานกลาง)

Light Pipe 0.4 m												
Clouds (Mediocre)												
Time(hr)	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Solar altitude	12.57	25.0	39.45	52.32	63.05	68.18	64.12	53.86	41.16	27.49	13.37	10.51
External Illuminance (Klux)	6.4	10.0	13.4	16.9	19.2	20.4	20.2	18.7	16.1	12.4	8.0	5.0
Luminance (lux)	5	29	80	134	183	219	222	194	144	87	33	10
Diffuse Visible Transmittance (%)	10.5	22.2	29.1	36.7	42.8	48.8	51.2	46.8	40.5	34.2	27.2	22.2

**ภาคผนวก ค**  
**การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านกลางของท่อนำแสง**



**ตัวอย่าง** การคำนวณหาค่าความส่องสว่างและการกระจายแสงของการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อ นำแสงจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.3 เมตร เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะภูมิอากาศเขตจังหวัดสงขลา โดยมีค่าความส่องสว่างอยู่ที่ 300 ถึง 500 ลักซ์ ตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้และมีพื้นที่เท่ากับ 4 เมตร × 4 เมตร ซึ่งจะใช้ข้อมูลในวันที่ 30 เดือน มิถุนายน 2549 เวลา 11:00 น และมี  $L_{gl} = 100.43^\circ$  และ  $L_{gs} = 105^\circ$

#### การคำนวณ

- หาค่า  $j_d$  จากสมการ

$$j_d = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 = 181$$

- หาค่า  $B$  จากสมการ

$$\begin{aligned} B &= 360^\circ (j_d - 81) / 364, 1 \leq j_d \leq 365 \\ &= 360 (181 - 81) / 364 \\ &= 98.63 \end{aligned}$$

- หาค่า  $E_{qt}$  จากสมการ

$$\begin{aligned} E_{qt} &= 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \\ &= 9.87 \sin (2 \cdot 98.63) - 7.53 \cos (98.63) - 1.5 \sin (98.63) \\ &= -3.28 \text{ minutes} \end{aligned}$$

- หาค่า Solar Time จากสมการ

$$\begin{aligned} t_s &= t_l - 4(L_{gs} - L_{gl}) + E_{qt} \\ &= 11:00 - 4 \cdot (105 - 100.43) \text{ minutes} + (-3.28) \text{ minutes} \\ &= 10.64 \text{ hr} = 10:38:24 \end{aligned}$$

- หาค่า  $\omega$  จากสมการ

$$\begin{aligned} \omega &= \pi (t_s - 12) / 12 \\ &= \pi (10.64 - 12) / 12 \\ &= -0.356 \text{ (เรเดียน)} \end{aligned}$$

- หาค่า  $\delta$  จากสมการ

$$\begin{aligned} \delta &= 23.45 \sin [360(284 + j_d) / 365] \\ &= 23.45 \sin [360(284 + 181) / 365] \\ &= 23.49^\circ \end{aligned}$$

- หาค่า  $\alpha_s$  จากสมการ

$$\begin{aligned}\sin \alpha_s &= \sin L_t \cdot \sin \delta + \cos L_t \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \\ \alpha_s &= \sin^{-1}(\sin 6.92 \cdot \sin 23.49 + \cos 6.92 \cdot \cos 23.49 \cdot \cos -0.356) \\ &= 64.74^\circ\end{aligned}$$

- หาค่า  $E_H$  จากสมการ

$$\begin{aligned}E_H &= 570 \alpha_s \\ &= (570) (64.56) \\ &= 36,804 \text{ Lux}\end{aligned}$$

- หาค่า  $\Phi$  ของท่อนำแสงจากสมการ

$$\begin{aligned}\Phi &= \tau E_H \pi r^2 \\ &= (0.84) \cdot (36804.25) \cdot (\pi) \cdot (0.15^2) \\ &= 2,184 \text{ Lumen}\end{aligned}$$

- หาค่า  $\Phi$  ของระบบติดตามดวงอาทิตย์จากสมการ

$$\begin{aligned}\Phi &= \tau E_H \pi r^2 \\ &= (0.84) \cdot (3496) \cdot (\pi) \cdot (0.15^2) \\ &= 2,075 \text{ Lumen}\end{aligned}$$

ดังนั้นรวมเท่ากับ 4,259 Lumen = 3,148 Lux

- หาค่า  $n$  จากสมการ

$$\begin{aligned}n &= \text{int} \left[ \frac{L \tan \theta}{s} \right] \\ &= \text{int} \frac{3 \tan 64.56}{0.3} \\ &= 20 \text{ ครั้ง}\end{aligned}$$

- หาค่า  $T$  ของท่อนำแสงจากสมการ

$$\begin{aligned}T_{2D} &= R^{\text{int}[L \tan \theta / s]} (1 - (1 - R)(L \tan \theta / s - \text{int}[L \tan \theta / s])) \\ &= (0.95^{20}) (1 - (1 - 0.95)(3 \tan 20) - \text{int}(3 \tan 20)) \\ &= 0.279 \%\end{aligned}$$

ดังนั้นค่า  $I$  ของท่อนำแสงเท่ากับ  $(0.279 \cdot 2,075) = 1,191 \text{ Lumen}$

- หาค่า  $T$  ของระบบติดตามดวงอาทิตย์จากสมการ

$$\begin{aligned} T &= R^{\text{int}[L \tan \theta / s]} \\ &= 0.95^{\text{int}[20]} \\ &= 0.87 \% \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า  $I$  ของท่อนำแสงเท่ากับ  $(0.87 * 2,184) = 1,808$  Lumen

เพราะฉะนั้น  $I$  รวมเท่ากับ  $1,999$  Lumen =  $2,200$  Lux

- หาค่า  $E$  จากสมการ

$$\begin{aligned} E &= (I / d^2) \\ &= 2217 / 2.5^2 \\ &= 355 \text{ Lux} \end{aligned}$$

ตารางที่ ค 1 ข้อมูลการคำนวณความส่องสว่างของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เมตร

Light Pipe 0.3 m																		
Clouds (Average)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.30	
Solar altitude	39.40	46.11	52.66	58.94	64.74	69.64	72.84	73.32	70.89	66.42	60.84	54.67	48.19	41.53	34.75	27.92	21.05	
External Illuminance (Klux)	22.2	26.1	29.8	33.4	36.8	39.6	41.5	41.9	40.6	38.1	34.9	31.4	27.7	23.9	20.0	16.1	12.2	
Luminous flux (Klux)	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.3	3.5	3.5	3.4	3.2	2.9	2.6	2.3	2.0	1.7	1.3	1.0	
Number of reflection	8	10	12	16	20	26	32	33	29	23	18	14	11	8	7	5	3	
Transmission (Klux)	2.0	2.2	2.1	2.3	2.2	2.1	2.1	2.0	2.1	2.2	2.3	2.3	2.2	1.9	1.5	1.1	1.1	
Internal Illuminance(Lux)	1	167	180	177	192	181	177	173	167	177	187	195	192	184	158	156	128	95
	2	227	245	242	262	246	241	235	227	241	255	265	261	250	214	213	174	129
	3	327	353	348	377	355	348	338	326	347	367	382	376	360	309	306	250	185
	4	227	245	242	262	246	241	235	227	241	255	265	261	250	214	213	174	129
	5	167	180	177	192	181	177	173	167	177	187	195	192	184	158	156	128	95

ตารางที่ ค 2 ข้อมูลการคำนวณความส่องสว่างของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เมตร

Light Pipe 0.4 m																		
Clouds (Average)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.30	
Solar altitude	39.40	46.11	52.66	58.94	64.74	69.64	72.84	73.32	70.89	66.42	60.84	54.67	48.19	41.53	34.75	27.92	21.05	
External Illuminance (Klux)	22.2	26.1	29.8	33.4	36.8	39.6	41.5	41.9	40.6	38.1	34.9	31.4	27.7	23.9	20.0	16.1	12.2	
Luminous flux (Klux)	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.4	5.7	5.7	5.5	5.2	4.7	4.3	3.8	3.2	2.7	2.2	1.6	
Number of reflection	6	8	10	13	16	21	25	26	22	18	14	11	8	6	5	4	3	
Transmission (Klux)	2.4	2.8	3.0	3.1	3.3	3.4	3.3	3.3	3.4	3.3	3.3	3.2	2.7	2.6	2.2	1.9	1.4	
Internal Illuminance(Lux)	1	201	232	252	255	272	280	272	269	278	275	270	258	227	218	182	155	122
	2	274	394	343	347	370	381	370	367	378	375	368	352	309	297	248	211	167
	3	316	456	494	500	533	549	532	528	544	540	529	506	445	427	357	304	240
	4	274	394	343	347	370	381	370	367	378	375	368	352	309	297	248	211	167
	5	201	232	252	255	272	280	272	269	278	275	270	258	227	218	182	155	122

ตารางที่ ค 3 ข้อมูลการคำนวณความส่องสว่างของท่อนำแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร

Light Pipe 0.5 m																		
Clouds (Average)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.30	
Solar altitude	39.40	46.11	52.66	58.94	64.74	69.64	72.84	73.32	70.89	66.42	60.84	54.67	48.19	41.53	34.75	27.92	21.05	
External Illuminance (Klux)	22.2	26.1	29.8	33.4	36.8	39.6	41.5	41.9	40.6	38.1	34.9	31.4	27.7	23.9	20.0	16.1	12.2	
Luminous flux (Klux)	7.1	2.4	9.6	10.7	11.8	12.7	13.3	13.5	13.0	12.3	11.2	10.1	8.9	7.7	6.4	5.1	3.9	
Number of reflection	4	6	7	9	12	16	19	20	17	14	10	8	6	5	4	3	2	
Transmission (Klux)	5.9	7.2	7.3	7.6	8.0	8.3	7.7	7.7	7.7	8.4	7.6	7.6	6.9	6.7	5.8	4.8	3.7	
Internal Illuminance(Lux)	1	478	586	595	623	655	677	630	632	631	689	624	624	566	536	476	395	304
	2	651	798	810	848	892	921	858	860	859	937	850	849	770	730	647	538	414
	3	938	1149	1167	1222	1284	1326	1235	1238	1237	1350	1224	1222	1109	1051	932	775	596
	4	651	798	810	848	892	921	858	860	859	937	850	849	770	730	647	538	414
	5	478	586	595	623	655	677	630	632	631	689	624	624	566	536	476	395	304

### ภาคผนวก ง

การเก็บข้อมูลจากห้องวิจัยในสภาวะภูมิอากาศของจังหวัดสงขลา

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัยวันที่ 26 เดือน มิถุนายน 2006 (ท่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																		
26/06/06 (Overcast)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)	2.56	2.63	2.77	2.75	2.66	2.57	2.73	2.45	2.59	2.35	2.08	1.83	1.79	1.58	1.14	1.13	0.72	
Internal Illuminance(Lux)	1	130	120	140	160	120	80	160	80	120	80	50	50	50	50	20	20	20
	2	214	198	220	240	200	144	240	180	200	182	116	102	112	106	66	66	44
	3	300	336	344	340	324	280	344	272	310	280	220	180	190	184	104	104	82
	4	214	198	220	240	200	144	240	180	200	182	116	102	112	106	66	66	44
	5	130	120	140	160	120	80	160	80	120	80	50	50	50	50	20	20	20
Temperature(°C)	1	28.2	29	29.3	30.3	31	31.5	32.2	32.8	33.1	33.4	34.1	34.3	34	33.7	33.6	32.7	32.3
	2	29.1	29.3	29.3	29.6	29.7	30	30.3	30.6	30.7	30.8	31.1	31.3	31.3	31.3	31.4	31.4	31.2
	3	29.1	29.2	29.2	29.5	29.6	29.8	30.1	30.5	30.6	30.8	31.1	31.2	31.3	31.3	31.3	31.3	31.1
	4	28.9	29	29	29.2	29.3	29.6	29.8	30.2	30.3	30.5	30.8	30.9	31	30.9	31	31	30.8
	5	29.1	29	29	29.3	29.4	29.6	29.9	30.2	30.3	30.5	30.8	30.9	30.9	30.9	31	31	30.8



ตารางที่ ๒ ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 27 เดือน มิถุนายน 2006 (ห้องที่บแสงไม่มีการเปิดท่อนำแสง)

Light Pipe 0.4 m																		
27/06/06																		
Time(hr)		9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00
Transmission (Klux)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Internal Illuminance(Lux)	1	40	40	20	30	30	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	40	40
	2	40	40	20	30	30	20	20	20	30	40	30	40	40	40	40	40	40
	3	30	30	50	40	30	30	30	30	30	50	30	40	40	40	40	40	40
	4	40	40	20	30	30	20	20	20	30	40	30	40	40	40	40	40	40
	5	40	40	20	30	30	20	20	20	30	30	30	30	30	30	30	30	40
Temperature(°C)	1	28.2	29	29.3	30.3	31	31.5	32.2	32.8	33.1	33.4	34.1	34.3	34	33.7	33.6	32.7	32.3
	2	29.1	29.3	29.3	29.6	29.7	30	30.3	30.6	30.7	30.8	31.1	31.3	31.3	31.3	31.4	31.4	31.2
	3	29.1	29.2	29.2	29.5	29.6	29.8	30.1	30.5	30.6	30.8	31.1	31.2	31.3	31.3	31.3	31.3	31.1
	4	28.9	29	29	29.2	29.3	29.6	29.8	30.2	30.3	30.5	30.8	30.9	31	30.9	31	31	31
	5	29.1	29	29	29.3	29.4	29.6	29.9	30.2	30.3	30.5	30.8	30.9	30.9	30.9	31	31	31

ตารางที่ 3 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 28 เดือน มิถุนายน 2006 (ท่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																		
28/06/06 (Overcast)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)	1.23	1.70	2.70	2.75	2.73	1.86	0.3	0.90	0.90	0.90	0.90	0.6	0.4	0.4	0.2	0.2	0.1	
Internal Illuminance(Lux)	1	80	100	150	158	180	152	40	60	60	60	60	40	40	20	40	20	20
	2	160	180	250	260	264	180	46	80	80	80	80	72	62	54	46	44	36
	3	180	200	320	320	330	240	70	120	120	120	120	100	72	64	48	44	36
	4	160	180	250	260	264	180	46	80	80	80	80	72	62	54	46	44	36
	5	80	100	150	158	180	152	40	60	60	60	60	40	40	20	40	20	20
Temperature(°C)	1	27.8	28.1	28.5	28.6	29	29.3	29.6	29.8	29.8	30	30.1	30.2	30.2	30.3	30.4	30.5	30.6
	2	28.3	28.6	29	29	29.3	29.5	29.7	29.8	29.8	29.8	29.7	29.8	29.7	29.7	29.8	29.8	29.8
	3	28.3	28.6	29	29	29.3	29.4	29.6	29.8	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.7	29.7	29.7
	4	28.3	28.6	28.9	28.9	29.2	29.3	29.5	29.6	29.6	29.5	29.5	29.5	29.5	29.4	29.5	29.5	29.5
	5	28.3	28.6	29	28.9	29.2	29.3	29.6	29.6	29.6	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.6	29.6	29.7

ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 29 เดือน มิถุนายน 2006 (ท่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																		
29/06/06 (Mediocre)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)	1.10	1.23	1.74	2.54	2.97	3.02	3.56	4.85	5.85	6.05	5.41	5.00	4.10	4.03	3.96	1.84	1.45	
Internal Illuminance(Lux)	1	80	80	100	120	160	200	260	360	360	380	360	360	240	240	220	80	60
	2	120	140	160	220	280	280	320	520	560	560	560	560	400	400	380	140	120
	3	140	140	200	280	360	360	380	540	600	620	580	580	440	440	400	160	120
	4	120	140	160	220	280	280	320	520	560	560	560	560	400	400	380	140	120
	5	80	80	100	120	160	200	260	360	360	380	360	360	240	240	220	80	60
Temperature(°C)	1	28.2	29	29.3	30.3	31	31.5	32.2	32.8	33.1	33.4	34.1	34	34	33.7	33.6	32.7	32.7
	2	29.1	29.3	29.3	29.6	29.7	30	30.3	30.6	30.7	30.8	31.1	31.3	31.3	31.3	31.4	31.4	31.2
	3	29.1	29.2	29.2	29.5	29.6	29.8	30.1	30.5	30.6	30.8	31.1	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.1
	4	28.9	29	29.2	29	29.3	29.6	29.8	30.2	30.3	30.5	30.8	31	31	30.9	31	31	30.8
	5	29.1	29	29	29.3	29.4	29.6	29.9	30.2	30.3	30.5	30.8	30.9	30.9	30.9	31	31	30.8

ตารางที่ 5 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 1 เดือน กรกฎาคม 2006 (หลอดไฟฟ้า)

Light Pipe 0.4 m																			
1/07/06																			
Time(hr)		9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Internal Illuminance(Lux)	1	210	210	200	200	200	200	190	190	190	190	190	200	200	200	190	190	190	
	2	210	210	200	200	200	200	190	190	190	190	190	200	200	200	190	190	190	
	3	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	4	210	210	200	200	200	200	190	190	190	190	190	200	200	200	190	190	190	
	5	210	210	220	220	230	220	220	220	220	210	210	210	220	220	220	210	210	210
Temperature (°C)	1	44.6	45.7	47.1	47.2	47.8	47.3	47.7	47.7	47.4	46	46.2	46	44.6	44.6	44.4	44	44	
	2	30.8	31	31.1	31.2	31.3	31.1	31.1	31.2	31.3	31.3	31.4	31.6	31.6	31.6	31.4	31.4	31.3	
	3	30.6	30.9	31	31	31.1	31	31	31	31.2	31.2	31.3	31.4	31.4	31.4	31.3	31.3	31.2	
	4	30.4	30.6	30.8	30.8	30.8	30.6	30.7	30.8	30.9	30.9	31	31.1	31.1	31.1	31	31	31	30.9
	5	30.4	30.6	30.7	30.8	30.8	30.7	30.7	30.8	30.9	30.9	31	31.1	31.1	31.1	31.1	31	31	30.9

ตารางที่ ง 6 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 3 เดือน กรกฎาคม 2006 (ท่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																		
3/07/06 (Mediocre)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)	3.06	2.94	2.70	2.43	2.28	2.04	2.01	1.77	1.44	1.35	1.44	1.56	1.47	1.53	1.26	1.23	1.38	
Internal Illuminance(Lux)	1	250	240	240	210	190	190	190	170	110	90	120	110	100	90	70	40	40
	2	340	320	270	240	230	200	230	200	140	120	180	190	190	190	110	80	100
	3	480	435	385	330	275	240	265	240	195	185	210	220	220	225	140	100	110
	4	340	320	270	240	230	200	230	200	140	120	180	190	190	190	110	80	100
	5	250	240	240	210	190	190	190	170	110	90	120	110	100	90	70	40	40
Temperature (°C)	1	30.5	31.7	32.6	32.8	33.1	33.3	33.6	33.6	33.6	33.4	33.2	33.2	33.1	32.9	32.6	32.6	32.6
	2	28.9	30	30.6	30.9	31	31.2	31.5	31.7	31.8	31.7	31.6	31.6	31.6	31.6	31.3	31.3	31.3
	3	28.9	29.9	30.5	30.7	30.8	31	31.4	31.5	31.6	31.4	31.5	31.4	31.4	31.3	31.1	31.1	31.1
	4	28.8	29.9	30.4	30.5	30.6	30.9	31.1	31.3	31.3	31.2	31.2	31.1	31.1	31.1	30.8	30.8	30.8
	5	28.8	29.8	30.4	30.5	30.6	30.8	31.1	31.2	31.2	31.1	31.1	31.1	31.1	31	30.8	30.8	30.8

ตารางที่ 7 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 5 เดือน กรกฎาคม 2006 (เพื่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																	
5/07/06 (Overcast)																	
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00
Transmission (Klux)	1.77	1.72	1.64	1.54	1.43	1.27	1.12	0.96	1.09	1.17	1.15	1.10	1.05	1.05	1.04	1.05	0.79
Internal Illuminance(Lux)	1	64	63	60	59	58	57	56	53	55	56	56	56	55	53	53	53
	2	120	120	110	110	100	90	90	80	90	90	90	90	91	91	89	95
	3	195	189	176	160	144	129	111	94	104	110	110	111	110	110	110	110
	4	120	120	110	110	100	90	90	80	90	90	90	90	91	91	89	95
	5	64	63	60	59	58	57	56	53	55	56	56	56	55	53	53	53
Temperature(°C)	1	31.8	32.1	32.4	32.6	32.8	33	33.1	33.2	33.6	33.8	34	34.1	34.2	34.4	34.5	34.5
	2	29.4	29.6	29.8	30	30.2	30.3	30.4	30.5	30.7	30.8	30.9	31	31	31.1	31.1	31.2
	3	29.3	29.5	29.6	29.8	29.9	30	30.1	30.2	30.4	30.5	30.6	30.6	30.6	30.7	30.7	30.8
	4	29	29.3	29.4	29.6	29.7	29.8	29.8	30	30.1	30.3	30.3	30.3	30.3	30.4	30.5	30.5
	5	29.2	29.4	29.5	29.6	29.8	29.9	29.9	30	30.1	30.3	30.3	30.3	30.3	30.4	30.5	30.5

ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 13 เดือน กรกฎาคม 2006 (ท่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																		
13/07/06 (Mediocre)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)	3.90	3.70	3.60	3.90	4.20	4.30	4.70	5.50	6.30	6.40	6.10	5.80	5.60	5.20	4.70	3.70	3.10	
Internal Illuminance(Lux)	1	200	200	180	220	270	280	300	380	500	520	460	450	400	380	310	190	160
	2	210	220	210	250	300	310	330	420	540	560	500	490	450	400	350	220	200
	3	245	264	284	341	376	407	429	532	541	536	543	496	477	427	358	307	243
	4	210	220	210	250	300	310	330	420	540	560	500	490	450	400	350	220	200
	5	200	200	180	220	270	280	300	380	500	520	460	450	400	380	310	190	160
Temperature(°C)	1	29.8	30	30.1	30.3	30.4	30.5	30.6	30.8	30.9	30.9	31	31	31.2	31.3	31.5	31.7	31.9
	2	29.7	29.9	30	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30	30.1	30	30.1	30.1	30.3	30.4	30.5
	3	29.8	29.9	30	30.1	30.1	30	30	30.1	30	30	30	29.9	30	30.1	30.2	30.3	30.4
	4	29.6	29.8	29.9	30	30	29.8	29.9	29.8	29.8	29.8	29.8	29.7	29.8	29.8	30	30	30.1
	5	29.9	29.9	30	30.1	30	30	30	30	30	30	30	29.8	30	30	30.1	30.1	30.2

ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 16 เดือน กรกฎาคม 2006 (ท่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																		
16/07/06 (Overcast)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)	2.80	2.00	2.00	1.90	1.80	1.60	1.60	1.60	1.40	1.40	1.40	1.30	1.30	1.30	1.10	1.10	1.10	
Internal Illuminance(Lux)	1	340	300	260	240	220	200	180	180	160	140	140	140	140	140	140	140	120
	2	220	200	180	140	140	120	120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3	300	280	240	200	160	140	120	120	120	140	140	120	120	120	100	100	80
	4	220	200	180	140	140	120	120	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	5	340	300	260	240	220	200	180	180	160	140	140	140	140	140	140	140	140
Temperature(°C)	1	27.2	27.4	27.9	28.1	28.3	28.5	28.7	28.8	29.1	29.2	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.6	29.7
	2	27.2	27.4	27.9	28.1	28.3	28.5	28.7	28.8	29.1	29.1	29.2	29.3	29.3	29.4	29.4	29.5	29.5
	3	27.2	27.4	27.9	28.1	28.3	28.5	28.7	28.8	29.1	29.2	29.2	29.3	29.4	29.5	29.6	29.6	29.7
	4	27.2	27.4	27.9	28.1	28.3	28.5	28.7	28.8	29.1	29.1	29.2	29.3	29.3	29.4	29.4	29.5	29.5
	5	27.2	27.5	27.9	28.0	28.2	28.5	28.6	28.7	28.9	28.9	29	29	29.1	29.2	29.2	29.3	29.3



ตารางที่ 10 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 18 เดือน กรกฎาคม 2006 (เพื่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																		
18/07/06 (Mediocre)																		
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00	
Transmission (Klux)	1.80	1.90	1.90	2.00	2.20	2.30	2.30	2.58	2.60	2.60	2.70	2.75	2.80	2.70	2.70	2.70	2.60	
Internal Illuminance(Lux)	1	240	250	260	260	280	290	310	320	320	330	330	330	330	320	320	310	310
	2	220	220	220	230	250	260	260	280	280	280	280	280	290	280	280	280	280
	3	200	210	210	230	240	250	250	260	260	270	270	280	280	270	270	260	260
	4	220	220	220	230	250	260	260	280	280	280	280	280	290	280	280	280	280
	5	240	250	260	260	280	290	310	320	320	330	330	330	330	320	320	310	310
Temperature(°C)	1	28.3	28.8	29	29.3	29.5	29.5	29.7	29.6	29.6	29.5	29.6	29.6	29.6	29.6	29.5	29.5	29.5
	2	28.4	28.8	29.1	29.3	29.5	29.5	29.6	29.6	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.4	29.4	29.4
	3	28.5	28.8	29.1	29.3	29.4	29.5	29.5	29.5	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.2	29.2	29.2
	4	28.3	28.7	29	29.2	29.3	29.5	29.5	29.5	29.4	29.4	29.4	29.5	29.5	29.5	29.5	29.4	29.5
	5	28.3	28.8	29	29.3	29.5	29.5	29.7	29.6	29.6	29.5	29.6	29.6	29.6	29.6	29.5	29.5	29.5

ตารางที่ 11 ข้อมูลค่าความส่องสว่างและอุณหภูมิของห้องวิจัย วันที่ 18 เดือน กรกฎาคม 2006 (เพื่อนำแสงร่วมกับระบบติดตามดวงอาทิตย์)

Light Pipe 0.4 m																			
19/07/06 (Mediocre)																			
Time(hr)	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00	16.30	17.00		
Transmission (Klux)	3.90	3.70	3.60	3.90	4.20	4.30	4.70	5.50	6.30	6.40	6.10	5.80	5.60	5.20	4.70	3.70	3.10		
Internal Illuminance(Lux)	220	200	180	220	270	280	300	380	500	520	460	450	400	380	310	190	160	40	
	250	220	210	250	300	310	330	420	540	560	500	490	450	400	350	220	200	40	
	340	310	300	340	400	410	450	510	630	640	610	570	530	490	450	310	290	40	
	250	220	210	250	300	310	330	420	540	560	500	490	450	400	350	220	200	40	
	220	200	180	220	270	280	300	380	500	520	460	450	400	380	310	190	160	40	
Temperature(°C)	29.8	30	30.1	30.3	30.4	30.5	30.6	30.8	30.9	30.9	31	31	31.2	31.3	31.5	31.7	31.9	29.7	
	29.7	29.9	30	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30	30.1	30	30.1	30.1	30.3	30.4	30.5	29.5	
	29.8	29.9	30	30.1	30.1	30	30	30.1	30	30	30	29.9	30	30.1	30.2	30.3	30.4	29.7	
	29.6	29.8	29.9	30	30	29.8	29.9	29.8	29.8	29.8	29.8	29.8	29.7	29.8	29.8	30	30	30.1	29.5
	29.9	29.9	30	30.1	30	30	30	30	30	30	30	29.8	30	30	30.1	30.1	30.2	29.3	

**ภาคผนวก จ****การคำนวณหาผลประหยัดพลังงานจากการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสง**

การติดตั้งระบบการใช้แสงธรรมชาติผ่านท่อนำแสงเข้ามาภายในอาคาร จะช่วยประหยัดพลังงานในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างภายในอาคารได้ สามารถคำนวณผลประหยัดพลังงานได้ดังนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = (พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบท่อนำแสง - พลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบท่อนำแสง)

#### ก่อนติดตั้งระบบท่อนำแสง

เปิดหลอดไฟฟ้ารวมบัลลาสต์มีขนาดเท่ากับ 16 วัตต์ / หลอด	= 4	ชุด
กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากหลอดไฟฟ้ารวมบัลลาสต์วัตต์ได้	= 0.064	กิโลวัตต์
ชั่วโมงการทำงานในช่วงกลางวัน (9:00-17:00 น)	= 8	ชั่วโมง / วัน
	= 365 × 8	ชั่วโมง / ปี
	= 2,920	ชั่วโมง / ปี

พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบท่อนำแสง = (กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม x ชั่วโมงทำงาน)  
= (0.064 x 2,920) กิโลวัตต์-ชั่วโมง / ปี

= 186.9 กิโลวัตต์-ชั่วโมง / ปี

ราคาค่าไฟฟ้า = 3.8 บาทต่อหน่วย

คิดเป็นค่าใช้จ่ายจากหลอดไฟฟ้า = (พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบท่อนำแสง x ราคาค่าไฟฟ้า)  
= (186.9 x 3.8) บาท / ปี  
= 710 บาท / ปี

#### ก่อนติดตั้งระบบท่อนำแสง

มอเตอร์หมุนระบบติดตามดวงอาทิตย์ขนาดเท่ากับ 6 วัตต์	= 1	ชุด
กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากมอเตอร์หมุนระบบติดตามดวงอาทิตย์	= 30	วัตต์ (ช่วง Start)
	= 0.03	กิโลวัตต์
เวลาการทำงาน	= 30	วินาที / ครั้ง
จำนวนครั้งของการทำงาน	= 16	ครั้ง / วัน

$$\begin{aligned}
 \text{ชั่วโมงการทำงานในช่วงกลางวัน} &= (\text{เวลาการทำงาน} \times \text{จำนวนครั้งของการทำงาน}) \\
 &= (30 \times 16) / (3600) \text{ ชั่วโมง / วัน} \\
 &= 0.13 \text{ ชั่วโมง / วัน} \\
 &= 48.67 \text{ ชั่วโมง / ปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบท่อนำแสง} &= (\text{กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมจากการวัด} \times \text{ชั่วโมงทำงาน}) \\
 &= [0.03 \times 48.67] \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง / ปี} \\
 &= 1.46 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง / ปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายจากหลอดไฟฟ้า} &= (\text{พลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบท่อนำแสง} \times \text{ราคาค่าไฟฟ้า}) \\
 &= (1.46 \times 3.8) \text{ บาท / ปี} \\
 &= 5.54 \text{ บาท / ปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้} &= (186.9 - 1.46) \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง / ปี} \\
 &= 185.4 \text{ กิโลวัตต์-ชั่วโมง / ปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} &= (710 - 5.54) \text{ บาท / ปี} \\
 &= 704.6 \text{ บาท / ปี}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดพลังงาน} &= \frac{(\text{พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้})}{(\text{พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบท่อนำแสง})} \\
 &= [185.4 / 186.9] \times 100 = 98.9 \text{ เปอร์เซ็นต์}
 \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการลงทุน

- ค่าแผ่นอลูมิเนียมผิวขัดมันขนาด 8 ตารางเมตร	= 5,000	บาท
- ค่ามอเตอร์ระบบติดตามดวงอาทิตย์	= 2,500	บาท
- ค่าโครงสร้างท่อนำแสงและระบบติดตามดวงอาทิตย์	= 3,000	บาท
- ค่าประกอบและติดตั้งท่อนำแสง	= 5,000	บาท
- ค่าประกอบและติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์	= 5,000	บาท
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 4 ชุด	= 1,000	บาท

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= (\text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้}) / (\text{ค่าดำเนินการลงทุน} - \text{ค่าระบบไฟฟ้าแสงสว่าง 4 ชุด}) \\
 &= 27.7 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$