

**ภาคผนวก ก**

**ตัวอย่างข้อมูลประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์**

Time	ข้อมูลดิบจาก Data logger								ข้อมูลที่แปรค่าแล้ว								
	I1x	I2x	T2x	G2x	T1x	G1x	V1x	V2x	G1x	G2x	Ta	I1x	I2x	P1x	P2x	η1x	η2x
7:14	0.0006	0.0012	35.35	0.028	34.92	0.017	179	249	114	209	24.03	0.15	0.29	27	73	3.09	4.64
7:24	0.0013	0.0017	38.02	0.044	35.18	0.024	216	167	151	304	24.37	0.33	0.42	70	70	6.19	3.06
7:29	0.0015	0.0021	39.73	0.050	35.26	0.028	203	172	180	338	24.67	0.38	0.52	77	89	5.73	3.50
7:34	0.0016	0.0022	41.32	0.058	35.54	0.037	230	206	232	380	25.05	0.40	0.55	92	113	5.32	3.98
7:39	0.0016	0.0027	42.54	0.063	35.63	0.041	209	223	252	407	25.16	0.41	0.67	85	151	4.52	4.93
7:44	0.0019	0.0031	43.63	0.070	35.77	0.045	207	217	279	447	25.37	0.47	0.77	98	167	4.70	4.97
7:49	0.0021	0.0029	44.37	0.075	35.71	0.049	236	217	301	477	25.45	0.52	0.73	123	159	5.44	4.45
7:54	0.0022	0.0035	45.04	0.079	35.95	0.052	221	221	319	501	25.41	0.54	0.86	120	191	5.00	5.08
7:59	0.0023	0.0036	45.65	0.080	36.11	0.053	219	216	326	506	25.57	0.57	0.90	126	194	5.15	5.12
8:04	0.0022	0.0037	46.09	0.083	36.46	0.057	223	228	344	523	25.75	0.56	0.92	124	210	4.82	5.37
8:09	0.0030	0.0041	47.01	0.094	37.68	0.065	229	203	396	584	25.85	0.74	1.02	171	207	5.74	4.72
8:14	0.0031	0.0047	47.77	0.097	38.42	0.069	209	207	416	606	26.24	0.77	1.18	162	245	5.19	5.38
8:19	0.0030	0.0043	48.41	0.096	39.08	0.069	229	215	417	596	26.84	0.75	1.07	171	230	5.48	5.16
8:24	0.0034	0.0050	48.85	0.106	39.39	0.077	220	211	463	653	27.11	0.85	1.25	186	264	5.36	5.38
8:29	0.0038	0.0057	49.56	0.111	39.98	0.082	201	201	492	685	27.00	0.94	1.42	189	287	5.13	5.59
8:34	0.0040	0.0059	50.23	0.118	40.82	0.088	209	205	529	725	27.22	0.99	1.48	207	303	5.21	5.56
8:39	0.0040	0.0060	51.19	0.121	42.12	0.092	213	211	551	743	27.64	0.99	1.50	211	315	5.10	5.66
8:44	0.0045	0.0061	52.58	0.126	43.36	0.096	215	193	576	769	27.79	1.13	1.53	242	296	5.59	5.14
8:49	0.0046	0.0062	53.80	0.126	44.56	0.098	216	190	587	772	27.94	1.16	1.55	251	294	5.70	5.08
8:54	0.0046	0.0065	54.39	0.127	45.51	0.098	209	198	589	778	28.09	1.15	1.61	240	319	5.44	5.47
8:59	0.0047	0.0062	54.82	0.132	46.32	0.103	222	200	617	804	27.72	1.18	1.56	262	312	5.68	5.17
9:04	0.0047	0.0064	54.96	0.135	47.32	0.107	223	206	638	819	27.51	1.19	1.59	264	327	5.52	5.33
9:09	0.0051	0.0066	55.01	0.137	48.36	0.110	220	198	655	830	27.49	1.27	1.65	280	327	5.70	5.25
9:14	0.0054	0.0065	55.33	0.140	49.30	0.114	226	193	679	848	27.54	1.35	1.63	304	314	5.97	4.94
9:19	0.0058	0.0075	55.89	0.143	50.35	0.118	204	180	702	868	27.56	1.46	1.88	297	338	5.63	5.19
9:24	0.0055	0.0067	56.05	0.144	50.87	0.120	225	199	713	870	27.60	1.37	1.68	308	335	5.75	5.14
9:29	0.0057	0.0071	56.42	0.146	52.08	0.123	219	195	733	884	27.95	1.43	1.78	313	347	5.69	5.23
9:34	0.0057	0.0073	57.13	0.148	53.10	0.126	216	200	749	894	28.06	1.42	1.84	306	368	5.45	5.48
9:39	0.0060	0.0071	57.55	0.149	54.06	0.128	222	194	764	901	28.45	1.49	1.77	330	344	5.77	5.09
9:44	0.0060	0.0072	57.88	0.149	54.36	0.129	220	195	770	899	28.76	1.49	1.80	328	350	5.68	5.19
9:49	0.0059	0.0073	58.06	0.150	54.95	0.131	217	200	782	905	28.62	1.47	1.84	320	367	5.45	5.41
9:54	0.0061	0.0077	58.36	0.153	55.27	0.132	212	196	786	923	28.52	1.54	1.93	325	379	5.52	5.48
9:59	0.0061	0.0081	59.01	0.155	56.19	0.136	209	202	807	936	28.66	1.51	2.02	316	406	5.22	5.78
10:04	0.0061	0.0078	59.24	0.154	56.42	0.136	213	201	809	930	29.05	1.52	1.94	322	391	5.31	5.60

10:09	0.0061	0.0078	59.43	0.156	55.86	0.139	214	204	825	939	29.08	1.52	1.94	326	396	5.26	5.62
10:14	0.0066	0.0080	59.39	0.158	56.88	0.142	213	191	843	950	29.35	1.65	1.99	351	380	5.54	5.33
10:19	0.0066	0.0078	59.31	0.157	57.52	0.143	216	195	849	950	29.50	1.64	1.96	354	383	5.56	5.37
10:24	0.0065	0.0079	59.57	0.158	58.41	0.144	215	198	857	950	29.48	1.62	1.97	348	390	5.42	5.47
10:29	0.0066	0.0083	60.26	0.157	58.99	0.145	205	195	863	949	29.52	1.65	2.07	338	402	5.23	5.65
10:34	0.0067	0.0076	60.87	0.157	59.48	0.146	219	192	869	949	29.81	1.67	1.91	366	368	5.62	5.17
10:39	0.0070	0.0077	61.11	0.157	59.55	0.147	218	186	873	946	30.06	1.74	1.91	379	355	5.80	5.01
10:44	0.0070	0.0082	60.92	0.158	59.01	0.149	209	189	884	951	30.19	1.74	2.05	363	386	5.48	5.41
10:49	0.0070	0.0081	60.76	0.158	59.27	0.149	210	188	886	952	30.50	1.75	2.03	366	383	5.51	5.36
10:54	0.0064	0.0082	60.79	0.157	59.08	0.146	208	201	867	947	30.16	1.61	2.04	335	410	5.16	5.77
10:59	0.0071	0.0081	61.48	0.158	59.55	0.148	210	185	878	953	30.64	1.77	2.03	372	375	5.66	5.24
11:04	0.0074	0.0084	61.96	0.159	60.10	0.150	205	178	888	959	31.28	1.86	2.10	381	374	5.71	5.19
11:09	0.0073	0.0082	62.10	0.159	61.03	0.151	209	184	897	960	31.41	1.83	2.06	382	378	5.68	5.25
11:14	0.0067	0.0085	61.72	0.157	60.53	0.150	200	198	890	949	31.07	1.67	2.13	333	421	4.99	5.92
11:19	0.0067	0.0085	61.48	0.158	60.39	0.151	201	198	899	953	30.64	1.67	2.12	337	421	5.00	5.88
11:24	0.0069	0.0087	61.30	0.159	59.88	0.153	198	195	909	959	30.75	1.74	2.17	343	423	5.03	5.88
11:29	0.0073	0.0080	60.76	0.158	58.72	0.153	215	184	908	952	30.81	1.83	1.99	394	367	5.79	5.14
11:34	0.0074	0.0082	60.53	0.161	58.50	0.156	214	185	928	969	30.64	1.86	2.04	397	379	5.70	5.22
11:39	0.0073	0.0084	61.27	0.161	60.19	0.158	209	190	937	972	30.62	1.82	2.09	380	398	5.41	5.46
11:44	0.0070	0.0084	61.96	0.162	61.31	0.159	209	199	942	977	30.96	1.75	2.10	366	417	5.17	5.70
11:49	0.0072	0.0088	61.87	0.164	60.65	0.160	203	195	949	986	31.03	1.81	2.19	366	426	5.14	5.76
11:54	0.0076	0.0084	61.82	0.164	60.05	0.158	210	184	937	987	31.38	1.89	2.11	397	389	5.65	5.26
11:59	0.0075	0.0085	62.36	0.161	60.70	0.156	203	182	928	968	30.61	1.89	2.13	383	387	5.50	5.33
12:04	0.0069	0.0077	62.30	0.154	60.73	0.149	213	192	886	929	31.08	1.72	1.93	366	370	5.50	5.32
12:09	0.0074	0.0085	62.27	0.163	60.70	0.159	204	187	942	979	30.97	1.86	2.14	378	399	5.36	5.43
12:14	0.0075	0.0083	61.74	0.159	59.64	0.155	207	184	921	960	31.32	1.87	2.08	387	383	5.60	5.32
12:19	0.0074	0.0081	61.63	0.158	59.48	0.154	210	182	917	951	31.23	1.86	2.02	391	369	5.69	5.17
12:24	0.0072	0.0085	61.71	0.162	60.28	0.158	206	193	938	976	30.89	1.80	2.12	373	409	5.29	5.58
12:29	0.0072	0.0084	61.12	0.160	59.11	0.157	205	191	929	963	31.52	1.81	2.10	372	400	5.33	5.54
12:34	0.0072	0.0082	59.91	0.157	57.61	0.153	208	189	908	946	31.59	1.80	2.04	374	386	5.50	5.45
12:39	0.0068	0.0082	60.14	0.160	58.61	0.157	213	203	931	963	31.00	1.70	2.04	361	414	5.16	5.73
12:44	0.0074	0.0083	60.00	0.159	58.32	0.155	207	185	921	957	31.19	1.85	2.07	383	384	5.55	5.36
12:49	0.0069	0.0081	60.49	0.158	58.69	0.155	211	199	918	950	31.41	1.71	2.03	361	403	5.24	5.65
12:54	0.0068	0.0082	59.81	0.152	57.63	0.148	201	196	877	920	31.83	1.69	2.04	340	399	5.17	5.78
12:59	0.0060	0.0069	59.37	0.137	57.46	0.129	217	197	768	831	31.81	1.50	1.72	324	339	5.62	5.43
13:04	0.0066	0.0083	59.12	0.152	57.31	0.149	196	202	885	919	31.84	1.64	2.07	322	417	4.85	6.06

13:09	0.0064	0.0075	59.39	0.152	58.23	0.150	218	203	888	917	31.65	1.61	1.87	350	379	5.26	5.52
13:14	0.0070	0.0072	59.05	0.146	57.97	0.153	221	195	906	883	31.46	1.75	1.80	385	351	5.67	5.30
13:19	0.0080	0.0087	59.97	0.171	59.16	0.170	209	185	1007	1028	31.47	1.99	2.19	416	405	5.51	5.25
13:24	0.0030	0.0033	58.00	0.061	56.84	0.062	212	202	378	395	32.03	0.74	0.82	157	166	5.55	5.61
13:29	0.0019	0.0021	53.62	0.038	52.30	0.041	208	205	253	267	31.19	0.48	0.51	99	105	5.22	5.25
13:34	0.0019	0.0019	49.85	0.036	48.61	0.039	220	208	244	255	30.76	0.47	0.47	103	98	5.63	5.11
13:39	0.0026	0.0029	47.65	0.053	47.03	0.057	215	220	346	351	30.22	0.65	0.73	140	161	5.41	6.11
13:44	0.0048	0.0058	48.67	0.116	48.34	0.109	220	211	649	715	30.19	1.19	1.46	262	307	5.39	5.73
13:49	0.0063	0.0070	51.52	0.149	50.95	0.139	226	197	824	901	30.48	1.58	1.74	356	343	5.76	5.08
13:54	0.0061	0.0070	54.80	0.146	53.98	0.131	222	196	778	882	30.68	1.54	1.75	341	343	5.84	5.19
13:59	0.0063	0.0079	56.95	0.151	55.65	0.136	206	197	807	914	30.95	1.57	1.98	323	389	5.34	5.67
14:04	0.0051	0.0060	58.10	0.122	55.95	0.113	210	200	675	746	31.19	1.26	1.50	266	299	5.25	5.34
14:09	0.0061	0.0074	58.44	0.144	56.26	0.129	211	196	766	875	31.43	1.52	1.84	320	362	5.56	5.51
14:14	0.0056	0.0073	58.91	0.144	56.04	0.127	212	204	755	871	31.71	1.41	1.81	299	370	5.28	5.66
14:19	0.0054	0.0072	59.30	0.138	56.07	0.120	203	201	718	836	31.64	1.36	1.80	275	361	5.12	5.76
14:24	0.0054	0.0063	59.41	0.134	56.00	0.118	222	199	707	818	31.37	1.34	1.58	297	313	5.61	5.11
14:29	0.0053	0.0066	59.33	0.135	55.73	0.118	215	201	704	821	31.52	1.32	1.64	284	330	5.38	5.35
14:34	0.0055	0.0070	59.73	0.137	55.71	0.118	206	195	704	831	31.57	1.37	1.76	282	342	5.34	5.48
14:39	0.0054	0.0072	59.68	0.140	54.56	0.120	206	201	715	852	31.57	1.35	1.81	278	364	5.19	5.70
14:44	0.0050	0.0068	59.82	0.139	54.61	0.118	215	209	702	846	31.59	1.26	1.71	271	357	5.14	5.63
14:49	0.0051	0.0066	60.20	0.130	55.07	0.111	208	197	664	795	31.61	1.28	1.65	267	324	5.35	5.44
14:54	0.0049	0.0064	60.75	0.128	55.58	0.103	208	190	617	780	31.39	1.24	1.60	257	303	5.56	5.19
14:59	0.0046	0.0062	60.64	0.128	54.61	0.104	215	207	623	779	31.94	1.15	1.55	246	322	5.26	5.51
15:04	0.0048	0.0060	60.72	0.129	54.44	0.110	220	206	656	789	32.02	1.20	1.51	264	311	5.37	5.25
15:09	0.0053	0.0065	60.00	0.133	53.46	0.114	210	194	679	807	32.07	1.32	1.62	277	315	5.44	5.20
15:14	0.0039	0.0050	59.84	0.107	53.51	0.089	218	203	531	662	32.42	0.99	1.25	215	253	5.39	5.09
15:19	0.0026	0.0027	57.53	0.055	51.50	0.056	225	208	338	364	32.03	0.64	0.66	144	138	5.69	5.06
15:24	0.0043	0.0050	54.86	0.111	49.73	0.096	223	200	577	685	32.05	1.08	1.25	241	249	5.58	4.84
15:29	0.0025	0.0029	54.19	0.056	49.58	0.057	212	213	347	372	31.64	0.63	0.74	133	156	5.12	5.61
15:34	0.0023	0.0022	52.40	0.042	48.68	0.046	207	197	283	292	31.58	0.56	0.56	116	111	5.48	5.05
15:39	0.0023	0.0025	51.02	0.051	47.80	0.050	212	203	305	343	31.33	0.58	0.63	123	127	5.37	4.94
15:44	0.0020	0.0019	49.53	0.042	46.49	0.044	232	211	271	289	31.13	0.51	0.47	118	99	5.78	4.54
15:49	0.0025	0.0024	49.20	0.061	46.32	0.054	237	200	328	396	30.95	0.63	0.60	149	121	6.05	4.06
15:54	0.0019	0.0021	49.66	0.047	46.40	0.043	228	211	262	320	30.81	0.48	0.52	108	110	5.51	4.59
15:59	0.0022	0.0030	48.78	0.065	45.14	0.049	210	214	301	419	31.19	0.54	0.76	114	162	5.06	5.16
16:04	0.0023	0.0029	49.55	0.077	45.42	0.052	235	207	318	491	31.13	0.58	0.73	136	152	5.71	4.13

16:09	0.0019	0.0023	50	0.0567	45	0.0392	229	195	242	374	30.94	0.47	0.58	108	112	5.95	4.01
16:14	0.0021	0.0028	50	0.0667	45	0.0457	223	204	280	431	31.08	0.52	0.70	116	143	5.51	4.44
16:19	0.0019	0.0026	51	0.0601	45	0.0419	221	207	258	393	30.89	0.47	0.65	103	135	5.33	4.57
16:24	0.0016	0.0021	51	0.0523	44	0.0349	216	206	217	348	30.71	0.39	0.54	85	110	5.21	4.23
16:29	0.0015	0.0019	50	0.0525	44	0.0336	225	204	210	350	30.70	0.37	0.48	84	99	5.35	3.77
16:39	0.0013	0.0014	49	0.0248	43	0.0256	218	167	163	191	30.51	0.32	0.35	69	59	5.61	4.10
16:44	0.0009	0.0011	48	0.0204	42	0.0210	203	208	136	166	30.40	0.24	0.29	48	59	4.71	4.77

Time	ข้อมูลดิบจาก Data logger								ข้อมูลที่แปรค่าแล้ว							
	If	I2x	T2x	G2x	Tf	Gf	Vf	V2x	Gf	G2x	If	I2x	Pf	P2x	$\eta_f$	$\eta_{2x}$
7:14	0.0004	0.0011	34.10	0.03	33.04	0.01	168	183	54	208	0.11	0.28	18.33	50.93	4.53	3.26
7:24	0.0005	0.0017	35.00	0.05	33.02	0.01	192	192	61	332	0.13	0.43	25.33	83.56	5.50	3.36
7:29	0.0007	0.0022	36.98	0.07	33.19	0.01	207	200	72	424	0.17	0.54	35.10	107.75	6.52	3.39
7:34	0.0010	0.0027	39.52	0.07	33.41	0.01	204	172	95	456	0.24	0.67	49.16	116.09	6.92	3.40
7:39	0.0015	0.0036	44.08	0.09	33.91	0.03	227	194	175	568	0.39	0.90	87.26	175.23	6.65	4.12
7:44	0.0016	0.0039	45.74	0.10	34.25	0.03	226	203	194	598	0.41	0.98	93.08	198.20	6.39	4.42
7:49	0.0017	0.0044	47.35	0.10	34.56	0.04	222	219	218	644	0.43	1.10	94.38	240.76	5.77	4.98
7:54	0.0020	0.0049	48.87	0.11	35.34	0.04	215	209	239	672	0.49	1.21	105.68	253.52	5.89	5.03
7:59	0.0021	0.0045	49.96	0.11	35.94	0.04	233	207	258	688	0.53	1.13	123.01	232.60	6.36	4.51
8:04	0.0021	0.0048	50.56	0.11	36.47	0.04	229	216	275	698	0.53	1.20	121.90	259.17	5.91	4.95
8:09	0.0022	0.0053	51.08	0.12	36.84	0.05	221	221	297	724	0.56	1.32	123.50	291.55	5.54	5.37
8:14	0.0025	0.0055	51.07	0.12	37.28	0.05	223	220	324	761	0.63	1.39	139.85	305.31	5.76	5.35
8:19	0.0026	0.0061	51.45	0.13	37.97	0.06	211	221	343	777	0.65	1.52	136.63	335.64	5.31	5.76
8:24	0.0031	0.0061	52.00	0.13	38.54	0.06	215	193	359	783	0.77	1.52	165.87	293.55	6.17	5.00
8:29	0.0032	0.0058	52.51	0.13	39.07	0.06	227	203	382	806	0.79	1.44	179.61	293.69	6.27	4.86
8:34	0.0033	0.0066	53.35	0.14	39.71	0.07	206	207	403	823	0.82	1.66	168.92	343.68	5.59	5.57
8:39	0.0034	0.0069	53.75	0.14	40.33	0.07	204	209	424	839	0.85	1.73	172.58	361.44	5.43	5.75
8:44	0.0036	0.0070	53.84	0.14	40.79	0.07	209	207	450	862	0.90	1.75	189.06	362.05	5.61	5.60
8:49	0.0037	0.0067	54.22	0.15	41.44	0.08	223	212	478	890	0.92	1.68	205.69	356.40	5.74	5.34
8:54	0.0041	0.0074	54.39	0.15	41.87	0.08	209	201	497	899	1.02	1.85	213.87	370.13	5.74	5.49
8:59	0.0039	0.0075	54.91	0.15	42.45	0.09	210	215	521	917	0.99	1.88	206.81	403.62	5.29	5.87
9:04	0.0046	0.0074	55.07	0.15	43.14	0.09	214	193	536	919	1.14	1.85	243.87	357.73	6.06	5.19
9:09	0.0045	0.0075	55.30	0.15	43.66	0.09	211	202	553	923	1.11	1.89	235.28	381.06	5.67	5.51
9:14	0.0044	0.0078	55.27	0.15	43.92	0.10	209	209	574	934	1.11	1.94	231.96	405.07	5.39	5.78
9:19	0.0050	0.0073	55.00	0.16	44.27	0.10	220	191	590	937	1.24	1.83	274.13	348.15	6.20	4.95
9:24	0.0047	0.0076	55.19	0.16	45.08	0.10	213	205	604	937	1.18	1.90	252.19	389.84	5.57	5.55
9:29	0.0050	0.0077	55.91	0.16	45.46	0.10	215	200	625	951	1.26	1.92	270.06	382.19	5.76	5.36
9:34	0.0047	0.0080	56.41	0.16	46.20	0.11	210	214	649	967	1.18	2.00	247.89	428.09	5.09	5.91
9:39	0.0054	0.0079	56.59	0.16	46.95	0.11	213	198	667	969	1.34	1.98	285.35	393.02	5.71	5.41
9:44	0.0052	0.0080	56.82	0.16	47.58	0.11	210	206	681	973	1.31	2.00	275.14	410.36	5.39	5.62
9:49	0.0051	0.0076	57.18	0.15	47.97	0.11	213	207	663	931	1.27	1.91	270.11	394.39	5.43	5.65
9:54	0.0054	0.0082	56.85	0.16	48.14	0.12	205	204	696	959	1.35	2.04	277.07	415.52	5.31	5.78
9:59	0.0057	0.0083	57.43	0.17	49.20	0.12	209	203	733	993	1.43	2.07	297.96	419.93	5.42	5.64
10:04	0.0056	0.0084	58.08	0.16	50.31	0.12	206	205	739	984	1.41	2.09	289.17	428.66	5.22	5.81

10:09	0.0057	0.0085	58.46	0.17	50.67	0.13	205	206	763	1001	1.43	2.13	293.68	439.45	5.13	5.86
10:14	0.0061	0.0086	58.93	0.17	51.77	0.13	202	198	772	998	1.52	2.15	308.17	424.45	5.32	5.67
10:19	0.0062	0.0078	58.73	0.16	52.35	0.13	219	194	777	989	1.55	1.95	339.94	379.28	5.84	5.11
10:24	0.0060	0.0081	59.21	0.16	53.45	0.13	212	202	786	988	1.49	2.03	315.74	411.29	5.36	5.55
10:29	0.0062	0.0082	58.97	0.16	54.16	0.13	211	198	794	986	1.55	2.04	327.00	403.07	5.49	5.45
10:34	0.0068	0.0083	59.08	0.17	55.09	0.14	212	188	824	1009	1.69	2.08	358.10	391.04	5.80	5.17
10:39	0.0066	0.0088	58.51	0.17	55.48	0.14	199	193	832	1007	1.65	2.21	328.18	426.46	5.26	5.65
10:44	0.0066	0.0087	58.73	0.16	56.41	0.14	199	191	826	989	1.65	2.16	329.21	413.16	5.31	5.57
10:49	0.0057	0.0075	58.29	0.16	56.25	0.13	217	209	791	937	1.44	1.88	311.87	393.10	5.26	5.59
10:54	0.0064	0.0079	58.23	0.16	56.55	0.13	209	192	799	940	1.60	1.98	333.42	378.75	5.56	5.37
10:59	0.0066	0.0079	57.97	0.16	56.77	0.14	216	194	834	976	1.64	1.97	355.39	381.41	5.68	5.21
11:04	0.0064	0.0080	57.98	0.16	57.18	0.14	212	198	834	962	1.60	1.99	340.43	393.94	5.44	5.46
11:09	0.0063	0.0084	58.35	0.16	57.10	0.14	203	203	845	967	1.57	2.10	318.32	427.72	5.02	5.90
11:14	0.0064	0.0078	59.07	0.15	57.20	0.14	209	196	817	928	1.59	1.95	332.41	381.99	5.43	5.49
11:19	0.0064	0.0075	58.79	0.15	57.34	0.14	217	197	829	934	1.59	1.88	345.51	369.14	5.56	5.27
11:24	0.0063	0.0078	58.19	0.15	57.63	0.14	205	197	820	918	1.58	1.96	323.84	386.03	5.26	5.61
11:29	0.0071	0.0084	58.28	0.16	57.92	0.15	206	188	886	983	1.78	2.10	365.91	394.02	5.51	5.35
11:34	0.0071	0.0083	59.02	0.16	59.30	0.15	208	189	890	984	1.76	2.08	367.43	392.57	5.51	5.32
11:39	0.0067	0.0084	60.44	0.16	60.29	0.15	202	197	890	974	1.68	2.10	338.29	413.21	5.07	5.66
11:44	0.0065	0.0081	60.24	0.16	60.36	0.15	210	199	887	972	1.64	2.02	343.67	403.04	5.17	5.53
11:49	0.0068	0.0088	59.56	0.17	60.53	0.15	197	200	916	998	1.69	2.21	331.70	441.96	4.83	5.90
11:54	0.0070	0.0083	60.52	0.16	61.77	0.15	205	189	896	972	1.76	2.07	360.43	391.40	5.37	5.37
11:59	0.0065	0.0082	60.47	0.16	61.83	0.15	207	202	889	966	1.61	2.04	334.53	413.71	5.02	5.71
12:04	0.0069	0.0083	60.63	0.16	61.08	0.15	206	196	898	972	1.72	2.07	355.39	404.87	5.28	5.55
12:09	0.0073	0.0078	60.74	0.16	61.19	0.15	219	184	912	984	1.83	1.95	400.96	358.19	5.86	4.85
12:14	0.0071	0.0087	59.77	0.16	61.38	0.15	200	192	920	989	1.77	2.17	354.63	416.79	5.14	5.62
12:19	0.0071	0.0082	60.89	0.17	62.01	0.16	216	192	929	998	1.78	2.04	384.52	391.37	5.52	5.23
12:24	0.0072	0.0078	61.14	0.16	62.00	0.15	217	185	905	973	1.80	1.94	389.88	357.69	5.74	4.90
12:29	0.0066	0.0081	61.50	0.16	61.36	0.15	212	203	916	984	1.65	2.03	349.59	410.66	5.09	5.57
12:34	0.0068	0.0079	61.22	0.16	60.69	0.15	216	197	907	975	1.70	1.97	365.85	387.65	5.38	5.30
12:39	0.0070	0.0081	60.98	0.16	60.70	0.15	211	191	908	976	1.74	2.04	367.01	389.31	5.39	5.32
12:44	0.0068	0.0085	61.03	0.16	61.50	0.15	200	195	904	975	1.70	2.13	339.78	414.77	5.01	5.67
12:49	0.0070	0.0082	62.04	0.16	61.49	0.15	202	184	879	951	1.75	2.05	353.46	377.73	5.36	5.30
12:54	0.0065	0.0083	62.71	0.16	61.31	0.15	197	196	868	940	1.63	2.08	320.37	406.60	4.92	5.77
12:59	0.0063	0.0075	62.51	0.15	61.34	0.14	212	199	844	918	1.56	1.89	331.47	375.07	5.23	5.45
13:04	0.0061	0.0077	61.38	0.15	60.82	0.14	209	203	843	919	1.52	1.92	318.13	389.57	5.03	5.65

13:09	0.0063	0.0080	60.22	0.15	60.02	0.14	202	196	848	928	1.58	2.01	319.46	393.32	5.02	5.65
13:14	0.0059	0.0072	60.55	0.14	60.53	0.13	202	194	779	858	1.47	1.79	296.75	347.53	5.08	5.40
13:19	0.0058	0.0076	61.30	0.15	60.57	0.14	205	203	809	895	1.45	1.90	296.71	385.34	4.89	5.74
13:24	0.0064	0.0081	61.05	0.16	60.12	0.14	207	197	859	953	1.61	2.02	332.37	397.32	5.16	5.56
13:29	0.0062	0.0082	60.75	0.16	60.45	0.14	203	200	858	955	1.55	2.04	315.96	408.63	4.91	5.71
13:34	0.0065	0.0079	61.35	0.16	61.13	0.14	212	191	854	956	1.63	1.97	345.91	376.13	5.40	5.25
13:39	0.0060	0.0081	61.89	0.16	61.90	0.14	204	201	838	946	1.51	2.02	307.30	406.64	4.89	5.73
13:44	0.0064	0.0080	62.32	0.16	61.86	0.14	205	188	828	941	1.60	2.00	328.76	376.10	5.29	5.33
13:49	0.0065	0.0079	61.85	0.16	61.88	0.14	213	189	846	964	1.63	1.96	346.39	371.58	5.46	5.14
13:54	0.0064	0.0080	62.20	0.16	61.77	0.14	213	194	857	985	1.60	2.01	339.99	390.09	5.29	5.28
13:59	0.0064	0.0080	62.67	0.16	61.63	0.14	210	187	837	971	1.60	1.99	336.94	372.89	5.37	5.12
14:04	0.0060	0.0075	63.28	0.15	61.61	0.13	209	191	797	913	1.49	1.87	311.94	356.83	5.22	5.21
14:09	0.0017	0.0018	63.36	0.03	61.52	0.03	213	192	207	248	0.41	0.46	88.10	87.22	5.66	4.68
14:14	0.0015	0.0019	57.57	0.03	56.01	0.03	188	171	174	234	0.36	0.47	68.37	80.07	5.23	4.57
14:19	0.0062	0.0076	55.04	0.17	53.61	0.14	224	195	828	993	1.54	1.90	346.42	369.37	5.58	4.96
14:24	0.0025	0.0021	53.55	0.04	51.98	0.06	226	205	341	284	0.62	0.53	140.37	108.25	5.48	5.09
14:29	0.0057	0.0076	53.10	0.16	51.17	0.13	214	198	772	943	1.42	1.90	303.58	374.49	5.24	5.30
14:34	0.0056	0.0076	56.45	0.16	53.80	0.13	220	203	802	991	1.40	1.89	309.22	383.68	5.14	5.16
14:39	0.0017	0.0021	57.88	0.04	54.70	0.04	208	197	218	266	0.43	0.53	89.18	103.99	5.46	5.21
14:44	0.0051	0.0072	57.75	0.16	54.52	0.13	222	208	767	966	1.29	1.80	285.26	374.11	4.96	5.16
14:49	0.0019	0.0026	60.24	0.05	56.31	0.04	202	197	252	321	0.48	0.66	96.67	129.37	5.12	5.37
14:54	0.0049	0.0071	58.21	0.15	54.11	0.12	215	198	691	913	1.23	1.77	265.86	349.71	5.13	5.10
14:59	0.0051	0.0077	58.27	0.16	52.62	0.12	211	201	715	944	1.26	1.92	266.88	385.40	4.98	5.44
15:04	0.0047	0.0067	58.53	0.14	51.44	0.11	215	192	640	868	1.18	1.66	252.85	319.10	5.27	4.90
15:09	0.0018	0.0022	56.61	0.04	50.06	0.04	215	204	236	289	0.44	0.55	94.73	112.33	5.34	5.19
15:14	0.0028	0.0033	55.18	0.07	48.74	0.06	222	191	377	462	0.71	0.83	157.18	157.43	5.57	4.54
15:19	0.0046	0.0070	56.55	0.15	49.66	0.11	209	200	649	884	1.14	1.74	238.30	347.99	4.89	5.25
15:24	0.0044	0.0069	58.66	0.15	51.00	0.11	213	199	634	887	1.11	1.72	235.67	341.20	4.96	5.13
15:29	0.0038	0.0069	60.18	0.14	50.83	0.10	202	215	613	858	0.95	1.73	192.13	372.47	4.18	5.78
15:34	0.0038	0.0067	60.62	0.14	50.98	0.10	205	214	607	850	0.95	1.67	194.02	358.63	4.26	5.63
15:39	0.0041	0.0066	61.41	0.14	50.64	0.10	204	203	606	842	1.02	1.64	209.06	331.70	4.60	5.25
15:44	0.0039	0.0058	60.90	0.13	49.20	0.09	219	194	552	817	0.98	1.46	213.34	283.39	5.15	4.62
15:49	0.0035	0.0057	59.60	0.12	47.63	0.08	205	205	510	734	0.86	1.41	177.59	289.50	4.64	5.26
15:54	0.0017	0.0020	57.27	0.04	46.14	0.04	210	210	238	266	0.42	0.49	87.83	103.54	4.93	5.19
15:59	0.0015	0.0017	54.37	0.03	44.73	0.03	215	171	194	245	0.38	0.43	81.25	73.91	5.58	4.02
16:04	0.0012	0.0013	48.84	0.02	42.39	0.02	186	178	152	176	0.29	0.32	54.78	56.25	4.79	4.27

16:09	0.0012	0.0013	47.76	0.03	42.17	0.02	217	165	156	198	0.31	0.32	66.19	52.94	5.66	3.56
16:14	0.0017	0.0031	48.02	0.07	42.34	0.05	214	210	278	472	0.43	0.78	93.10	162.58	4.47	4.59
16:19	0.0016	0.0027	49.46	0.07	42.88	0.04	230	207	261	472	0.40	0.67	90.85	139.26	4.64	3.93
16:24	0.0014	0.0022	49.89	0.06	42.75	0.03	219	185	210	373	0.35	0.55	77.17	102.21	4.91	3.65
16:29	0.0007	0.0009	48.70	0.02	41.96	0.01	192	196	100	142	0.17	0.22	32.75	42.73	4.39	4.02
16:39	0.0004	0.0013	47.05	0.03	41.03	0.02	181	245	128	230	0.11	0.33	19.61	82.19	2.04	4.75
16:44	0.0007	0.0014	46.28	0.03	40.66	0.02	178	216	126	227	0.18	0.34	31.42	72.99	3.34	4.28

**ภาคผนวก ข**

**ผลการ Simulation โดยใช้โปรแกรม PVsyst 5.31**

## Grid-Connected System: Simulation parameters

**Project :** EN thailand

**Geographical Site** E\_N of Thailand **Country** Thailand

**Situation** Latitude 16.0°N **Longitude** 102.0°E  
 Time defined as Legal Time Time zone UT+7 **Altitude** 7 m  
 Albedo 0.20

**Meteo data :** E\_N of Thailand, Synthetic Hourly data

**Simulation variant :** Fixed system

Simulation date 15/05/11 14h42



## Simulation parameters

**Collector Plane Orientation** Tilt 16° Azimuth 10°

**Horizon** Free Horizon

**Near Shadings** No Shadings

## PV Array Characteristics

**PV module** Si-poly **Model** **alfasolar 170 P/175**

**Number of PV modules** **Manufacturer** AlfaSolar

**Total number of PV modules** In series 34 modules **In parallel** 175 strings

**Array global power** Nb. modules 5950 **Unit Nom. Power** 175 Wp

**Array operating characteristics (50°C)** **Nominal (STC)** **1041 kWp** **At operating cond.** 900 kWp (55°C)

**Total area** U mpp 526 V **I mpp** 1711 A  
 Module area **7521 m<sup>2</sup>**

## Inverter

**Model** **GT 500E**

**Manufacturer** Xantrex

**Characteristics** **Operating Voltage** 450-880 V **Unit Nom. Power** 500 kW AC

**Inverter pack** **Number of Inverter** 2 units **Total Power** 1000 kW AC

## PV Array loss factors

**Thermal Loss factor** U<sub>c</sub> (const) 29.0 W/m<sup>2</sup>K U<sub>v</sub> (wind) 0.0 W/m<sup>2</sup>K / m/s  
 => Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m<sup>2</sup>, T<sub>amb</sub>=20°C, Wind velocity = 1m/s.) **NOCT** 45 °C

**Wiring Ohmic Loss** **Global array res.** 5.2 mOhm **Loss Fraction** 1.5 % at STC

**Array Soiling Losses** **Loss Fraction** 1.5 %

**Module Quality Loss** **Loss Fraction** 1.5 %

**Module Mismatch Losses** **Loss Fraction** 1.0 % at MPP

**Incidence effect, ASHRAE parametrization** **IAM =** 1 - b<sub>0</sub> (1/cos i - 1) **bo Parameter** 0.05

## System loss factors

**AC wire loss inverter to transfo** **Inverter voltage** 315 Vac tri

**Wires** 10 m 3x5000 mm<sup>2</sup> **Loss Fraction** 0.8 % at STC

**External transformer** **Iron loss** 1019 W **Loss Fraction** 0.1 % at STC

**Resistive/Inductive losses** 0.5 mOhm **Loss Fraction** 0.5 % at STC

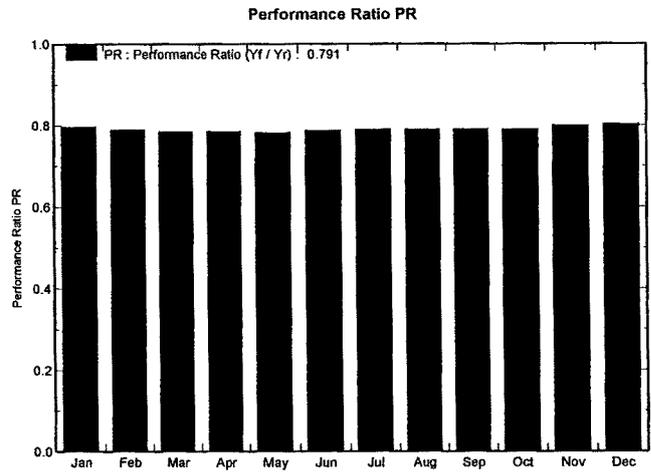
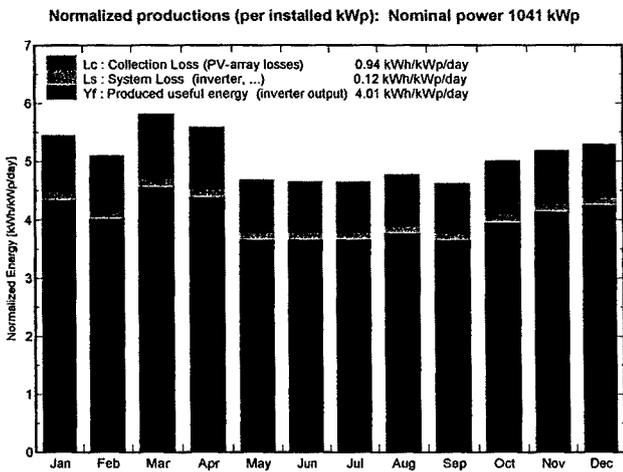
**User's needs :** Unlimited load (grid)

## Grid-Connected System: Main results

**Project :** EN thailand  
**Simulation variant :** Fixed system

<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation		tilt	16°	azimuth 10°
PV modules		Model	alfasolar 170 P/175	Pnom 175 Wp
PV Array		Nb. of modules	5950	Pnom total <b>1041 kWp</b>
Inverter		Model	GT 500E	Pnom 500 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	2.0	Pnom total <b>1000 kW ac</b>
User's needs		Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
**System Production**      **Produced Energy** **1524 MWh/year**      **Specific prod.** **1463 kWh/kWp/year**  
**Performance Ratio PR** **79.1 %**



**Fixed system**  
**Balances and main results**

	GlobHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	EffArrR	EffSysR
	kWh/m²	°C	kWh/m²	kWh/m²	kWh	kWh	%	%
January	146.6	23.10	168.9	163.7	144341	140164	11.36	11.03
February	132.7	25.00	142.8	138.6	120824	117378	11.25	10.93
March	174.2	26.20	180.5	175.3	151883	147424	11.19	10.86
April	172.0	26.70	167.8	162.6	141273	137171	11.19	10.87
May	154.6	26.90	145.2	140.1	121850	118218	11.16	10.83
June	150.3	26.50	139.6	134.7	118010	114484	11.24	10.90
July	152.9	26.20	144.1	139.0	122142	118490	11.27	10.94
August	153.0	26.10	148.1	143.2	125524	121792	11.27	10.94
September	138.3	25.70	138.7	134.2	117704	114207	11.28	10.94
October	145.9	24.50	155.4	150.7	131796	127744	11.28	10.93
November	138.3	22.80	155.6	151.0	133334	129436	11.39	11.06
December	140.8	21.80	164.2	159.3	141346	137239	11.45	11.12
Year	1799.5	25.12	1850.8	1792.6	1570027	1523746	11.28	10.95

Legends:

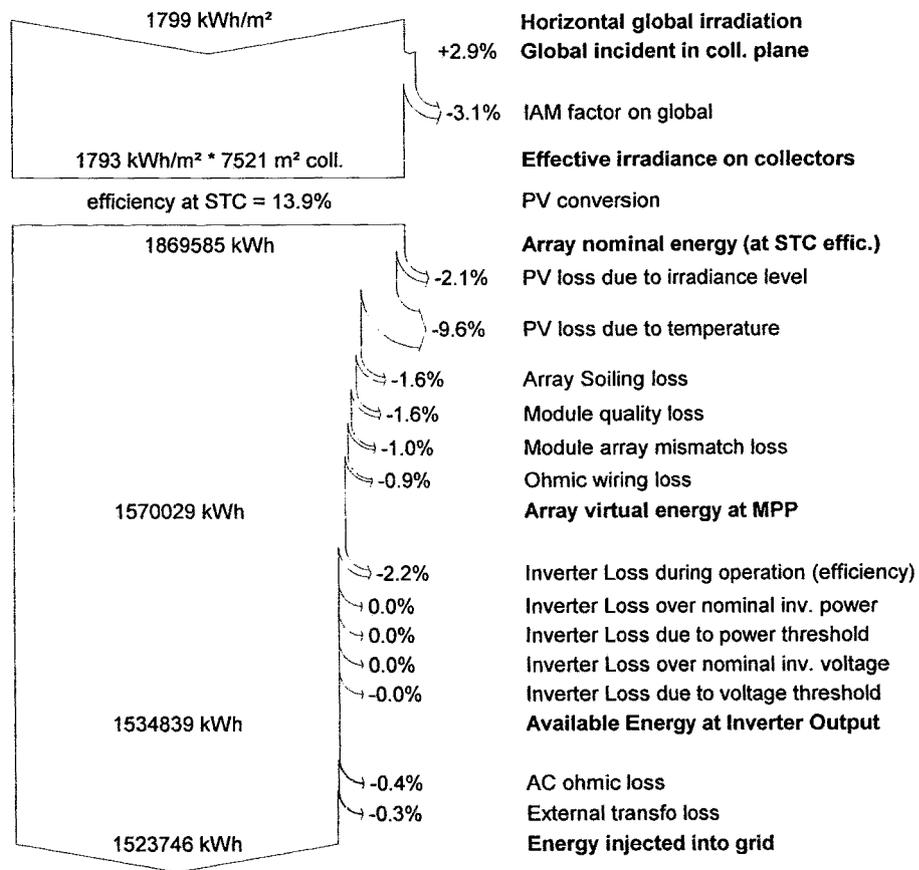
GlobHor	Horizontal global irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EffSysR	Effic. Eout system / rough area

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** EN thailand  
**Simulation variant :** Fixed system

<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>		
PV Field Orientation	tilt	16°	azimuth	10°
PV modules	Model	alfasolar 170 P/175	Pnom	175 Wp
PV Array	Nb. of modules	5950	Pnom total	<b>1041 kWp</b>
Inverter	Model	GT 500E	Pnom	500 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	<b>1000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

#### Loss diagram over the whole year



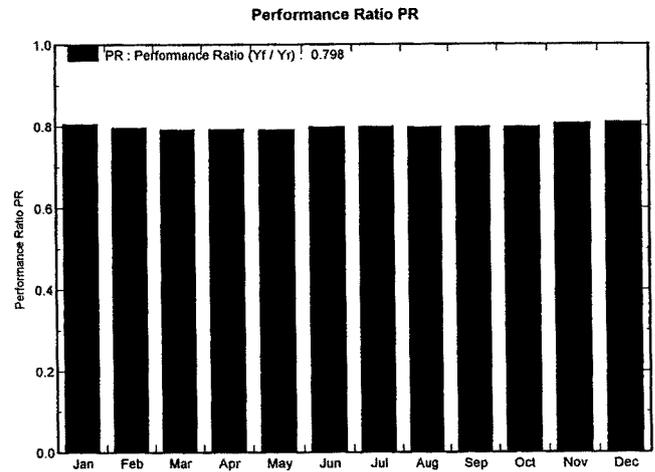
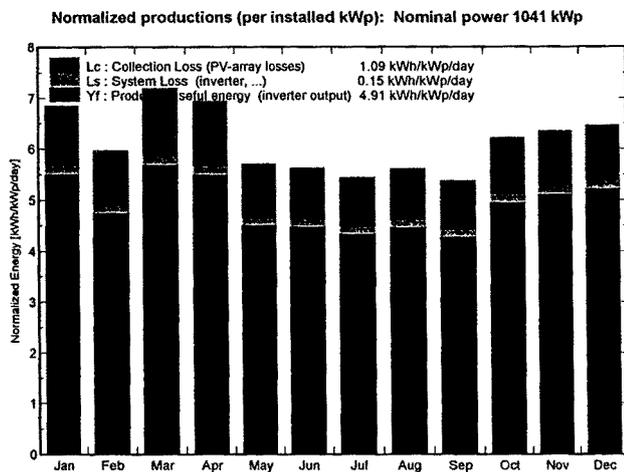
PVSYST V5.31		15/05/11	Page 1/4		
<b>Grid-Connected System: Simulation parameters</b>					
<b>Project :</b>	<b>EN thailand</b>				
<b>Geographical Site</b>	<b>E_N of Thailand</b>	<b>Country</b>	<b>Thailand</b>		
<b>Situation</b>	Latitude	16.0°N	Longitude	102.0°E	
Time defined as	Legal Time	Time zone UT+7	Altitude	7 m	
	Albedo	0.20			
<b>Meteo data :</b>	E_N of Thailand, Synthetic Hourly data				
<b>Simulation variant :</b>	<b>One axis tracking</b>				
	Simulation date	15/05/11 14h40			
<b>Simulation parameters</b>					
<b>Tracking plane, tilted Axis</b>	Axis Tilt	16°	Axis Azimuth	0°	
Rotation Limitations	Minimum Phi	-60°	Maximum Phi	60°	
<b>Horizon</b>	Free Horizon				
<b>Near Shadings</b>	No Shadings				
<b>PV Array Characteristics</b>					
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>alfasolar 170 P/175</b>		
		Manufacturer	AlfaSolar		
Number of PV modules		In series	34 modules	In parallel	175 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	5950	Unit Nom. Power	175 Wp
Array global power		Nominal (STC)	<b>1041 kWp</b>	At operating cond.	900 kWp (55°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	526 V	I mpp	1711 A
Total area		Module area	<b>7521 m²</b>		
<b>Inverter</b>		Model	<b>GT 500E</b>		
		Manufacturer	Xantrex		
Characteristics		Operating Voltage	450-880 V	Unit Nom. Power	500 kW AC
Inverter pack		Number of Inverter	2 units	Total Power	1000 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>					
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s	
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m², Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT	45 °C			
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	5.2 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC	
Array Soiling Losses			Loss Fraction	1.5 %	
Module Quality Loss			Loss Fraction	1.5 %	
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP	
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05	
<b>System loss factors</b>					
AC wire loss inverter to transfo	Inverter voltage	315 Vac tri			
	Wires	10 m 3x5000 mm²	Loss Fraction	0.8 % at STC	
External transformer	Iron loss	1019 W	Loss Fraction	0.1 % at STC	
	Resistive/Inductive losses	0.5 mOhm	Loss Fraction	0.5 % at STC	

### Grid-Connected System: Main results

**Project :** EN thailand  
**Simulation variant :** One axis tracking

<b>Main system parameters</b>	System type	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation	tracking, tilted axis, Axis Tilt	16°	Axis Azimuth 0°
PV modules	Model	alfasolar 170 P/175	Pnom 175 Wp
PV Array	Nb. of modules	5950	Pnom total <b>1041 kWp</b>
Inverter	Model	GT 500E	Pnom 500 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total <b>1000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
 System Production **Produced Energy 1865 MWh/year** Specific prod. 1791 kWh/kWp/year  
 Performance Ratio PR **79.8 %**



#### One axis tracking Balances and main results

	GlobHor kWh/m²	T Amb °C	GlobInc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	146.6	23.10	212.3	208.9	183439	178050	11.49	11.15
February	132.7	25.00	167.3	164.2	142780	138661	11.35	11.02
March	174.2	26.20	222.9	219.5	189342	183734	11.29	10.96
April	172.0	26.70	208.2	204.6	176956	171792	11.30	10.97
May	154.6	26.90	176.9	173.3	150161	145709	11.29	10.95
June	150.3	26.50	168.7	165.0	144344	140126	11.38	11.04
July	152.9	26.20	168.8	164.9	144481	140252	11.38	11.05
August	153.0	26.10	174.1	170.4	148785	144360	11.36	11.03
September	138.3	25.70	161.2	157.9	137987	133893	11.38	11.04
October	145.9	24.50	192.9	189.8	165135	160060	11.39	11.04
November	138.3	22.80	190.5	187.3	164730	159869	11.50	11.16
December	140.8	21.80	200.2	196.8	173813	168675	11.54	11.20
Year	1799.5	25.12	2244.0	2202.6	1921952	1865182	11.39	11.05

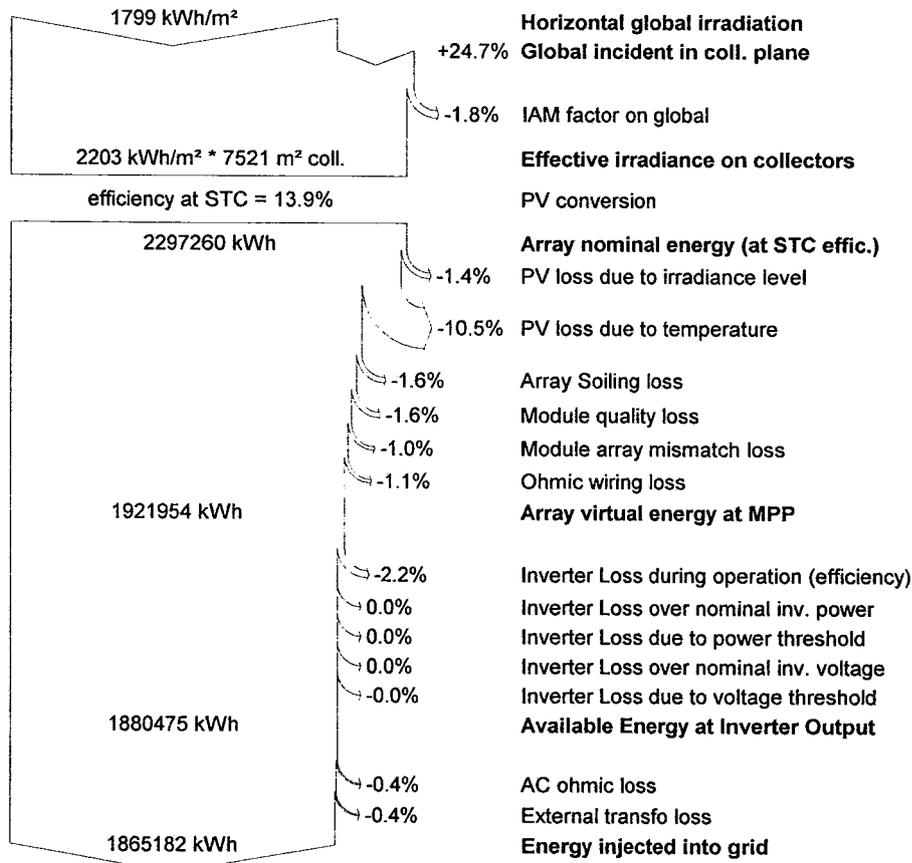
Legends: GlobHor Horizontal global irradiation      EArray Effective energy at the output of the array  
 T Amb Ambient Temperature      E\_Grid Energy injected into grid  
 GlobInc Global incident in coll. plane      EffArrR Effic. Eout array / rough area  
 GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings      EffSysR Effic. Eout system / rough area

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** EN thailand  
**Simulation variant :** One axis tracking

<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>		
PV Field Orientation	tracking, tilted axis, Axis Tilt	16°	Axis Azimuth	0°
PV modules	Model	alfasolar 170 P/175	Pnom	175 Wp
PV Array	Nb. of modules	5950	Pnom total	<b>1041 kWp</b>
Inverter	Model	GT 500E	Pnom	500 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0	Pnom total	<b>1000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)			

#### Loss diagram over the whole year



## Grid-Connected System: Simulation parameters

**Project :** EN thailand

**Geographical Site** E\_N of Thailand **Country** Thailand

**Situation** Latitude 16.0°N Longitude 102.0°E  
 Time defined as Legal Time Time zone UT+7 Altitude 7 m  
 Albedo 0.20

**Meteo data :** E\_N of Thailand, Synthetic Hourly data

**Simulation variant :** Two axis tracking  
 Simulation date 24/04/11 14h40

### Simulation parameters

<b>Tracking plane, two axis</b>	Minimum Tilt	10°	Maximum Tilt	80°
Rotation Limitations	Minimum Azimuth	-80°	Maximum Azimuth	80°
<b>Horizon</b>	Free Horizon			
<b>Near Shadings</b>	No Shadings			
<b>PV Array Characteristics</b>				
<b>PV module</b>	Si-poly	Model	<b>alfasolar 170 P/175</b>	
		Manufacturer	AlfaSolar	
Number of PV modules		In series	34 modules	In parallel 175 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	5950	Unit Nom. Power 175 Wp
Array global power		Nominal (STC)	<b>1041 kWp</b>	At operating cond. 900 kWp (55°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	526 V	I mpp 1711 A
Total area		Module area	<b>7521 m<sup>2</sup></b>	
<b>Inverter</b>				
		Model	<b>GT 500E</b>	
		Manufacturer	Xantrex	
Characteristics		Operating Voltage	450-880 V	Unit Nom. Power 500 kW AC
Inverter pack		Number of Inverter	2 units	Total Power 1000 kW AC
<b>PV Array loss factors</b>				
Thermal Loss factor	Uc (const)	29.0 W/m <sup>2</sup> K	Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K / m/s
=> Nominal Oper. Coll. Temp. (G=800 W/m <sup>2</sup> , Tamb=20°C, Wind velocity = 1m/s.)	NOCT	45 °C		
Wiring Ohmic Loss	Global array res.	5.2 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Array Soiling Losses			Loss Fraction	1.5 %
Module Quality Loss			Loss Fraction	1.5 %
Module Mismatch Losses			Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Parameter	0.05
<b>System loss factors</b>				
AC wire loss inverter to transfo	Inverter voltage	315 Vac tri		
	Wires	10 m 3x5000 mm <sup>2</sup>	Loss Fraction	0.8 % at STC
External transformer	Iron loss	1019 W	Loss Fraction	0.1 % at STC
	Resistive/Inductive losses	0.5 mOhm	Loss Fraction	0.5 % at STC

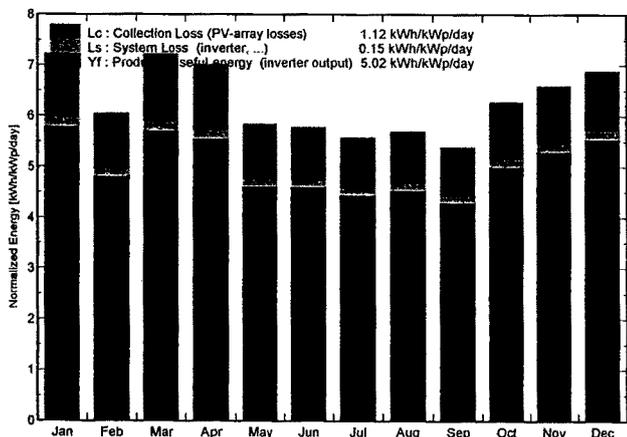
### Grid-Connected System: Main results

**Project :** EN thailand  
**Simulation variant :** Two axis tracking

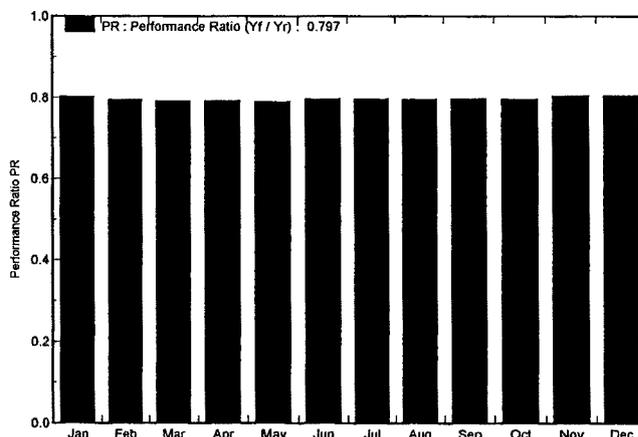
<b>Main system parameters</b>		<b>System type</b>	<b>Grid-Connected</b>	
PV Field Orientation		Tracking two axis		
PV modules		Model	alfasolar 170 P/175	Pnom 175 Wp
PV Array		Nb. of modules	5950	Pnom total <b>1041 kWp</b>
Inverter		Model	GT 500E	Pnom 500 kW ac
Inverter pack		Nb. of units	2.0	Pnom total <b>1000 kW ac</b>
User's needs		Unlimited load (grid)		

**Main simulation results**  
**System Production**                      **Produced Energy** **1907 MWh/year**      **Specific prod.** 1832 kWh/kWp/year  
**Performance Ratio PR** 79.7 %

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1041 kWp



Performance Ratio PR



**Two axis tracking**  
**Balances and main results**

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	T Amb °C	GlobInc kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	EArray kWh	E_Grid kWh	EffArrR %	EffSysR %
January	146.6	23.10	224.0	221.0	192833	187029	11.45	11.10
February	132.7	25.00	169.3	166.4	144431	140230	11.34	11.01
March	174.2	26.20	223.8	220.3	189986	184353	11.29	10.95
April	172.0	26.70	210.3	206.8	178622	173384	11.30	10.96
May	154.6	26.90	180.9	177.4	153379	148799	11.27	10.94
June	150.3	26.50	173.3	169.8	148155	143784	11.36	11.03
July	152.9	26.20	172.9	169.0	147806	143445	11.37	11.03
August	153.0	26.10	176.4	172.8	150706	146211	11.36	11.02
September	138.3	25.70	161.6	158.2	138212	134114	11.37	11.04
October	145.9	24.50	194.6	191.7	166525	161401	11.38	11.03
November	138.3	22.80	197.8	194.9	170677	165565	11.48	11.13
December	140.8	21.80	213.6	210.7	184642	179046	11.50	11.15
Year	1799.5	25.12	2298.4	2259.0	1965974	1907362	11.37	11.03

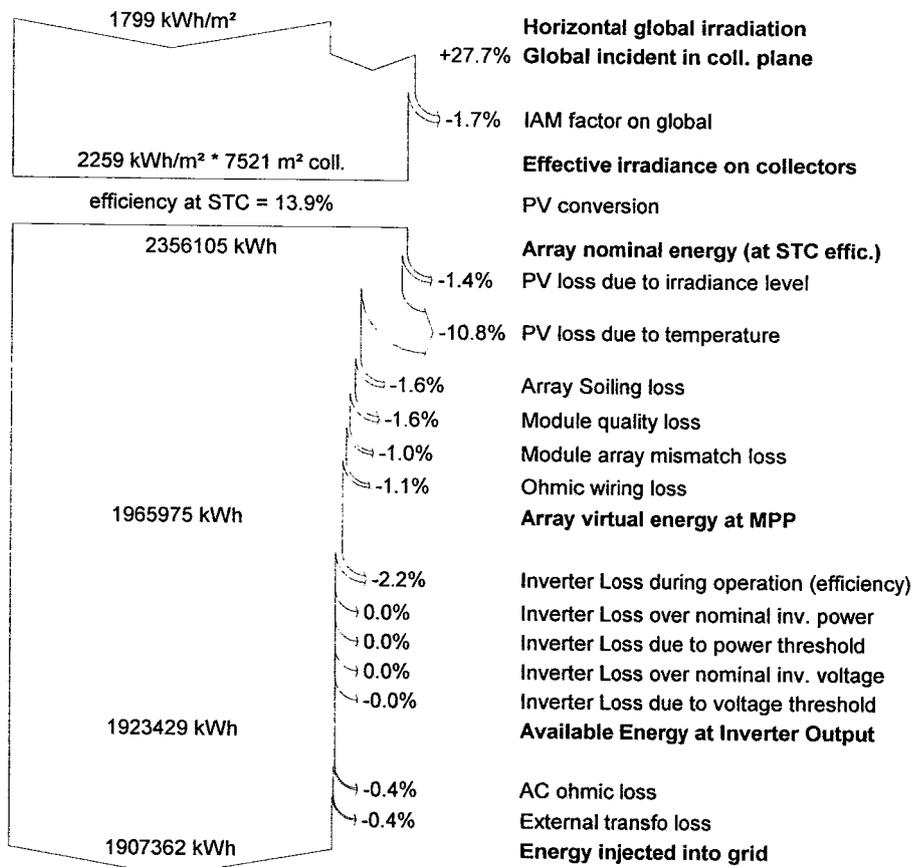
Legends:    GlobHor    Horizontal global irradiation                      EArray    Effective energy at the output of the array  
               T Amb    Ambient Temperature                                    E\_Grid    Energy injected into grid  
               GlobInc    Global incident in coll. plane                      EffArrR    Effic. Eout array / rough area  
               GlobEff    Effective Global, corr. for IAM and shadings    EffSysR    Effic. Eout system / rough area

### Grid-Connected System: Loss diagram

**Project :** EN thailand  
**Simulation variant :** Two axis tracking

<b>Main system parameters</b>	<b>System type</b> Grid-Connected	
PV Field Orientation	Tracking two axis	
PV modules	Model	alfasolar 170 P/175 Pnom 175 Wp
PV Array	Nb. of modules	5950 Pnom total <b>1041 kWp</b>
Inverter	Model	GT 500E Pnom 500 kW ac
Inverter pack	Nb. of units	2.0 Pnom total <b>1000 kW ac</b>
User's needs	Unlimited load (grid)	

#### Loss diagram over the whole year



ภาคผนวก ค  
บทความทางวิชาการ

# การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการ ครั้งที่ 3

## “รูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย”

3<sup>rd</sup> Thailand Renewable Energy for Community Configuration Conference

15-17 ธันวาคม 2553

### กลุ่มของสาขาบทความ

กลุ่มที่ 1 เทคโนโลยีพลังงานชุมชน

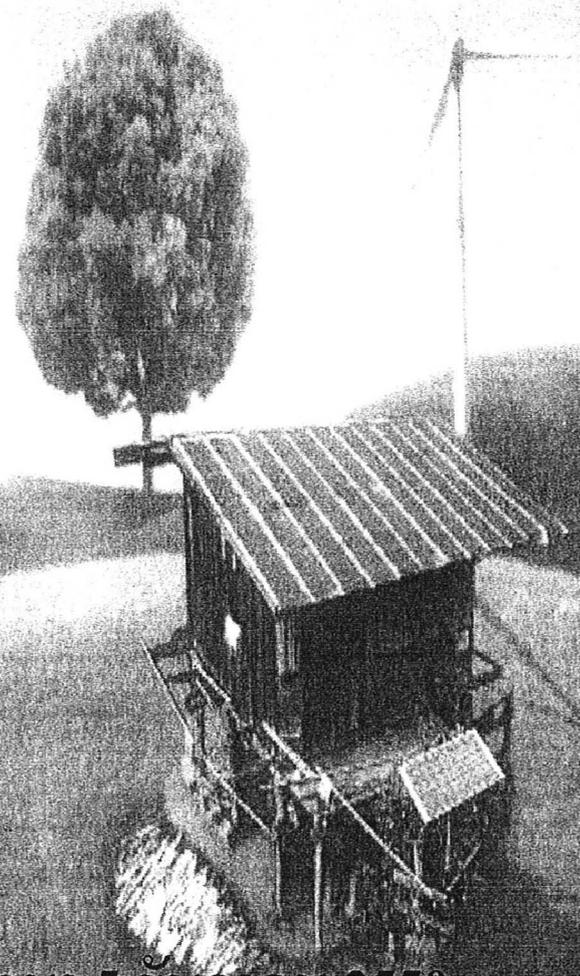
กลุ่มที่ 2 การจัดการพลังงานชุมชน

กลุ่มที่ 3 ธุรกิจพลังงานชุมชน

กลุ่มที่ 4 กลยุทธ์การพัฒนาพลังงานชุมชน

ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



## การเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ และแบบติดตั้งอยู่กับที่ขนาด 1 MW

### Performance Comparison of Fixing and Tracking 1 MW PV Power Plant

กฤษฎี มั่นศิริ นิพนธ์ เกตุจ้อย\*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทร 0-5596-3381 โทรสาร 0-5596-3381 E-mail: niponk@nu.ac.th

Corresponding author

EM009

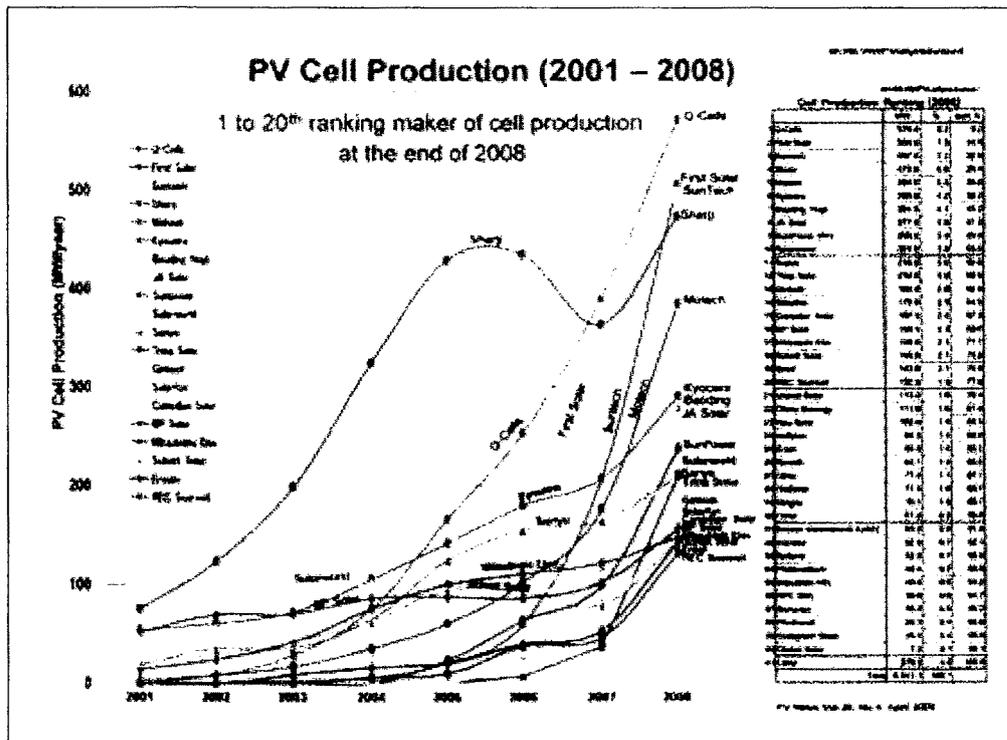
#### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอผลการประเมินสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่ขนาด 1 MW ภายใต้สภาวะแวดล้อมในประเทศไทย โดยใช้โปรแกรม PVSYS5 ในการประเมิน โดยจะทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW ทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย คือ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ภาคใต้ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ประกอบในการประเมินประกอบด้วย รังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาค อุณหภูมิแวดล้อม แผงเซลล์แสงอาทิตย์สองชนิดคือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และข้อมูลสมรรถนะของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งผลจากการประเมินพบว่า โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ขนาด 1 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,726 kWh/kWp.year และ 1,675 kWh/kWp.year ตามลำดับ และ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ขนาด 1 MW ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ยเท่ากับ 1,426 kWh/kWp.year และ 1,370 kWh/kWp.year ตามลำดับ จากข้อมูลเฉลี่ยในทุกภูมิภาคพบว่าโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 21 และเมื่อเปรียบเทียบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด amorphous และแบบ crystalline พบว่า โรงไฟฟ้าที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน คิดเป็นร้อยละ 4.12 ส่วนภูมิภาคที่มีศักยภาพมากที่สุดคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ตามลำดับ

คำสำคัญ: สมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์, โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์, โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่

#### 1. บทนำ

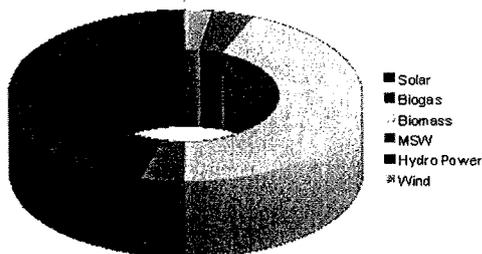
ในปัจจุบันปัญหาเรื่องการขาดแคลนพลังงานเริ่มที่จะทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา สาเหตุหลักเป็นเพราะการเจริญเติบโตของธุรกิจ สังคม และ การเพิ่มขึ้นของประชากรโลก ผลที่ตามมาคือความต้องการพลังงานที่สูงมาก แต่ในขณะเดียวกันแหล่งพลังงานฟอสซิลสำรองของโลก ลดน้อยลงและกำลังจะหมดไปในอนาคตอันใกล้นี้ ด้วยปัจจัยดังกล่าวทุกประเทศในโลกล้วนที่จะแสวงหาหนทางพึ่งพาตัวเองจากแหล่งพลังงานที่ไม่มีวันหมด และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นคือพลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานจากรังสีอาทิตย์ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของโลกจึงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในรอบ 10 ปี ที่ผ่านมา สามารถแสดงดังรูปที่ 1



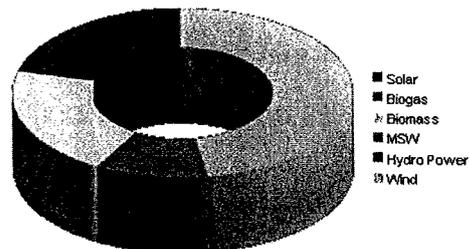
รูปที่ 1 การเพิ่มของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

ประเทศไทยเองมีการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นเมื่อสิ้นปี 2552 ประเทศไทยติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปแล้วประมาณ 35 MW ส่วนหนึ่งได้รับการส่งเสริมจากกระทรวงพลังงานโดยการให้แรงจูงใจแก่ผู้ประกอบการที่สนใจจะผลิตไฟฟ้าด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กมาก (VSPP) คือ รัฐบาลโดยกระทรวงพลังงานจะเพิ่มราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจากราคาค่าไฟฟ้าปกติทำให้การลงทุนผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์คุ้มทุนมากขึ้นจากการสนับสนุนจากภาครัฐดังกล่าวส่งผลให้มีผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องยื่นคำร้องเพื่อขอผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และได้รับการตอบรับถึง 1,063 MW และติดตั้งแล้วเสร็จ 11 MW (ข้อมูลเมื่อเดือน เมษายน 2553) [2] ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นในประเทศไทยดังแสดงในรูปที่ 2

**VSPP total register to sell**  
5,111.147 MW



**SPP total register to sell**  
3,107.300 MW



รูปที่ 2 สัดส่วนการยื่นขอผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบ VSPP และ SPP [2]

ถึงแม้จะมีนโยบายจูงใจให้เกิดการลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แต่ระยะเวลาการคืนทุนของระบบยังมีระยะเวลานาน อีกวิธีหนึ่งที่สามารถจะลดระยะเวลาการคืนทุน เพิ่มความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์คือ การเพิ่มความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ในต่างประเทศ เช่น เยอรมัน สเปน อเมริกา เป็นต้น ประเทศเหล่านี้เพิ่มขีดความสามารถของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ด้วยการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาทั้งวันและสามารถผลิตไฟฟ้าได้ตลอดเวลาทั้งวันเช่นกัน ส่งผลให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะทำการเปรียบเทียบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่

## 2. วัตถุประสงค์

เพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย และ ทราบถึงสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด อะมอร์ฟัส และ ชนิดผลึกซิลิกอน

## 3. วิธีดำเนินการประเมิน

รวบรวมข้อมูลรังสีอาทิตย์และข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนในแต่ละภูมิภาค แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ป้อนเข้าโปรแกรม PVSYST 5 เพื่อทำการ Simulation เมื่อได้ผลจากการ Simulation นำตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของโรงไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW มาเปรียบเทียบกันเพื่อวิเคราะห์และสรุปผล

## 4. สมมุติฐานและข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน [3] [4] [5]

4.1 ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยจะเหมือนกันซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับการ Simulation แสดงดังนี้

### Thermal Parameter

- NOCT coefficient :  $45^{\circ}\text{C}$  (Free mounted modules with air circulation)
- Constant loss factor :  $29\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

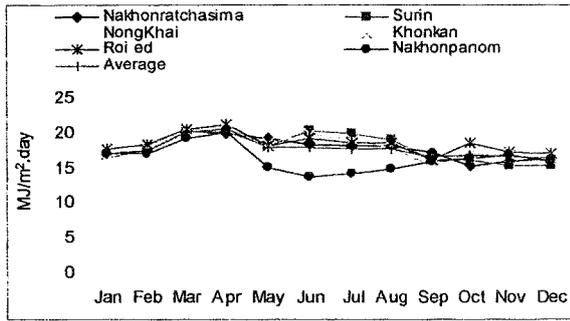
### Ohmic Losses

- Global wiring resistance  $7.0\text{ mOhm}$
- Loss fraction STC  $1.8\%$
- Length Inverter to injection  $10\text{ m}$  (size  $1200\text{ mm}^2$ )
- External transformer iron loss  $0.1\%$
- Resistive/Inductive losses  $1\%$  at STC

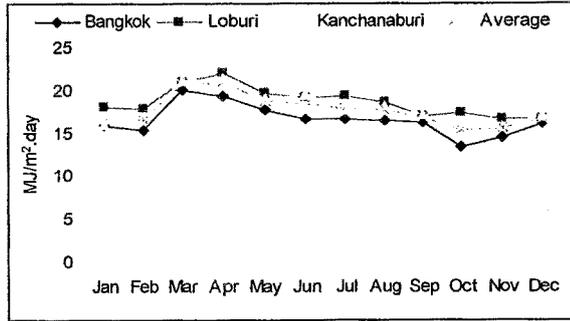
### Module Quality - Mismatch

- Module efficiency loss  $2.5\%$
- Power loss at MPP  $2\%$
- Loss when running at fixed voltage  $1.5\%$

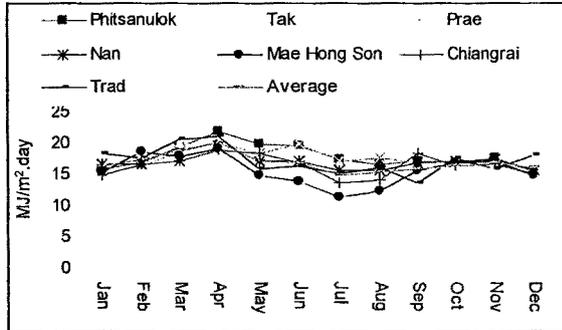
4.2 ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคที่ใช้ในการพิจารณา  
ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคแสดงดังรูป 3



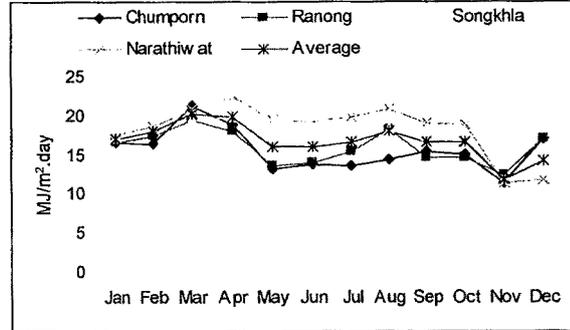
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



ภาคกลาง



ภาคเหนือ



ภาคใต้

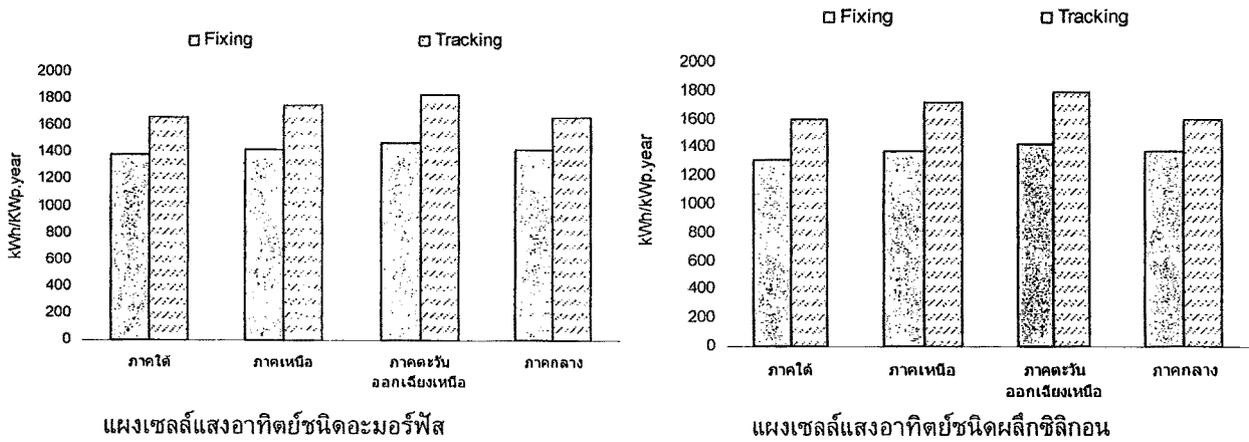
รูปที่ 3 ค่ารังสีอาทิตย์ในแต่ละภูมิภาคในประเทศไทย

### 5. ผลการประเมิน

ผลการ Simulation พบว่าโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW ทั้ง แบบติดตั้งอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนเจือยร้อยละ 4.12 และค่าสมรรถนะของระบบ  $\eta$  ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสจะมีค่าสูงกว่าระบบ  $\eta$  ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน เจือยร้อยละ 4.10 ซึ่งข้อมูลทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองระบบ  $\eta$  ในแต่ละภูมิภาคสามารถสรุปได้แสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบข้อมูลทางด้านเทคนิคของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบ

ภูมิภาค	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่				ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์			
	Final Yield, Yf (kWh/kWp.year)		Performance Ratio, PR		Final Yield, Yf (kWh/kWp.year)		Performance Ratio, PR	
	Amorphous	Crystalline	Amorphous	Crystalline	Amorphous	Crystalline	Amorphous	Crystalline
ภาคใต้	1,382	1,313	81.00	77.00	1,660	1,598	80.80	77.80
ภาคเหนือ	1,426	1,373	79.90	76.90	1,754	1,716	79.50	77.70
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	1,476	1,422	79.30	76.40	1,829	1,786	78.90	77.10
ภาคกลาง	1,421	1,372	79.20	76.50	1,660	1,598	80.80	77.80



รูปที่ 4 เปรียบเทียบ Final Yield ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองแบบ

หมายเหตุ: Final Yield, Yf คือ พลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จริง  
Performance Ratio, PR คือ สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการ Simulation พบว่า โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 21 ซึ่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีศักยภาพมากกว่าภูมิภาคอื่น ๆ ตามลำดับดังแสดงในตาราง

## 6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการ Simulation พบว่า โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยในแต่ละภูมิภาคได้มากกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 21 และเมื่อเปรียบเทียบโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด amorphous และแบบ crystalline พบว่า โรงไฟฟ้าที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าโรงไฟฟ้าที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน คิดเป็นร้อยละ 4.12 ส่วนภูมิภาคที่มีศักยภาพมากที่สุดคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ ตามลำดับ

## 7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนโครงการ การศึกษาและพัฒนาระบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในประเทศไทย ประจำปีงบประมาณ 2553

## เอกสารอ้างอิง

- [1] PV News., Vol. 28 , No.4, April 2009.
- [2] Wuthipong S., "Thailand and Solar Technology Mission to Fraunhofer Institute of Solar Energy" Leonics advanced power Technology. 2010.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. "ข้อมูลรังสีอาทิตย์ในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย" 2552.
- [4] Kritwiput P., Nipon K., Wattanapong R., and Suchat YPerformance of a-Si, p-Si, and HIT PV technology comparison under tropical wet climate condition. International journal of renewable energy, vol 2, 23 – 34. 2007.

## การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบ ติดตั้งอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

### Temperature effect comparison on electricity production of fixing and tracking PV system

พีรพัฒน์ คำเกิด นินพนธ์ เกตุจ้อย

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

โทร 0-5596-3381 โทรสาร 0-5596-3381 E-mail: niponk@nu.ac.th

Corresponding author

#### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ในการทดสอบได้ทำการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon) ขนาด 125 วัตต์ บนระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน ประกอบด้วย Azimuth และ Elevation และแบบติดตั้งอยู่กับที่ (หันหน้าไปทางทิศใต้ ทำมุมเอียง 17 องศา กับแนวราบ) ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งตัวแปรที่ทำการศึกษารวมประกอบด้วย ค่ารังสีอาทิตย์ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม ซึ่งตรวจวัดค่าด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล โดยทำการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลา 8.00 - 18.00 น. จากนั้นวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield,  $Y_r$ ) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield,  $Y_A$ ) ผลจากการวิจัยพบว่า อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 33.14 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 55.24 องศาเซลเซียส แบบติดตั้งอยู่กับที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 47.84 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 22.10 และ 14.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่ คิดเป็นร้อยละ 15.47 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี เท่ากับ 8.52 และ 6.21 kWh/kWp.d พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 6.71 และ 4.95 kWh/kWp.d พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 35.64 จากข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่แต่ก็มีผลทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นเท่ากับ 1.8 kWh/kWp.d และ 1.2 kWh/kWp.d ตามลำดับ

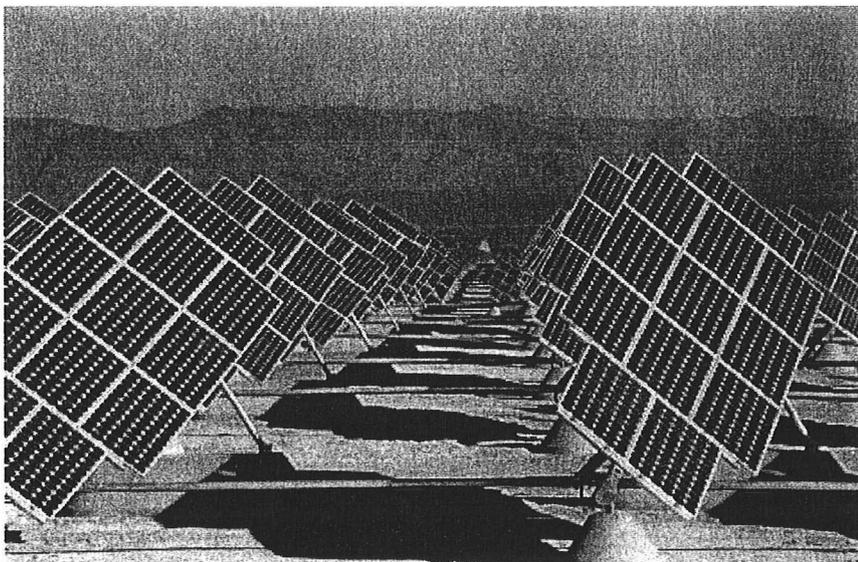
คำสำคัญ: ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์, อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์, การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันในประเทศไทยได้มีการลงทุนในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น โดยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ ส่งผลให้ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องยื่นคำร้องเพื่อขอผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และได้รับการตอบรับถึง 1,063 MW และติดตั้งแล้วเสร็จ 11 MW (ข้อมูลเดือน เมษายน 2553) [1] แต่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีต้นทุนที่สูงอยู่มาก โดยเกือบทั้งหมดเป็นระบบแบบติดตั้งอยู่กับที่ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์

เป็นทางเลือกหนึ่ง ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน ซึ่งส่งผลให้ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นตามไปด้วย ทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จูงใจต่อการลงทุน ทำให้มีผู้ประกอบการลงทุนเพิ่มมากขึ้น

เป็นที่ทราบกันดีว่าเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์จะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด กับสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และท้องฟ้าปลอดโปร่ง ซึ่งสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่มีความชื้นและอุณหภูมิค่อนข้างสูง โดยในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ จะสามารถรับพลังงานแสงได้ตลอดทั้งวัน แต่อุณหภูมิในแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงขึ้นซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจึงลดลงตามไปด้วย อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในระบบมอเตอร์หรือแหล่งต้นกำลังในการขับเคลื่อนระบบ แต่จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาวิจัยที่จริงจังในเรื่องดังกล่าว



รูปที่ 1 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ [2]

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะและเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิ ที่มีผลต่อผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ แบบสองแกนประกอบด้วย Azimuth และ Elevation [7] ทดสอบในประเด็นของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเนื่องด้วยรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นต่อค่าการผลิตไฟฟ้า และประเมินสมรรถนะของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมซิลิคอน [4-6] ด้วยวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์ที่อาศัยฐานข้อมูลและการทดสอบ

ซึ่งผลศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง ดังกล่าวจะได้นำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการพิจารณาการลงทุนติดตั้งโรงไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในประเทศไทยต่อไปในอนาคต

## 2. การประเมินสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

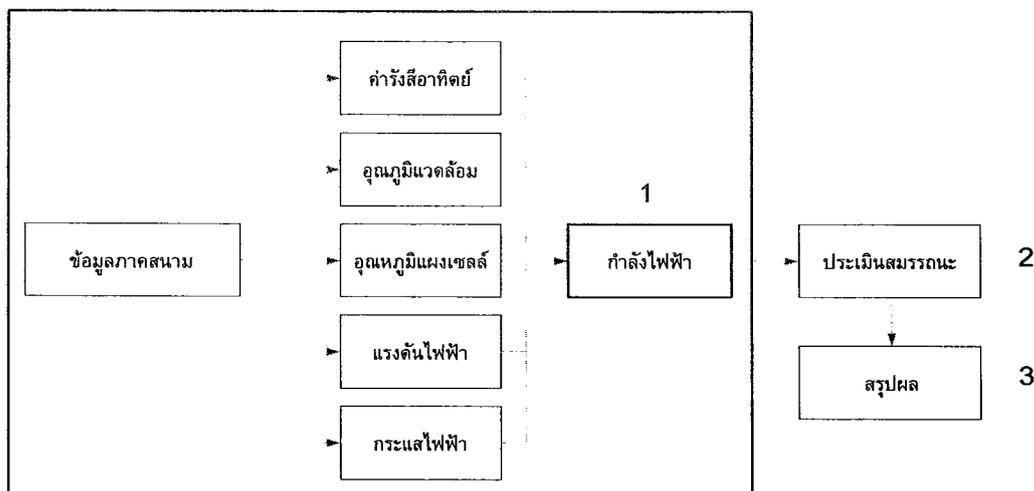
### 2.1 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

สำหรับกระบวนการศึกษาเพื่อประเมินสมรรถนะมี 3 ขั้นตอนดังนี้ คือ

ขั้นแรก ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการเก็บภาคสนาม เพื่อทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ เปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิแวดล้อม ของระบบติดตั้งอยู่กับที่ และระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเทคโนโลยีผลึกรวมซิลิคอนของทั้งสองระบบ

ขั้นที่สอง ทำการประมวลผลเพื่อหาค่าสมรรถนะของระบบ

ขั้นสุดท้าย ทำการเปรียบเทียบและประเมินผล



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการศึกษาประเมิน

## 2.2 รายละเอียดเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะได้ทำการเก็บข้อมูลจากการติดตั้งใช้งานจริงบริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ในช่วงเดือนกรกฎาคม ปี 2553 มีรายละเอียดดังนี้

เทคโนโลยี      ผลีกรวมซิลิคอน  
 ขนาดแผง      0.64 m<sup>2</sup>  
 กำลังติดตั้ง    125 W  
 ประสิทธิภาพ    13-16 %

## 2.3 อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลภาคสนาม

การสร้างสมการเพื่อประเมินค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยเก็บข้อมูลทำการเก็บข้อมูลรังสีอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิแผง ด้วยอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) และข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ด้วยอุปกรณ์ วิเคราะห์ระบบ (PV analyzer) สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิแผงเซลล์และประสิทธิภาพ

### ตารางที่ 1 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

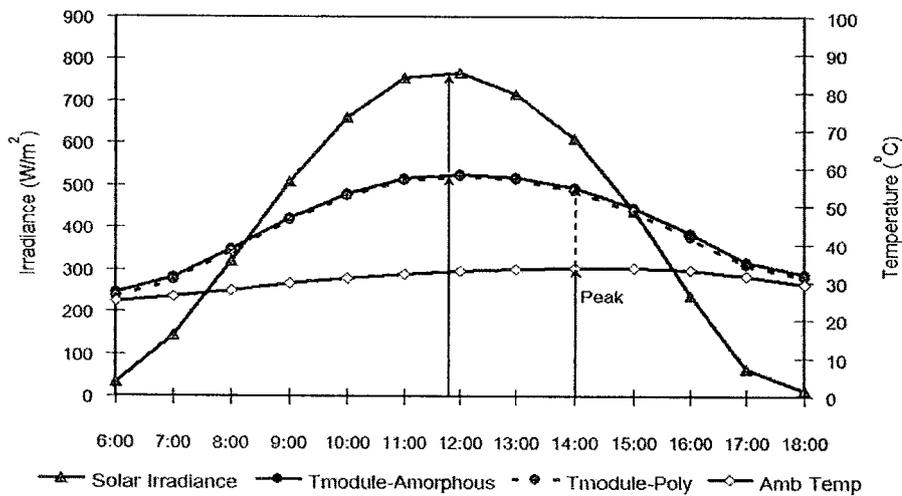
อุปกรณ์	การใช้งานและข้อมูลที่ทำการวัด
Pyranometer	วัดค่ารังสีอาทิตย์
Data logger	บันทึกข้อมูล อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์, อุณหภูมิแวดล้อม และค่ารังสีอาทิตย์
PV analyzer	เก็บข้อมูล $V_{oc}$ , $I_{sc}$
2-axis tracker	ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน Azimuth และ Elevation
fixing	ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งอยู่กับที่
Thermocouple	สายสัญญาณใช้ในการเก็บข้อมูล

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำนายพลังงานไฟฟ้า

การวิเคราะห์แยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ เพื่อหาค่าอุณหภูมิแผงที่สูงขึ้นเมื่อได้รับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น และส่วนของการทำนายค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อแผงเซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้น

#### 3.1 การทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์

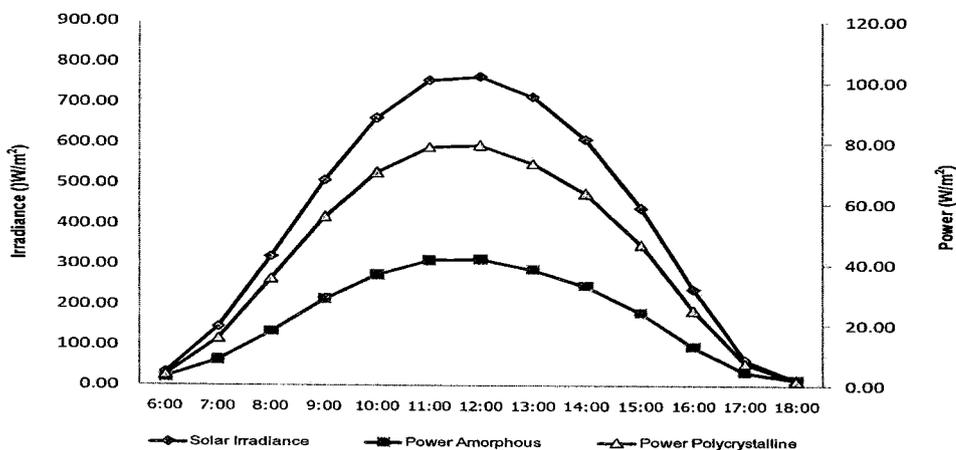
การทำนายค่าอุณหภูมิแผงเซลล์พบความสัมพันธ์เนื่องจากค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม ดัง รูปที่ 3 สังเกตได้ว่าอุณหภูมิแผงสอดคล้องไปในทางเดียวกันกับค่ารังสีอาทิตย์ แต่จะลดลงในอัตราที่ช้ากว่าอันเนื่องมาจากการเก็บสะสมความร้อนในวัสดุ และอัตราการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมที่ช้ากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเช้า อันเนื่องจากอุณหภูมิอากาศโดยรอบที่สูงในช่วงบ่ายซึ่งขึ้นสูงสุดในช่วงประมาณ 14.00 น. และพบว่าค่าอุณหภูมิแผงอาจสูงขึ้นไปถึง 60 องศาเซลเซียส หรือกว่า 35 องศาเซลเซียสจากอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าลดลง [3]



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ของค่ารังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผงเซลล์และอุณหภูมิแวดล้อม [3]

#### 3.2 การทำนายค่ากำลังไฟฟ้า

ในการทำนายค่าการผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อแผงเซลล์ได้รับความร้อนเนื่องจากการรับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น [3] จากการพิจารณารูปแบบของการเกิดอุณหภูมิแผงเซลล์ในแต่ละช่วงรังสีอาทิตย์กับค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์ดังรูปที่ 4 พบว่ากรณีนี้ที่ค่ารังสีอาทิตย์ต่ำ ซึ่งเป็นช่วงเช้าและเย็นของวัน แผงเซลล์จะมีประสิทธิภาพสูงและลดลงเมื่อค่ารังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งจะมีประสิทธิภาพคงที่ทั้งสองเทคโนโลยี



รูปที่ 4 แสดงค่ารังสีอาทิตย์และกำลังที่ผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

### 3.3 การประมาณค่าสมรรถนะระบบตามมาตรฐาน [4-6]

การประเมินสมรรถนะทางเทคนิคของระบบจะอ้างอิงจากมาตรฐาน International Energy Agency Implement on Photovoltaic Power Systems operational Performance of PV Systems and Subsystems (IEA PVPS Task 2) [4-6] โดยเลือกประเมินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield,  $Y_r$ ) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield,  $Y_a$ ) และ ค่าพลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses,  $L_c$ ) ซึ่งมีสมการ คือ

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{stc}} \quad (1)$$

$$Y_a = \frac{E_a}{P_o} \quad (2)$$

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (3)$$

เมื่อ

$Y_r$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

$Y_a$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

$E_a$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

$P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

$H_i$  คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/m}^2$ )

$G_{stc}$  คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC เท่ากับ  $1 \text{ kW/m}^2$

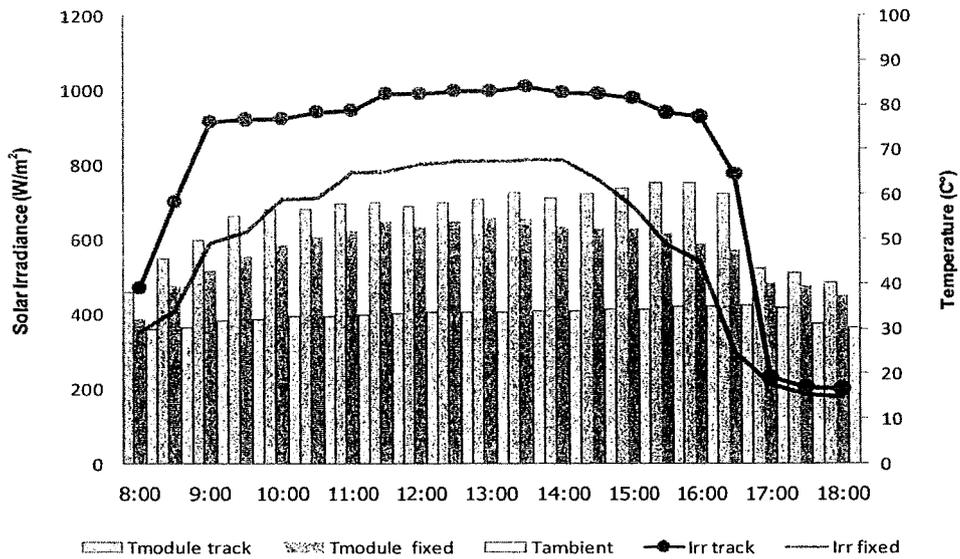
$L_c$  คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

## 4. ผลการศึกษา

เมื่อทำการประเมินด้วยสมการที่ได้กับข้อมูลรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิจากข้อมูลการติดตั้งใช้งานจริง ช่วงเดือนกรกฎาคม 2553 บริเวณสวนพลังงาน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ในช่วงเวลาตั้งแต่ 8.00-18.00 น. ได้ข้อมูลดังนี้

### 4.1 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

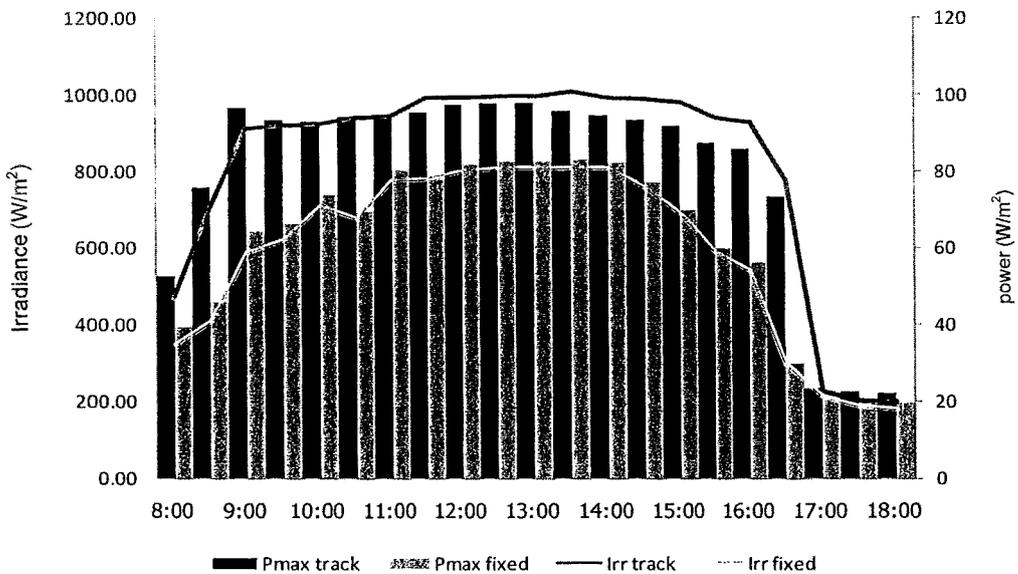
พบว่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยเท่ากับ 33.14 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 55.24 องศาเซลเซียส แบบติดตั้งอยู่กับที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 47.84 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเท่ากับ 22.10 และ 14.70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่ คิดเป็นร้อยละ 15.47



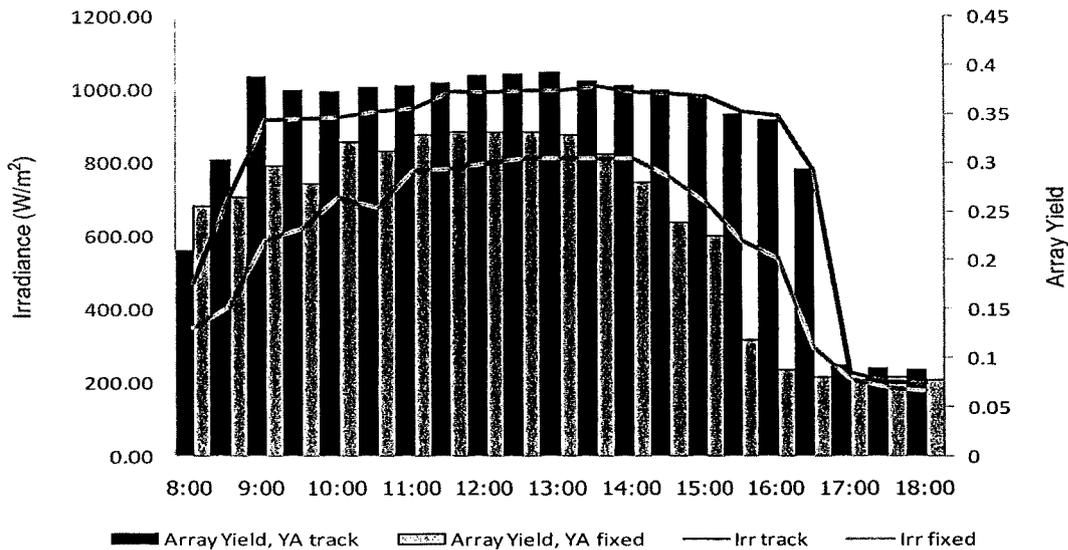
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของค่ารังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผงเซลล์และอุณหภูมิแวดล้อม

#### 4.2 พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี เท่ากับ 8.52 และ 6.21 kWh/kWp.d พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 6.71 และ 4.95 kWh/kWp.d พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 35.64



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า และค่ารังสีอาทิตย์ กับเวลาจากการทดสอบ



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง และค่ารังสีอาทิตย์ จากการทดสอบ

### 5. สรุปผลการศึกษา

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 6.71 และ 4.95 kWh/kWp.d พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่คิดเป็นร้อยละ 35.64 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่าแบบติดตั้งอยู่กับที่ แต่ก็มีผลทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เป็นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น เท่ากับ 1.8 kWh/kWp.d และ 1.2 kWh/kWp.d ตามลำดับ

### 6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาระดับปริญญาเอก โดยทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา โครงการเครือข่ายเชิงกลยุทธ์เพื่อการผลิตและพัฒนาอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2551 และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนโครงการ การศึกษาพัฒนาระบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สำหรับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในประเทศไทย ประจำปีงบประมาณ 2553

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Wuthipong S., "Thailand and Solar Technology Mission to Fraunhofer Institute of Solar Energy" Leonic advanced power Technology. 2010.
- [2] สืบค้นใน <http://www.navadarenewables.org/?section=photos&id=1186> วันที่ 3 กันยายน 2552
- [3] ยุทธนา ทองท้วม และนิพนธ์ เกตุจ้อย. การประเมินสมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อุปกรณ์สะท้อนและติดตามรังสีอาทิตย์แกนเดียว. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 6, 2553.
- [4] นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการ การประเมินผลโครงการสาธิตระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า เรือนจากกลางบางขวาง จังหวัดนนทบุรี. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [5] International Energy Agency Implement of Photovoltaic Power Systems Operational Performance of PV Systems and Subsystems (IEA PVPS Task2)
- [6] D Mayer1, M Heidenreich,C.S.(2003), Performance analysis of stand alone PV systems from a rational use of energy point of view, World conference on photovoltaic Energy Conversion,(3),pp 2155-2158



