

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการตรวจการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องจักร

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนกระตักน้ำร้อน

เครื่อง	ขนาด (ตัน)	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)
			Active Power (kVA)	Reactive Power (VAR)	Power (kW)	Active Energy (kVAh)	Reactive Energy (VARh)	Watt hour (kWh)	
A1	160	50	5.3717	166.41	3.1334	8.475	60.001	0.721	10
A2	160	50	5.041	239.52	4.2036	8.902	39.920	0.701	10
A3	160	50	6.7749	179.37	5.7851	1.129	29.900	0.964	10
B1	170	50	1.0212	840.96	9.2195	1.653	136.19	1.493	10
B2	170	50	9.9010	904.00	8.9012	1.650	150.67	1.483	10

หมายเหตุ      ตรวจสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนเครื่องปั้นผลไม้

เครื่อง	ขนาด (ตัน)	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)
			Active Power (kVA)	Reactive Power (VAR)	Power (kW)	Active Energy (kVAh)	Reactive Energy (VARh)	Watt hour (kWh)	
C1	55	50	7.612	489.63	5.532	1.268	8166.00	0.922	10
D1	190	50	5.3660	633.58	4.429	0.894	105.60	0.738	10
E1	350	50	5.3647	160.4	3.243	0.854	810.48	0.900	10
F1	420	50	8.8498	633.83	7.557	1.456	103.88	1.239	10

หมายเหตุ      ตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนกระตักน้ำร้อน

เครื่อง	ขนาด (ตัน)	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)
			Active Power (kVA)	Reactive Power (VAR)	Power (kW)	Active Energy (kVAh)	Reactive Energy (VARh)	Watt hour (kWh)	
A2	160	50	1.4608	225.15	4.2572	845.96	37.5204	0.710	10
A3	160	50	7.0386	272.43	6.0702	1.1831	45.50	1.011	10
B1	170	50	10.212	610.98	9.334	1.6538	135.19	1.5532	10
B2	170	50	8.0924	912.04	9.081	1.8542	154.89	1.535	10

หมายเหตุ      ตรวจสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องฉีดพลาสติกของผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนเครื่องปั้นผลไม้

เครื่อง	ขนาด (ตัน)	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)
			Active Power (kVA)	Reactive Power (VAR)	Power (kW)	Active Energy (kVAh)	Reactive Energy (VARh)	Watt hour (kWh)	
C1	55	50	7.3134	426.60	5.3497	1.2189	771.09	0.892	10
D1	190	50	5.6331	635.84	4.524	786.43	160.75	0.823	10
E1	350	50	5.3717	166.41	3.1387	834.53	60.00	0.941	10
F1	420	50	9.0979	802.24	7.8234	1.5163	133.71	1.304	10

หมายเหตุ      ตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหล่อเย็น

เครื่อง	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)
		Active Power (kVA)	Reactive Power (VAR)	Power (kW)	Active Energy (kVAh)	Reactive Energy (kVARh)	Watt hour (kWh.)	
Cooling Tower	50	9.134	3.2974	4.4389	4.592	5.689	0.1837	30
ปั๊มน้ำ	50	10.147	833.26	7.2859	5.031	1.286	3.6126	30

หมายเหตุ ตรวจสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าครั้งที่ 1

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบหล่อเย็น

เครื่อง	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)
		Active Power (kVA)	Reactive Power (VAR)	Power (kW)	Active Energy (kVAh)	Reactive Energy (VARh)	Watt hour (kWh.)	
Cooling Tower	50	9.1396	2,394	4.5548	4.4962	579.53	2.1387	30
ปั๊มน้ำ	50	12.542	864.98	7.4049	5.035	1,924	3.2342	30

หมายเหตุ ตรวจสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าครั้งที่ 2

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องบดพลาสติก

ครั้งที่	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)
		Active Power (kVA)	Reactive Power (kVAR)	Power (kW)	Active Energy (VAh)	Reactive Energy (VARh)	Watt hour (kWh.)	
1	50	2.0331	1.5659	1.0563	271.08	208.79	0.14084	8
2	50	6.1456	4.7392	3.5945	139.98	107.95	0.08100	1.5
3	50	3.8969	3.4426	1.5415	250.05	220.90	0.09880	4
4	50	3.5167	3.001	1.7752	293.06	250.08	0.14793	5
5	50	2.5602	1.9994	1.4832	213.35	166.61	0.12360	5
6	50	7.0954	6.5338	2.6476	212.86	196.02	0.07943	2

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผสมสี

ครั้งที่	Hz	Power			Energy			เวลา (นาที)	นน.ที่ ผสม (kg)
		Active Power (kVA)	Reactive Power (kVAR)	Power (W)	Active Energy (VAh)	Reactive Energy (VARh)	Watt hour (kWh.)		
1	50	1.2550	1.0397	612.78	104.58	86.640	0.05070	5	20 + 0
2	50	1.3536	1.1264	665.87	103.4	86.05	0.05086	5	20 + 3
3	50	1.3431	1.6692	726.51	111.93	89.100	0.06054	5	20 + 20

## ภาคผนวก ข

ค่าสมบัติของอากาศ ณ ความดันบรรยากาศ

ตารางที่ ข.1 สมบัติของอากาศ ณ ความดันบรรยากาศ [10]

T (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_v$ (kJ/kg.°C)	$\mu \times 10^{-5}$ (kg/m.s)	$\nu \times 10^{-6}$ (m <sup>2</sup> /s)	K (W/m.°C)	$\alpha \times 10^{-4}$ (m <sup>2</sup> /s)	Pr
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.2216	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.52300	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.1000	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702

ภาคผนวก ค

ค่า emissivity ของวัสดุ

ตารางที่ ค.1 ค่า emissivity ของวัสดุชนิดต่างๆ

วัสดุ	emissivity
โลหะ	
อะลูมิเนียมแผ่นบาง (Foil), แบบไรท์	0.05
อะลูมิเนียมแผ่น (Sheet)	0.12
ทองเหลือง, แผ่นม้วน	0.06
ทองเหลือง, ชัดมัน	0.1
ทองเหลือง, ออกไซด์	0.61
เหล็กเหนียว, ชัดมัน	0.28
เหล็กเหนียว, ออกไซด์	0.94
เหล็กเหนียว, ขึ้นสนิมโดยตลอด	0.67
เหล็กกล้า, แบบไรท์เคลือบสังกะสี	0.25
เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิด 301	0.14
เหล็กกล้า, แผ่นหยาบ	0.94
เคลือบสี	
อะลูมิเนียมเคลือบสี	0.5
แผ่นดำเคลือบแลคเกอร์	95
อะลูมิเนียมเคลือบสีส้มสากล	0.74
เคลือบสีขาว	0.9
วัสดุอาคาร	
แผ่นโนนิน	0.96
อิฐแดงหยาบ	0.93
กระจก	0.84 – 0.94
พลาสติก	0.91
วัสดุก่อสร้าง (ไม้, กระจก, อิฐ, หิน)	0.9
น้ำ, น้ำแข็ง (0 °C)	0.96

ภาคผนวก ง

ค่าการนำความร้อนของฉนวนใยแก้ว

ตารางที่ ง.1 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนใยแก้ว

อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	Thermal Conductivity (W/m•K)		
	24 kg/m <sup>3</sup>	32 kg/m <sup>3</sup>	40 kg/m <sup>3</sup>
24	0.035	0.033	0.031
50	0.039	0.037	0.036
100	0.049	0.046	0.043
150	0.067	0.059	0.054
200	0.088	0.074	0.063
250	0.110	0.098	0.085
300	0.152	0.129	0.104

**ภาคผนวก จ**

**การคำนวณ**

## จ1. การคำนวณค่าความร้อนสูญเสียเนื่องจากไม่หุ้มฉนวนกระบอกฉีด

### เครื่องฉีดพลาสติก

ในหัวข้อนี้จะแสดงรายละเอียดในการคำนวณหาค่าความร้อนกรณีที่ไม่หุ้มฉนวนกระบอกฉีดพลาสติกแต่ขนาด เนื่องจากอุณหภูมิผิวแวดล้อม ( $T_a$ ) มีค่าเท่ากับ  $36.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างผิว ( $T_s$ ) ของกระบอกฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 170 ตัน มีค่าเท่ากับ  $121.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  และเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 350 ตัน มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างผิว ( $T_s$ ) ของกระบอกฉีดเท่ากับ  $129.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  สามารถเปิดตารางสมบัติอากาศในภาคผนวก ค และมีข้อมูลประกอบการคำนวณดังนี้

#### จ1.1 เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 170 ตัน

ค่าอุณหภูมิผิวของกระบอกฉีดของเครื่องฉีดพลาสติก ( $T_s$ ) มีค่าเท่ากับ  $121.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  หรือ  $394.25\text{ K}$

ค่าอุณหภูมิแวดล้อม ( $T_a$ ) มีค่าเท่ากับ  $36.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  หรือ  $309.55\text{ K}$

อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างผิว ( $T_s$ ) และอุณหภูมิแวดล้อม ( $T_a$ ) มีค่าเท่ากับ  $78.75\text{ }^{\circ}\text{C}$  หรือ  $351.9\text{ K}$

$$T_a = 309.55\text{ K} \quad T_s = 394.25\text{ K} \quad T_f = 350\text{ K}$$

$$\beta = 0.00285\text{ K}^{-1} \quad \nu = 20.76 \times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s} \quad \alpha = 0.2983 \times 10^{-4}\text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 0.03003\text{ W/mK} \quad \epsilon = 0.96 \quad \sigma = 5.67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2/\text{K}^4 \quad g = 9.81\text{ m/s}^2$$

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกฉีด ( $D_0$ ) = 0.2 m. พื้นที่ผิวกระบอกฉีด ( $A$ ) = 0.66 m<sup>2</sup>

$$\text{หาค่า Rayleigh Number จากสมการ} \quad Ra_D = \frac{g\beta D\alpha^3(T_s - T_a)}{\nu\alpha} = 3.059 \times 10^7$$

$$\text{หาค่า Nusselt Number จากสมการ} \quad Nu_f = 0.53Ra_D^{1/4} = 91.173$$

$$\text{หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบอิสระ} \quad h_{Free} = \frac{Nu_f k}{D_0} = 13.689 \quad \text{W/m}^2\text{K}$$

$$\text{หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน} \quad h_r = \frac{\epsilon\sigma(T_s^4 - T_a^4)}{T_s - T_a} = 9.625 \quad \text{W/m}^2\text{K}$$

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$h_T = h_{Free} + h_r$	= 23.315	W/m <sup>2</sup> K
หาค่าความร้อนที่สูญเสียที่ผิวกระบอกลัด	$q'_T = h_T (T_s - T_a)$	= 1,974.78	W/m <sup>2</sup>
	$Q = h_T A (T_s - T_a)$	= 1,303.35	W

## จ1.2 เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 350 ตัน

ค่าอุณหภูมิผิวของกระบอกลัดของเครื่องฉีดพลาสติก ( $T_s$ ) มีค่าเท่ากับ 129.1 °C หรือ 402.25 K

ค่าอุณหภูมิแวดล้อม ( $T_a$ ) มีค่าเท่ากับ 36.4 °C หรือ 309.55 K

อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างผิว ( $T_s$ ) และอุณหภูมิแวดล้อม ( $T_a$ ) มีค่าเท่ากับ 82.75 °C หรือ 355.9 K

$$T_a = 309.55 \text{ K}$$

$$T_s = 402.25 \text{ K}$$

$$T_r = 350 \text{ K}$$

$$\beta = 0.0025 \text{ K}^{-1}$$

$$\nu = 20.76 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha = 0.2983 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 0.03003 \text{ W/mK}$$

$$\epsilon = 0.96$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกลัด ( $D_0$ ) = 0.3 m.

พื้นที่ผิวกระบอกลัด ( $A$ ) = 1.27 m<sup>2</sup>

หาค่า Rayleigh Number จากสมการ	$Ra_D = \frac{g\beta D\alpha^3 (T_s - T_a)}{\nu\alpha}$	= 9.911 x 10 <sup>7</sup>
--------------------------------	---------------------------------------------------------	---------------------------

หาค่า Nusselt Number จากสมการ	$Nu_f = 0.53 Ra_D^{1/4}$	= 295.415
-------------------------------	--------------------------	-----------

หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบอิสระ	$h_{Free} = \frac{Nu_f k}{D_0}$	= 29.751	W/m <sup>2</sup> K
----------------------------------------	---------------------------------	----------	--------------------

หาค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อน	$h_r = \frac{\epsilon\sigma(T_s^4 - T_a^4)}{T_s - T_a}$	= 9.981	W/m <sup>2</sup> K
--------------------------------------	---------------------------------------------------------	---------	--------------------

หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$h_T = h_{Free} + h_r$	= 39.552	W/m <sup>2</sup> K
---------------------------------------	------------------------	----------	--------------------

หาค่าความร้อนที่สูญเสียที่ผิวกระบอกลัด	$q'_T = h_T (T_s - T_a)$	= 3,666.51	W/m <sup>2</sup>
----------------------------------------	--------------------------	------------	------------------

	$Q = h_T A (T_s - T_a)$	= 4,656.47	W
--	-------------------------	------------	---

## จ2. การคำนวณหาค่าอุณหภูมิผิวฉนวน และค่าความร้อนสูญเสียหลังหุ้มฉนวน

ในหัวข้อนี้จะแสดงการคำนวณหาค่าความร้อนสูญเสีย และอุณหภูมิผิวฉนวนหลังจากหุ้มฉนวนกระบอกนืดของเครื่องฉีดพลาสติก

### จ2.1 เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 170 ตัน

$$\text{อุณหภูมิผิวก่อนหุ้มฉนวน } (T_s) = 121.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{ค่าอุณหภูมิแวดล้อม } (T_a) = 36.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{รัศมีภายนอกของกระบอกนืด } (r_o) = 0.1 \text{ m}$$

$$\text{รัศมีภายนอกโดยรวมความหนาของฉนวน } (r_o) = 0.125 \text{ m}$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม } (h_G) = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{ความหนาฉนวนที่ใช้} = 25 \text{ mm.}$$

$$\text{พื้นที่ผิวกระบอกนืด โดยรวมความหนาของฉนวน} = 0.844 \text{ m}^2$$

จากข้อมูลหาค่าความร้อนสูญเสียหลังจากการทำการหุ้มฉนวนแล้ว ซึ่งจะสามารถทำนายได้โดยใช้

วิธี trial and error โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1. สมมติค่าอุณหภูมิผิวฉนวน ( $T_s$ ) โดยเริ่มสมมติที่  $60 \text{ } ^\circ\text{C}$  แล้วนำมาหาค่า  $k$  ของฉนวนที่อุณหภูมิ

$$\text{เฉลี่ยจาก } \frac{T_s + T_a}{2} = 90.55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. นำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้มาหาค่าการนำความร้อนของฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น  $40 \text{ kg/m}^3$  จะทำให้ได้ค่า  $k = 0.041 \text{ W/mK}$  นำค่า  $k$  ที่ได้มาหาค่าอัตราการสูญเสียความร้อนจาก

$$q' = \frac{T_s + T_a}{\left(\frac{r_o}{k}\right) \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{h_G}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

$$= 184.21 \quad \text{W/m}^2$$

3. จากนั้นนำค่า  $q'$  ที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิผิวฉนวน ( $T_s$ ) คู่อีกครั้งโดยแทนลงในสมการ

$$q' = h_G(T_i - T_a) \quad \text{W/m}^2$$

ได้  $T_i = 68.72 \quad ^\circ\text{C}$

4. ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าอุณหภูมิผิวฉนวน ( $T_i$ ) ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สมมติไว้ในตอนต้น

1. ทำการคำนวณซ้ำ  $\frac{T_s + T_i}{2} = 94.91 \quad ^\circ\text{C}$

เปิดตารางหาค่า  $k = 0.042 \text{ W/mK}$  นำค่า  $k$  ที่ได้มาหาค่าอัตราการสูญเสียความร้อนจาก

$$q' = \frac{T_s + T_a}{\left(\frac{r_o}{k}\right) \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{h_G}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

$$= 187.80 \quad \text{W/m}^2$$

จากนั้นนำค่า  $q'$  ที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิผิวฉนวน ( $T_i$ ) คู่อีกครั้งโดยแทนลงในสมการ

$$q' = h_G(T_i - T_a) \quad \text{W/m}^2$$

ได้  $T_i = 69.35 \quad ^\circ\text{C}$

- ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าอุณหภูมิผิวฉนวน ( $T_i$ ) ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สมมติไว้ในตอนต้น

2. ทำการคำนวณซ้ำ  $\frac{T_s + T_i}{2} = 94.88 \quad ^\circ\text{C}$

เปิดตารางหาค่า  $k = 0.0423 \text{ W/mK}$  นำค่า  $k$  ที่ได้มาหาค่าอัตราการสูญเสียความร้อนจาก

$$q' = \frac{T_s + T_a}{\left(\frac{r_o}{k}\right) \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{h_G}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

$$= 188.86 \quad \text{W/m}^2$$

จากนั้นนำค่า  $q'$  ที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิผิวฉนวน ( $T_i$ ) คู่อีกครั้งโดยแทนลงในสมการ

$$q' = h_G(T_i - T_a) \quad \text{W/m}^2$$

ได้  $T_i = 69.53 \quad ^\circ\text{C}$

5. จากนั้นนำค่า  $q'$  ที่ได้มาคำนวณหาผลการประหยัดที่ได้จาก  $q'_{\text{save}} = q'_{\text{ก่อนหุ้มฉนวน}} - q'_{\text{หลังหุ้มฉนวน}}$
- $$= 1,974.78 - 184.21 \quad \text{W/m}^2$$
- $$= 1,790.57 \quad \text{W/m}^2$$

## จ2.2 เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 350 ตัน

$$\text{อุณหภูมิผิวก่อนหุ้มฉนวน (T_s)} = 129.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{ค่าอุณหภูมิแวดล้อม (T_a)} = 36.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{รัศมีภายนอกของกระบอกฉีด (r_i)} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{รัศมีภายนอกโดยรวมความหนาของฉนวน(r_o)} = 0.175 \text{ m}$$

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (h_G)} = 5.7 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\text{ความหนาฉนวนที่ใช้} = 25 \text{ mm.}$$

$$\text{พื้นที่ผิวกระบอกฉีดโดยรวมความหนาของฉนวน} = 1.511 \text{ m}^2$$

จากข้อมูลหาค่าความร้อนสูญเสียหลังจากการทำการหุ้มฉนวนแล้ว ซึ่งจะสามารถทำนายได้โดยใช้

วิธี trial and error โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1. สมมติค่าอุณหภูมิผิวฉนวน (T<sub>p</sub>) โดยเริ่มสมมติที่ 60 °C แล้วนำมาหาค่า k ของฉนวนที่อุณหภูมิ

$$\text{เฉลี่ยจาก } \frac{T_s + T_i}{2} = 94.55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. นำค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ได้มาหาค่าการนำความร้อนของฉนวนใยแก้ว ความหนาแน่น 40 kg/m<sup>3</sup> จะทำให้ได้ค่า k = 0.042 W/mK นำค่า k ที่ได้มาหาค่าอัตราการสูญเสียความร้อนจาก

$$q' = \frac{T_s + T_a}{\left(\frac{r_o}{k}\right) \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{h_G}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

$$= 202.68 \quad \text{W/m}^2$$

3. จากนั้นนำค่า q' ที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิผิวฉนวน (T<sub>p</sub>) คู่อีกครั้งโดยแทนลงในสมการ

$$q' = h_G(T_i - T_a) \quad \text{W/m}^2$$

ได้

$$T_i = 71.96 \quad ^\circ\text{C}$$

4. ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าอุณหภูมิผิวนวนวน ( $T_i$ ) ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สมมติไว้ในตอนต้น

$$1. \text{ ทำการคำนวณซ้ำ } \frac{T_s + T_i}{2} = 100.53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

เปิดตารางหาค่า  $k = 0.0431 \text{ W/mK}$  นำค่า  $k$  ที่ได้มาหาค่าอัตราการสูญเสียความร้อนจาก

$$q' = \frac{T_s + T_a}{\left(\frac{r_o}{k}\right) \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{h_G}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

$$= 206.45 \quad \text{W/m}^2$$

จากนั้นนำค่า  $q'$  ที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิผิวนวนวน ( $T_i$ ) คู่อีกครั้งโดยแทนลงในสมการ

$$q' = h_G(T_i - T_a) \quad \text{W/m}^2$$

$$\text{ได้ } T_i = 72.61 \quad ^\circ\text{C}$$

- ทำการคำนวณซ้ำจนกระทั่งค่าอุณหภูมิผิวนวนวน ( $T_i$ ) ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่สมมติไว้ในตอนต้น

$$2. \text{ ทำการคำนวณซ้ำ } \frac{T_s + T_i}{2} = 100.855 \quad ^\circ\text{C}$$

เปิดตารางหาค่า  $k = 0.0432 \text{ W/mK}$  นำค่า  $k$  ที่ได้มาหาค่าอัตราการสูญเสียความร้อนจาก

$$q' = \frac{T_s + T_a}{\left(\frac{r_o}{k}\right) \times \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{1}{h_G}\right)} \quad \text{W/m}^2$$

$$= 207.17 \quad \text{W/m}^2$$

จากนั้นนำค่า  $q'$  ที่ได้มาหาค่าอุณหภูมิผิวนวนวน ( $T_i$ ) คู่อีกครั้งโดยแทนลงในสมการ

$$q' = h_G(T_i - T_a) \quad \text{W/m}^2$$

$$\text{ได้ } T_i = 72.75 \quad ^\circ\text{C}$$

5. จากนั้นนำค่า  $q'$  ที่ได้มาคำนวณหาผลการประหยัดที่ได้จาก  $q'_{\text{save}} = q'_{\text{ก่อนหุ้มฉนวน}} - q'_{\text{หลังหุ้มฉนวน}}$
- $$= 3,666.517 - 202.68 \quad \text{W/m}^2$$
- $$= 3,463.84 \quad \text{W/m}^2$$

### จ3. การคำนวณมูลค่าการประหยัดและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะแสดงการคำนวณผลการประหยัดจากดำเนินมาตรการหุ้มฉนวนกระบอกฉีดของเครื่องฉีดพลาสติกทั้ง 2 ขนาด และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีสมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

อายุการใช้งานของฉนวนเท่ากับ 4 ปี

ไม่มีมูลค่าซากของฉนวน

ค่าไฟฟ้าคิดเฉพาะค่าพลังงาน

ภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 1 คิด 7 % และปีที่ 2-4 คิดที่ 10 % [26]

ค่า  $F_t$  คิดตามการไฟฟ้านครหลวง เดือนพฤษภาคม เท่ากับ 72.94 สตางค์/หน่วย [24]

ค่า  $F_t$  เพิ่มขึ้นจากปี 2555 เท่ากับ 10.7 สตางค์/ปี [25]

#### จ3.1 เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 170 ตัน

ความร้อนที่สูญเสียก่อนหุ้มฉนวน	1,303.355	W
ความร้อนที่สูญเสียหลังหุ้มฉนวน	184.21 x 0.844	
	= 155.47	W
ความหนา	25	mm.
ราคาฉนวน	12,000	บาท
อายุการใช้งานฉนวน	4	ปี
ค่าไฟฟ้า	ประเภทผู้ใช้ไฟ 4.2.2 แรงดัน 12-24 kW	
ความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Peak)	1,705	kW
ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า On Peak	132.93	บาท/kW
On Peak	2.695	บาท/หน่วย

Off Peak 1.1914 บาท/หน่วย

On Peak: 09.00 น.-22.00 น. วันจันทร์-ศุกร์ (13 ชม.) Off Peak: 22.00 น.-09.00 น. วันจันทร์-ศุกร์

1 เดือน ทำงาน 24 วัน (วันหยุด เสาร์ วันเสาร์) X 12 เดือน = 1 ปี ทำงาน 288 วัน

1 วันทำงาน 24 ชม.

จำนวนชั่วโมงทำงานของเครื่อง 6,912 ชม./ปี

On Peak 3,744 ชม./ปี

Off Peak 3,168 ชม./ปี

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ดังนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

$$\begin{aligned} \text{On Peak} &= (1,303.355 - 155.47) \text{ W} \times 10^{-3} \times 3,744 \text{ ชม./ปี} \\ &= 4,297.68 \text{ kWh/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Off Peak} &= (1,303.355 - 155.47) \text{ W} \times 10^{-3} \times 3,168 \text{ ชม./ปี} \\ &= 3,636.49 \text{ kWh/ปี} \end{aligned}$$

คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ ดังนี้

ค่าไฟฟ้า = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ + ค่า  $F_t$  + ภาษีมูลค่าเพิ่ม

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak} = 4,297.68 \times 2.695 = 11,582.25 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak} = 3,636.49 \times 1.1914 = 4,332.51 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่า } F_t \text{ ปีที่ 1} = 0.7294 = (4,297.68 + 3,636.49) \times 0.7294 = 5,787.18 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 11,582.25 + 4,332.51 + 5,787.18 = 21,701.94 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 1} = 7\% = 21,701.94 \times 7\% = 1,519.14 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 1} = 21,701.94 + 1,519.14 = 23,221.08 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่า } F_t \text{ ปีที่ 2} = 0.8364 = (4,297.68 + 3,636.49) \times 0.8364 = 6,636.14 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 11,582.25 + 4,332.51 + 6,636.14 = 22,550.90 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 2} = 10\% = 22,550.90 \times 10\% = 2,255.09 \text{ บาท/ปี}$$

รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 2	= 22,550.90+2,255.09	= 24,805.99	บาท/ปี
ค่า $F_t$ ปีที่ 3 = 0.9434	= (4,297.68+3,636.49) x 0.9434	= 7,485.09	บาท/ปี
รวมเงินค่าไฟฟ้า	= 11,582.25+4,332.51+7,485.09	= 23,399.85	บาท/ปี
คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 3 = 10%	= 23,399.85 x 10%	= 2,339.99	บาท/ปี
รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 3	= 23,399.85+2,339.99	= 25,739.84	บาท/ปี
ค่า $F_t$ ปีที่ 4 = 1.0474	= (4,297.68+3,636.49) x 1.0474	= 8,310.25	บาท/ปี
รวมเงินค่าไฟฟ้า	= 11,582.25+4,332.51+8,310.25	= 24,225.01	บาท/ปี
คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 4 = 10%	= 24,225.01 x 10%	= 2,422.50	บาท/ปี
รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 4	= 24,225.01+2,422.50	= 26,647.51	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน(คิดที่ปีที่ 1)	= 12,000 / 23,221.08	= 0.5	ปี
หาค่า IRR จาก	$TIC = \frac{A[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n}$		โดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์คำนวณ
	= 196 %		

### จ3.2 เครื่องฉีดพลาสติกขนาด 350 ตัน

ความร้อนที่สูญเสียก่อนหุ้มฉนวน	4,656.4763	W
ความร้อนที่สูญเสียก่อนหุ้มฉนวน	202.68 x 1.511	
	= 306.25	W
ความหนา	25	mm.
จำนวนชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร	6,912	ชม./ปี
ราคาฉนวน	25,000	บาท
อายุการใช้งานฉนวน	4	ปี
ค่าไฟฟ้า	ประเภทผู้ใช้ไฟ 4.2.2 แรงดัน 12-24 kW	
ค่า $F_t$	72.94	สตางค์/หน่วย
ความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Peak)	1,705	kW
ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า On Peak	132.93	บาท/kW
On Peak	2.695	บาท/หน่วย
Off Peak	1.1914	บาท/หน่วย
On Peak: 09.00 น.-22.00 น. วันจันทร์-ศุกร์ (13 ชม.) Off Peak: 22.00 น.-09.00 น. วันจันทร์-ศุกร์		
1 เดือน ทำงาน 24 วัน (วันหยุด เสาร์-วันเสาร์) X 12 เดือน = 1 ปี ทำงาน 288 วัน		
1 วันทำงาน 24 ชม.		
จำนวนชั่วโมงทำงานของเครื่อง	6,912	ชม./ปี
On Peak	3,744	ชม./ปี
Off Peak	3,168	ชม./ปี

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ดังนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้

$$\begin{aligned} \text{On Peak} &= (4,656.4763 - 306.25) \text{ W} \times 10^{-3} \times 3,744 \text{ ชม./ปี} \\ &= 16,287.25 \text{ kWh/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Off Peak} &= (4,656.4763 - 306.25) \text{ W} \times 10^{-3} \times 3,168 \text{ ชม./ปี} \\ &= 13,781.52 \text{ kWh/ปี} \end{aligned}$$

คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ ดังนี้

ค่าไฟฟ้า = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ + ค่า  $F_t$  + ภาษีมูลค่าเพิ่ม

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak} = 16,287.25 \times 2.695 = 43,894.14 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak} = 13,781.52 \times 1.1914 = 16,419.30 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่า } F_t \text{ ปีที่ 1} = 0.7294 = (16,287.25 + 13,781.52) \times 0.7294 = 21,932.16 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 43,894.14 + 16,419.30 + 21,932.16 = 82,245.60 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 1} = 7\% = 82,245.60 \times 7\% = 5,757.19 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 1} = 82,245.60 + 5,757.19 = 88,002.79 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่า } F_t \text{ ปีที่ 2} = 0.8364 = (16,287.25 + 13,781.52) \times 0.8364 = 25,149.52 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 43,894.14 + 16,419.30 + 25,149.52 = 85,462.96 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 2} = 10\% = 85,462.96 \times 10\% = 8,546.29 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 2} = 85,462.96 + 8,546.29 = 94,009.25 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่า } F_t \text{ ปีที่ 3} = 0.9434 = (16,287.25 + 13,781.52) \times 0.9434 = 28,366.87 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 43,894.14 + 16,419.30 + 28,366.87 = 88,680.31 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 3} = 10\% = 88,680.31 \times 10\% = 8,868.03 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 3} = 88,680.31 + 8,868.03 = 97,548.34 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ค่า } F_t \text{ ปีที่ 4} = 1.0474 = (16,287.25 + 13,781.52) \times 1.0474 = 31,494.03 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้า} = 43,894.14 + 16,419.30 + 31,494.03 = 91,807.47 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{คิดภาษีมูลค่าเพิ่มปีที่ 4} = 10\% = 91,807.47 \times 10\% = 9,180.75 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{รวมเงินค่าไฟฟ้าปีที่ 4} = 91,807.47 + 9,180.75 = 100,988.22 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน(คิดที่ปีที่ 1)} = 25,000 / 88,002.79 = 0.3 \text{ ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{หาค่า IRR จาก} \quad \text{TIC} &= \frac{A[(1+i)^n - 1]}{i(1+i)^n} && \text{โดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์คำนวณ} \\ &= 357\% \end{aligned}$$

#### จ4. การลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหุ้มฉนวน

$$\text{CO}_2 \text{ Emission Reduction} = \sum (\text{EF}_{\text{kWh}} \times \text{kWh}_R)$$

เมื่อ  $\text{CO}_2 \text{ Emission Reduction}$  = ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซ  $\text{CO}_2$  จากการใช้พลังงานที่ใช้  
ในการผลิตไฟฟ้าปีที่ 2555

$\text{EF}_{\text{kWh}}$  (Emission Factor) = ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย  $\text{CO}_2$  ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิต  
= ปี 2555 มีปริมาณการปล่อยก๊าซ  $\text{CO}_2$  เท่ากับ 0.542 kg ต่อ 1 kWh [15]  
 $\text{kWh}_R$  = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง

พลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 170 ตัน

$$= 4,297.68 + 3,636.49 = 7,934.17 \quad \text{kWh/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ Emission Reduction} &= 0.542 \text{ kg/kWh} \times 7,934.17 \quad \text{kWh/ปี} \\ &= 4,300.32 \quad \text{kg/ปี} \\ &= 4.30 \quad \text{ตัน/ปี} \end{aligned}$$

พลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ของเครื่องฉีดพลาสติกขนาด 350 ตัน

$$= 16,287.25 + 13,781.52 = 30,068.77 \quad \text{kWh/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ Emission Reduction} &= 0.542 \text{ kg/kWh} \times 30,015.56 \quad \text{kWh/ปี} \\ &= 16,297.27 \quad \text{kg/ปี} \\ &= 16.29 \quad \text{ตัน/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รวมปริมาณการลดการปล่อยก๊าซ } \text{CO}_2 \text{ ได้} &= 4.30 + 16.29 \quad \text{ตัน/ปี} \\ &= 20.59 \quad \text{ตัน/ปี} \end{aligned}$$

## จ5. ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ

$$\text{CO}_2 \text{ Emission Reduction} = \sum (\text{EF}_{\text{kWh}} \times \text{kWh}_R)$$

เมื่อ  $\text{CO}_2 \text{ Emission Reduction}$  = ปริมาณการลดการปล่อยก๊าซ  $\text{CO}_2$  จากการใช้พลังงานที่ใช้  
ในการผลิตไฟฟ้าปีที่ 2555

$$\begin{aligned} \text{EF}_{\text{kWh}} \text{ (Emission Factor)} &= \text{ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย } \text{CO}_2 \text{ ต่อหน่วยไฟฟ้าที่ผลิต} \\ &= \text{ปี 2555 มีปริมาณการปล่อยก๊าซ } \text{CO}_2 \text{ เท่ากับ } 0.542 \text{ kg ต่อ } 1 \text{ kWh [15]} \\ \text{kWh}_R &= \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ลดลง} \end{aligned}$$

พลังงานที่สูญเสียไปกับชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกชิ้นส่วนของกระดิกน้ำร้อนไฟฟ้า

$$\begin{aligned} &= 33.85 \text{ kWh/kg} \times 0.542 \text{ kg/kWh} \\ &= 18.35 \text{ kg ของ } \text{CO}_2 / \text{kg ของชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ} \end{aligned}$$

พลังงานที่สูญเสียไปกับชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกชิ้นส่วนของเครื่องปั่นผลไม้

$$\begin{aligned} &= 9.33 \text{ kWh/kg} \times 0.542 \text{ kg/kWh} \\ &= 5.06 \text{ kg ของ } \text{CO}_2 / \text{kg ของชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ} \end{aligned}$$

รวมมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพเท่ากับ

$$= 23.40 \text{ kg ของ } \text{CO}_2 / \text{kg ของชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ}$$