

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลการคำนวณหาขนาดของใบกึ่งหน้า

ก.1. ผลการคำนวณหาขนาดของกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตารางที่ ก.1 ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
1	4	0.03	2800	0.05	0.025	34.43	24.85	55	90	1176.35	99.93
2	4	0.035	2400	0.05	0.025	48.46	32.23	55	90	1372.41	99.93
3	4	0.04	2800	0.055	0.0275	32.37	24.89	60	90	1567.59	99.87
4	4	0.035	2200	0.055	0.0275	42.37	27.33	50	90	1370.53	99.79
5	4	0.035	2400	0.06	0.03	27.74	20.04	50	90	1370.53	99.79
6	4	0.025	2800	0.05	0.025	29.72	21.11	50	90	978.95	99.79
7	4	0.04	2100	0.06	0.03	38.45	25.48	50	90	1566.32	99.79
8	4	0.035	2300	0.06	0.036	30.60	22.70	55	90	1370.02	99.75
9	4	0.035	2900	0.05	0.025	36.75	27.55	60	90	1367.36	99.56
10	4	0.04	2300	0.055	0.0275	43.06	29.46	55	90	1561.67	99.50
11	4	0.04	1900	0.065	0.0325	35.27	22.50	45	90	1558.97	99.32
12	4	0.03	2700	0.05	0.03	37.20	27.82	60	90	1169.13	99.31
13	4	0.025	2200	0.055	0.0385	35.77	25.59	55	90	972.51	99.13
14	4	0.04	2000	0.06	0.036	41.79	28.80	55	90	1556.02	99.13
15	4	0.04	2500	0.06	0.03	29.08	21.82	55	90	1556.02	99.13
16	4	0.02	2500	0.05	0.035	33.20	24.17	55	90	778.01	99.13
17	4	0.03	2000	0.06	0.042	36.46	25.96	55	90	1167.01	99.13
18	4	0.035	2000	0.06	0.03	37.91	23.64	45	90	1361.11	99.11
19	4	0.025	3000	0.05	0.035	30.87	25.05	65	90	971.47	99.03
20	4	0.03	2500	0.05	0.035	44.45	33.95	65	90	1165.77	99.03
21	4	0.04	2500	0.05	0.03	49.65	37.23	65	90	1554.36	99.03

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
22	4	0.04	2500	0.06	0.024	29.43	20.95	50	90	1553.89	99.00
23	4	0.03	3200	0.05	0.035	33.04	27.74	70	90	1164.70	98.94
24	4	0.04	2400	0.05	0.035	54.79	43.07	70	90	1552.94	98.94
25	4	0.04	3200	0.05	0.03	37.14	30.70	70	90	1552.94	98.94
26	4	0.035	2600	0.055	0.0275	32.22	23.62	55	90	1351.61	98.41
27	4	0.035	3000	0.055	0.0385	30.92	26.18	70	90	1351.10	98.38
28	4	0.04	3100	0.05	0.025	37.01	29.15	65	90	1541.92	98.24
29	4	0.03	3300	0.05	0.02	27.03	20.60	55	90	1155.34	98.14
30	4	0.025	3200	0.05	0.03	25.28	20.36	60	90	962.25	98.09
31	4	0.03	2200	0.055	0.0385	40.70	29.89	60	90	1154.70	98.09
32	4	0.04	2100	0.07	0.049	26.67	21.28	60	90	1539.60	98.09
33	4	0.04	2200	0.055	0.033	46.05	32.97	60	90	1539.60	98.09
34	4	0.04	2400	0.06	0.036	31.91	24.61	60	90	1539.60	98.09
35	4	0.04	2500	0.05	0.025	49.03	34.67	60	90	1539.60	98.09
36	4	0.04	3000	0.05	0.02	38.97	28.87	60	90	1539.60	98.09
37	4	0.02	3000	0.05	0.035	25.50	20.50	60	90	769.80	98.09
38	4	0.025	2400	0.05	0.035	41.41	30.30	60	90	962.25	98.09
39	4	0.03	2400	0.06	0.042	27.92	22.09	60	90	1154.70	98.09
40	4	0.03	3300	0.05	0.03	28.40	23.35	65	90	1154.11	98.04
41	4	0.03	2200	0.06	0.036	28.67	20.55	50	90	1153.76	98.01
42	4	0.035	2500	0.055	0.033	35.07	26.55	60	90	1339.50	97.53
43	4	0.04	2400	0.065	0.0455	27.96	23.05	65	90	1530.45	97.51

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
44	4	0.04	2600	0.055	0.0385	40.32	32.96	70	90	1529.41	97.44
45	4	0.035	2700	0.05	0.035	44.68	36.02	70	90	1337.59	97.39
46	4	0.03	2400	0.055	0.033	32.97	24.04	55	90	1145.79	97.33
47	4	0.04	2700	0.055	0.022	34.19	24.72	55	90	1527.73	97.33
48	4	0.03	2700	0.055	0.0385	30.93	25.09	65	90	1144.57	97.23
49	4	0.04	2700	0.055	0.033	35.05	27.86	65	90	1526.10	97.23
50	4	0.025	2400	0.055	0.033	28.38	20.39	50	90	953.52	97.20
51	4	0.03	2500	0.055	0.0275	30.08	21.29	50	90	1144.23	97.20
52	4	0.04	3200	0.05	0.035	40.81	35.04	75	90	1524.33	97.12
53	4	0.03	3300	0.05	0.025	26.95	21.45	60	90	1143.15	97.11
54	4	0.035	2800	0.05	0.03	39.38	30.70	65	90	1332.86	97.05
55	4	0.03	2900	0.055	0.033	25.13	20.26	60	90	1141.58	96.97
56	4	0.035	2200	0.065	0.0455	27.95	22.11	60	90	1329.88	96.83
57	4	0.04	2200	0.06	0.042	39.16	30.55	65	90	1519.82	96.83
58	4	0.04	1900	0.07	0.042	27.69	20.02	50	90	1518.37	96.74
59	4	0.025	2600	0.05	0.03	33.88	24.55	55	90	948.20	96.66
60	4	0.035	2300	0.055	0.0385	42.46	32.67	65	90	1327.09	96.63
61	4	0.025	2600	0.055	0.0385	27.88	22.06	60	90	947.67	96.60
62	4	0.03	2700	0.05	0.025	35.90	25.66	55	90	1134.34	96.36
63	4	0.04	2700	0.055	0.0275	33.67	25.70	60	90	1511.61	96.31
64	4	0.035	2500	0.06	0.042	29.97	24.44	65	90	1322.28	96.28
65	4	0.025	2700	0.05	0.025	31.08	21.82	50	90	943.99	96.23

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
66	4	0.04	2800	0.06	0.042	29.16	24.88	70	90	1509.80	96.19
67	4	0.035	2800	0.05	0.025	38.15	28.39	60	90	1320.21	96.13
68	4	0.03	2100	0.065	0.0455	26.10	20.04	55	90	1131.10	96.08
69	4	0.04	2100	0.065	0.039	30.05	22.38	55	90	1508.14	96.08
70	4	0.035	2000	0.065	0.039	29.00	20.72	50	90	1317.82	95.95
71	4	0.03	3100	0.05	0.035	34.08	28.50	70	90	1128.31	95.85
72	4	0.04	3100	0.05	0.03	38.27	31.50	70	90	1504.41	95.85
73	4	0.025	2900	0.05	0.035	31.98	25.81	65	90	939.09	95.73
74	4	0.03	2600	0.05	0.03	38.72	28.72	60	90	1125.83	95.64
75	4	0.035	2300	0.06	0.03	29.22	20.84	50	90	1313.42	95.63
76	4	0.04	1900	0.065	0.0455	37.93	28.26	60	90	1500.12	95.57
77	4	0.035	2200	0.06	0.036	32.22	23.62	55	90	1310.46	95.42
78	4	0.035	2000	0.06	0.042	40.21	29.60	60	90	1309.73	95.36
79	4	0.04	2200	0.055	0.0275	45.20	30.56	55	90	1493.78	95.17
80	4	0.03	3200	0.05	0.02	28.02	21.19	55	90	1120.33	95.17
81	4	0.04	1800	0.075	0.0525	26.48	20.27	55	90	1493.78	95.17
82	4	0.04	2400	0.06	0.03	30.49	22.63	55	90	1493.78	95.17
83	4	0.035	2900	0.055	0.0385	31.97	26.96	70	90	1306.06	95.10
84	4	0.03	3200	0.05	0.03	29.33	24.00	65	90	1119.14	95.07
85	4	0.04	2400	0.05	0.03	51.45	38.36	65	90	1492.18	95.07
86	4	0.04	3000	0.05	0.025	38.25	29.96	65	90	1492.18	95.07
87	4	0.03	2400	0.05	0.035	46.17	35.04	65	90	1119.14	95.07

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
88	4	0.04	2000	0.06	0.03	40.78	26.58	50	90	1491.73	95.04
89	4	0.025	3100	0.05	0.03	26.19	20.96	60	90	932.18	95.02
90	4	0.02	2900	0.05	0.035	26.48	21.15	60	90	744.14	94.82
91	4	0.035	2500	0.055	0.0275	33.71	24.45	55	90	1299.63	94.63
92	4	0.035	3000	0.055	0.033	27.32	22.60	65	90	1298.24	94.53
93	4	0.035	3300	0.05	0.02	30.43	23.68	60	90	1296.63	94.41
94	4	0.035	1900	0.07	0.049	27.09	20.64	55	90	1293.44	94.18
95	4	0.03	3200	0.05	0.025	27.88	22.06	60	90	1108.51	94.17
96	4	0.04	2400	0.05	0.025	50.97	35.77	60	90	1478.02	94.17
97	4	0.04	3100	0.05	0.035	41.92	35.90	75	90	1476.70	94.08
98	4	0.03	2300	0.06	0.042	29.27	22.95	60	90	1106.59	94.00
99	4	0.04	2300	0.06	0.036	33.43	25.55	60	90	1475.45	94.00
100	4	0.035	2600	0.05	0.035	46.16	37.06	70	90	1288.05	93.79
101	4	0.04	2500	0.055	0.0385	41.79	33.99	70	90	1470.59	93.69
102	4	0.03	2800	0.055	0.033	26.13	20.92	60	90	1102.21	93.63
103	4	0.035	2400	0.055	0.033	36.64	27.49	60	90	1285.92	93.63
104	4	0.035	3000	0.055	0.0275	25.88	20.75	60	90	1285.92	93.63
105	4	0.03	2600	0.055	0.0385	32.17	25.93	65	90	1102.18	93.63
106	4	0.04	2600	0.055	0.033	36.42	28.77	65	90	1469.58	93.63
107	4	0.035	2700	0.05	0.03	40.81	31.62	65	90	1285.26	93.58
108	4	0.03	2100	0.06	0.036	30.35	21.44	50	90	1101.32	93.55
109	4	0.04	2300	0.065	0.0455	29.25	23.94	65	90	1466.68	93.44

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
110	4	0.04	2000	0.07	0.049	28.16	22.24	60	90	1466.29	93.42
111	4	0.03	2400	0.055	0.0275	31.62	22.10	50	90	1098.46	93.31
112	4	0.03	2300	0.055	0.033	34.62	24.96	55	90	1098.05	93.28
113	4	0.025	2300	0.055	0.033	29.90	21.20	50	90	913.79	93.15
114	4	0.035	2600	0.06	0.036	25.20	20.30	60	90	1276.99	92.98
115	4	0.025	2500	0.05	0.03	35.44	25.41	55	90	911.73	92.94
116	4	0.025	2500	0.055	0.0385	29.12	22.85	60	90	911.22	92.89
117	4	0.03	2600	0.05	0.025	37.47	26.51	55	90	1092.32	92.79
118	4	0.03	3000	0.05	0.035	35.18	29.29	70	90	1091.91	92.75
119	4	0.04	2700	0.06	0.042	30.24	25.68	70	90	1455.88	92.75
120	4	0.04	3000	0.05	0.03	39.45	32.34	70	90	1455.88	92.75
121	4	0.04	2600	0.055	0.0275	35.08	26.55	60	90	1455.62	92.74
122	4	0.035	2700	0.05	0.025	39.64	29.27	60	90	1273.06	92.69
123	4	0.02	2600	0.05	0.03	27.78	20.07	50	90	727.22	92.66
124	4	0.025	2600	0.05	0.025	32.55	22.57	50	90	909.02	92.66
125	4	0.035	2100	0.065	0.0455	29.43	23.05	60	90	1269.43	92.43
126	4	0.035	2200	0.055	0.0385	44.29	33.84	65	90	1269.39	92.43
127	4	0.04	2800	0.06	0.036	25.67	21.44	65	90	1450.73	92.43
128	4	0.025	2800	0.05	0.035	33.16	26.60	65	90	906.71	92.43
129	4	0.035	2400	0.06	0.042	31.28	25.33	65	90	1269.39	92.43
130	4	0.04	2100	0.06	0.042	40.99	31.73	65	90	1450.73	92.43
131	4	0.03	3100	0.05	0.02	29.08	21.81	55	90	1085.32	92.20

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
132	4	0.04	2100	0.065	0.0325	28.67	20.55	50	90	1445.83	92.11
133	4	0.03	3100	0.05	0.03	30.33	24.68	65	90	1084.17	92.10
134	4	0.025	3000	0.05	0.03	27.16	21.59	60	90	902.11	91.96
135	4	0.03	2500	0.05	0.03	40.35	29.68	60	90	1082.53	91.96
136	4	0.04	2900	0.05	0.025	39.55	30.81	65	90	1442.45	91.90
137	4	0.035	2800	0.055	0.0385	33.10	27.78	70	90	1261.03	91.82
138	4	0.04	1800	0.07	0.042	29.59	21.04	50	90	1438.46	91.64
139	4	0.035	3200	0.05	0.02	31.48	24.34	60	90	1257.34	91.55
140	4	0.02	2800	0.05	0.035	27.53	21.83	60	90	718.48	91.55
141	4	0.04	2000	0.065	0.039	31.80	23.38	55	90	1436.32	91.51
142	4	0.035	3300	0.05	0.025	30.25	24.63	65	90	1256.70	91.50
143	4	0.035	2200	0.06	0.03	30.86	21.70	50	90	1256.32	91.48
144	4	0.035	2900	0.055	0.022	26.95	20.56	55	90	1256.31	91.47
145	4	0.035	2900	0.055	0.033	28.32	23.30	65	90	1254.97	91.38
146	4	0.03	3100	0.05	0.025	28.88	22.70	60	90	1073.87	91.22
147	4	0.04	2300	0.06	0.03	32.03	23.51	55	90	1431.54	91.20
148	4	0.035	2100	0.06	0.036	34.00	24.61	55	90	1250.89	91.08
149	4	0.04	3000	0.05	0.035	43.09	36.79	75	90	1429.06	91.05
150	4	0.035	2400	0.055	0.0275	35.33	25.35	55	90	1247.64	90.84
151	4	0.035	2900	0.055	0.0275	26.87	21.40	60	90	1243.05	90.51
152	4	0.03	2700	0.055	0.033	27.21	21.63	60	90	1062.85	90.29
153	4	0.035	2500	0.05	0.035	47.72	38.14	70	90	1238.51	90.18

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
154	4	0.035	2600	0.05	0.03	42.33	32.59	65	90	1237.66	90.12
155	4	0.03	2500	0.055	0.0385	33.50	26.83	65	90	1059.79	90.03
156	4	0.04	2500	0.055	0.033	37.89	29.72	65	90	1413.05	90.03
157	4	0.04	2400	0.055	0.0385	43.34	35.08	70	90	1411.76	89.94
158	4	0.04	2200	0.06	0.036	35.08	26.55	60	90	1411.30	89.91
159	4	0.03	2200	0.06	0.042	30.74	23.88	60	90	1058.48	89.91
160	4	0.035	2300	0.055	0.033	38.34	28.50	60	90	1232.34	89.73
161	4	0.03	2900	0.05	0.035	36.34	30.13	70	90	1055.51	89.66
162	4	0.04	2900	0.05	0.03	40.70	33.23	70	90	1407.35	89.66
163	4	0.03	2300	0.055	0.0275	33.32	22.96	50	90	1052.69	89.42
164	4	0.035	2500	0.06	0.036	26.32	21.05	60	90	1227.87	89.40
165	4	0.04	2200	0.065	0.0455	30.65	24.90	65	90	1402.91	89.38
166	4	0.04	2600	0.06	0.042	31.40	26.54	70	90	1401.96	89.32
167	4	0.035	3300	0.05	0.03	31.67	26.74	70	90	1226.12	89.28
168	4	0.035	2600	0.05	0.025	41.23	30.20	60	90	1225.91	89.26
169	4	0.025	2400	0.05	0.03	37.12	26.32	55	90	875.26	89.22
170	4	0.03	2200	0.055	0.033	36.43	25.95	55	90	1050.31	89.22
171	4	0.03	2500	0.05	0.025	39.17	27.42	55	90	1050.31	89.22
172	4	0.03	3000	0.05	0.02	30.20	22.47	55	90	1050.31	89.22
173	4	0.025	2400	0.055	0.0385	30.46	23.70	60	90	874.77	89.17
174	4	0.04	2500	0.055	0.0275	36.59	27.46	60	90	1399.64	89.17
175	4	0.04	3000	0.055	0.022	28.57	22.50	60	90	1399.64	89.17

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
176	4	0.03	3000	0.05	0.03	31.39	25.41	65	90	1049.19	89.13
177	4	0.04	2700	0.06	0.036	26.69	22.16	65	90	1398.92	89.13
178	4	0.025	2700	0.05	0.035	34.43	27.45	65	90	874.33	89.13
179	4	0.025	2500	0.05	0.025	34.15	23.38	50	90	874.06	89.10
180	4	0.025	2900	0.05	0.03	28.20	22.27	60	90	872.04	88.89
181	4	0.04	1900	0.07	0.049	29.80	23.29	60	90	1392.97	88.75
182	4	0.035	3200	0.05	0.025	31.24	25.31	65	90	1218.62	88.73
183	4	0.04	2800	0.05	0.025	40.94	31.70	65	90	1392.71	88.73
184	4	0.035	3100	0.05	0.02	32.59	25.03	60	90	1218.05	88.69
185	4	0.035	2300	0.06	0.042	32.69	26.29	65	90	1216.50	88.58
186	4	0.035	2700	0.055	0.0385	34.29	28.65	70	90	1215.99	88.54
187	4	0.035	2800	0.055	0.022	28.08	21.23	55	90	1212.99	88.32
188	4	0.03	2400	0.05	0.03	42.09	30.70	60	90	1039.23	88.28
189	4	0.03	3000	0.05	0.025	29.95	23.38	60	90	1039.23	88.28
190	4	0.04	2700	0.06	0.03	25.25	20.34	60	90	1385.64	88.28
191	4	0.02	2700	0.05	0.035	28.66	22.56	60	90	692.82	88.28
192	4	0.035	2800	0.055	0.033	29.39	24.04	65	90	1211.69	88.23
193	4	0.035	2000	0.065	0.0455	31.05	24.08	60	90	1208.98	88.03
194	4	0.04	2000	0.06	0.042	42.96	32.99	65	90	1381.65	88.03
195	4	0.04	2900	0.05	0.035	44.31	37.73	75	90	1381.43	88.01
196	4	0.04	2000	0.065	0.0325	30.44	21.48	50	90	1376.98	87.73
197	4	0.035	3300	0.05	0.035	35.29	30.75	75	90	1203.54	87.63

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
198	4	0.035	2800	0.055	0.0275	27.94	22.10	60	90	1200.19	87.39
199	4	0.035	2100	0.06	0.03	32.67	22.63	50	90	1199.21	87.32
200	4	0.04	2200	0.06	0.03	33.72	24.46	55	90	1369.29	87.24
201	4	0.04	3300	0.05	0.02	33.19	26.62	65	90	1367.84	87.15
202	4	0.035	2300	0.055	0.0275	37.08	26.30	55	90	1195.66	87.06
203	4	0.03	2600	0.055	0.033	28.37	22.38	60	90	1023.48	86.94
204	4	0.04	1900	0.065	0.039	33.74	24.47	55	90	1364.51	86.93
205	4	0.04	2300	0.065	0.039	25.65	20.60	60	90	1361.95	86.77
206	4	0.035	2000	0.06	0.036	35.95	25.69	55	90	1191.33	86.74
207	4	0.035	2500	0.05	0.03	43.94	33.62	65	90	1190.06	86.65
208	4	0.03	2800	0.05	0.035	37.57	31.01	70	90	1019.12	86.57
209	4	0.035	3200	0.05	0.03	32.64	27.45	70	90	1188.97	86.57
210	4	0.04	2800	0.05	0.03	42.02	34.16	70	90	1358.82	86.57
211	4	0.035	2400	0.05	0.035	49.36	39.28	70	90	1188.97	86.57
212	4	0.03	2400	0.055	0.0385	34.93	27.78	65	90	1017.40	86.43
213	4	0.04	2400	0.055	0.033	39.45	30.74	65	90	1356.53	86.43
214	4	0.04	3000	0.055	0.0275	28.49	23.42	65	90	1356.53	86.43
215	4	0.025	2900	0.05	0.025	26.76	20.44	55	90	846.08	86.25
216	4	0.03	2900	0.05	0.02	31.42	23.16	55	90	1015.30	86.25
217	4	0.04	2900	0.055	0.022	29.66	23.20	60	90	1352.98	86.20
218	4	0.04	2300	0.055	0.0385	44.99	36.24	70	90	1352.94	86.20
219	4	0.03	2900	0.05	0.03	32.51	26.17	65	90	1014.22	86.16

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
220	4	0.035	3100	0.05	0.025	32.29	26.02	65	90	1180.54	85.96
221	4	0.04	2600	0.06	0.024	26.39	20.21	55	90	1348.55	85.92
222	4	0.04	2500	0.06	0.042	32.64	27.45	70	90	1348.04	85.88
223	4	0.025	2800	0.05	0.03	29.32	22.98	60	90	841.97	85.83
224	4	0.035	2200	0.055	0.033	40.18	29.58	60	90	1178.76	85.83
225	4	0.035	2400	0.06	0.036	27.54	21.84	60	90	1178.76	85.83
226	4	0.035	2500	0.05	0.025	42.93	31.18	60	90	1178.76	85.83
227	4	0.035	3000	0.05	0.02	33.77	25.76	60	90	1178.76	85.83
228	4	0.04	2100	0.06	0.036	36.88	27.63	60	90	1347.15	85.83
229	4	0.04	2600	0.06	0.036	27.78	22.92	65	90	1347.11	85.83
230	4	0.025	2600	0.05	0.035	35.78	28.34	65	90	841.94	85.83
231	4	0.03	2600	0.06	0.042	24.41	20.53	65	90	1010.33	85.83
232	4	0.03	2400	0.05	0.025	41.00	28.39	55	90	1008.30	85.65
233	4	0.04	2400	0.055	0.0275	38.22	28.43	60	90	1343.65	85.60
234	4	0.04	2700	0.05	0.025	42.40	32.64	65	90	1342.97	85.56
235	4	0.025	2400	0.05	0.025	35.90	24.24	50	90	839.10	85.54
236	4	0.03	2200	0.055	0.0275	35.18	23.89	50	90	1006.92	85.54
237	4	0.03	2900	0.05	0.025	31.08	24.09	60	90	1004.59	85.34
238	4	0.035	2400	0.065	0.0455	24.26	20.42	65	90	1171.75	85.32
239	4	0.04	2100	0.065	0.0455	32.17	25.94	65	90	1339.14	85.32
240	4	0.035	2600	0.055	0.0385	35.56	29.57	70	90	1170.95	85.26
241	4	0.035	2700	0.055	0.022	29.29	21.94	55	90	1169.66	85.17

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
242	4	0.035	2700	0.055	0.033	30.53	24.82	65	90	1168.42	85.07
243	4	0.025	3300	0.05	0.035	26.69	23.02	70	90	834.10	85.03
244	4	0.04	2600	0.06	0.03	26.33	21.05	60	90	1334.32	85.01
245	4	0.035	3200	0.05	0.035	36.29	31.53	75	90	1167.07	84.98
246	4	0.04	2800	0.05	0.035	45.58	38.71	75	90	1333.79	84.98
247	4	0.035	2200	0.06	0.042	34.23	27.31	65	90	1163.61	84.72
248	4	0.04	3200	0.05	0.02	34.26	27.34	65	90	1326.39	84.50
249	4	0.03	2600	0.055	0.0275	26.93	20.54	55	90	993.02	84.35
250	4	0.03	3000	0.055	0.0385	26.46	22.85	70	90	992.65	84.32
251	4	0.04	3000	0.055	0.033	29.92	25.44	70	90	1323.53	84.32
252	4	0.035	2700	0.055	0.0275	29.08	22.83	60	90	1157.32	84.27
253	4	0.035	2800	0.06	0.042	25.46	22.09	70	90	1155.94	84.17
254	4	0.025	2800	0.055	0.0385	24.53	20.62	65	90	824.28	84.02
255	4	0.035	3100	0.05	0.03	33.67	28.20	70	90	1151.81	83.87
256	4	0.03	2500	0.055	0.033	29.63	23.18	60	90	984.12	83.60
257	4	0.04	2900	0.055	0.0275	29.52	24.13	65	90	1311.31	83.54
258	4	0.03	2700	0.05	0.035	38.87	31.93	70	90	982.72	83.48
259	4	0.04	2700	0.05	0.03	43.41	35.13	70	90	1310.29	83.48
260	4	0.04	1900	0.065	0.0325	32.41	22.50	50	90	1308.13	83.34
261	4	0.025	2800	0.05	0.025	27.88	21.11	55	90	816.91	83.27
262	4	0.035	2200	0.055	0.0275	39.00	27.33	55	90	1143.67	83.27
263	4	0.035	2400	0.06	0.03	26.11	20.04	55	90	1143.67	83.27

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
264	4	0.04	2100	0.06	0.03	35.57	25.48	55	90	1307.05	83.27
265	4	0.03	2800	0.05	0.02	32.72	23.90	55	90	980.29	83.27
266	4	0.04	2800	0.055	0.022	30.83	23.94	60	90	1306.33	83.23
267	4	0.03	2800	0.05	0.03	33.71	26.97	65	90	979.25	83.18
268	4	0.035	2400	0.05	0.03	45.65	34.71	65	90	1142.45	83.18
269	4	0.035	3000	0.05	0.025	33.40	26.76	65	90	1142.45	83.18
270	4	0.025	2800	0.05	0.02	28.15	20.27	50	90	815.79	83.16
271	4	0.04	2200	0.065	0.039	26.95	21.46	60	90	1302.74	83.00
272	4	0.04	2200	0.07	0.049	24.21	20.39	65	90	1302.70	83.00
273	4	0.035	2900	0.05	0.02	35.04	26.52	60	90	1139.46	82.97
274	4	0.03	2300	0.055	0.0385	36.47	28.80	65	90	975.01	82.82
275	4	0.04	2300	0.055	0.033	41.13	31.82	65	90	1300.01	82.82
276	4	0.04	3000	0.055	0.0385	33.49	29.33	75	90	1299.15	82.77
277	4	0.025	2700	0.05	0.03	30.52	23.74	60	90	811.90	82.76
278	4	0.04	2500	0.06	0.024	27.62	20.95	55	90	1296.68	82.61
279	4	0.04	2500	0.06	0.036	28.95	23.74	65	90	1295.30	82.52
280	4	0.025	2500	0.05	0.035	37.22	29.29	65	90	809.56	82.52
281	4	0.03	2500	0.06	0.042	25.46	21.28	65	90	971.47	82.52
282	4	0.025	3200	0.05	0.035	27.54	23.66	70	90	808.82	82.45
283	4	0.04	2200	0.055	0.0385	46.74	37.46	70	90	1294.12	82.45
284	4	0.04	2400	0.06	0.042	33.97	28.42	70	90	1294.12	82.45
285	4	0.04	2600	0.065	0.0455	24.62	21.45	70	90	1294.12	82.45

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
286	4	0.035	2400	0.05	0.025	44.75	32.23	60	90	1131.61	82.39
287	4	0.03	2800	0.05	0.025	32.30	24.85	60	90	969.95	82.39
288	4	0.04	2600	0.05	0.025	43.95	33.63	65	90	1293.23	82.39
289	4	0.035	3100	0.05	0.035	37.34	32.35	75	90	1130.60	82.32
290	4	0.035	2300	0.06	0.036	28.87	22.70	60	90	1129.64	82.25
291	4	0.04	2300	0.055	0.0275	39.97	29.46	60	90	1287.67	82.04
292	4	0.035	2600	0.055	0.022	30.60	22.70	55	90	1126.34	82.01
293	4	0.035	2500	0.055	0.0385	36.92	30.54	70	90	1125.92	81.98
294	4	0.04	2700	0.05	0.035	46.91	39.73	75	90	1286.16	81.94
295	4	0.035	2600	0.055	0.033	31.76	25.66	65	90	1125.14	81.92
296	4	0.04	3100	0.05	0.02	35.39	28.09	65	90	1284.94	81.86
297	4	0.03	2200	0.06	0.036	26.94	20.55	55	90	962.79	81.79
298	4	0.035	2300	0.065	0.0455	25.38	21.23	65	90	1122.92	81.76
299	4	0.04	2000	0.06	0.036	38.84	28.80	60	90	1283.00	81.74
300	4	0.04	2500	0.06	0.03	27.50	21.82	60	90	1283.00	81.74
301	4	0.04	3300	0.05	0.025	32.92	27.65	70	90	1281.18	81.62
302	4	0.03	2900	0.055	0.0385	27.39	23.56	70	90	959.56	81.51
303	4	0.04	2900	0.055	0.033	30.95	26.21	70	90	1279.41	81.51
304	4	0.04	2000	0.065	0.0455	33.83	27.05	65	90	1275.37	81.25
305	4	0.035	2700	0.06	0.042	26.42	22.82	70	90	1114.66	81.16
306	4	0.035	3000	0.05	0.03	34.76	28.99	70	90	1114.66	81.16
307	4	0.035	2600	0.055	0.0275	30.32	23.62	60	90	1114.46	81.15

ตารางที่ ก.1(ต่อ) ผลการคำนวณหาขนาดของใบกังหันน้ำจากโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบที่	H (m)	Q (m ³ /s)	N (rpm)	r _t (m)	r _h (m)	β_1 (deg)	β_2 (deg)	α_1 (deg)	α_2 (deg)	P _r (W)	η_h (%)
308	4	0.03	2500	0.055	0.0275	28.19	21.29	55	90	954.83	81.11
309	4	0.025	2700	0.055	0.0385	25.50	21.32	65	90	794.84	81.02
310	4	0.03	2500	0.055	0.022	28.48	20.45	50	90	953.52	81.00
311	4	0.03	3300	0.05	0.02	25.65	20.60	60	90	952.63	80.92
312	4	0.035	2100	0.06	0.042	35.89	28.42	65	90	1110.72	80.87
313	4	0.04	2800	0.055	0.0275	30.63	24.89	65	90	1266.10	80.66
314	4	0.035	2900	0.05	0.025	34.59	27.55	65	90	1104.37	80.41
315	4	0.04	2600	0.05	0.03	44.87	36.15	70	90	1261.76	80.39
316	4	0.03	2600	0.05	0.035	40.26	32.91	70	90	946.32	80.39
317	4	0.025	2700	0.05	0.025	29.08	21.82	55	90	787.73	80.30
318	4	0.03	2700	0.05	0.02	34.12	24.68	55	90	945.28	80.30
319	4	0.03	2400	0.055	0.033	31.00	24.04	60	90	944.75	80.25
320	4	0.04	2700	0.055	0.022	32.08	24.72	60	90	1259.67	80.25
321	4	0.03	2700	0.05	0.03	34.99	27.82	65	90	944.27	80.21
322	4	0.025	2700	0.05	0.02	29.43	20.95	50	90	786.66	80.19
323	4	0.035	2800	0.05	0.02	36.39	27.34	60	90	1100.17	80.11
324	4	0.04	2900	0.055	0.0385	34.55	30.17	75	90	1255.84	80.01

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างในการคำนวณ

ตัวอย่างในการคำนวณ

สำหรับการคำนวณหาประสิทธิภาพไฮดรอลิกทางทฤษฎีนั้น จะคำนวณโดยการแบ่งพื้นที่ของใบกังหันน้ำออกเป็น 5 ส่วนตามแนวรัศมี และแต่ละส่วนกว้าง dr ตามหลักทฤษฎี Blade element ในหัวข้อ 2.2.2.5 โดยค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณทั้ง 5 ตำแหน่งได้แสดงดังตารางที่ ข.1 และกังหันน้ำที่คำนวณนี้มีรัศมีคัม (r_h) เท่ากับ 0.02 m รัศมีใบกังหันน้ำ (r_t) เท่ากับ 0.05 m และพื้นที่หน้าตัดรูปวงแหวนที่ตั้งฉากกับความเร็วสัมบูรณ์ (A_d) เท่ากับ $6.5973 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

ตาราง ข.1 แสดงค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพไฮดรอลิกทางทฤษฎี

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
r (m)	0.023	0.029	0.035	0.041	0.047
c (m)	0.0351	0.0418	0.0478	0.0532	0.0581
s (m)	0.0361	0.0456	0.0550	0.0644	0.0738
β_1 (deg)	55.69	36.35	27.03	21.66	18.15
β_2 (deg)	29.77	24.41	20.60	17.79	15.73
β_m (deg)	39.45	29.31	23.41	19.54	16.81
α (deg)	11.0	3.5	1.0	0.5	0.5
β (deg)	28.45	25.81	22.41	19.04	16.31

ข.1 การหาการสูญเสียเนื่องจาก Incidence loss

ข.1.1 การหาค่ามุม i และมุม β_{1f}

สำหรับในตัวอย่างการคำนวณนี้จะยกตัวอย่างเฉพาะการคำนวณหาค่ามุม i และมุม β_{1f} ที่ตำแหน่งที่ 1 ส่วนที่ตำแหน่ง 2 ถึง 5 ก็จะคำนวณด้วยวิธีเดียวกัน

มุม i สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.46)

$$i = \alpha - \beta_1 + \beta \quad (2.46)$$

แทนค่า β_1 , α และ β ลงในสมการที่ (2.46) จะได้

$$i = -16.23 \text{ deg}$$

และมุม β_{1f} หาค่าได้จากสมการที่ (2.47)

$$\beta_{1f} = \beta_1 + i \quad (2.47)$$

$$\beta_{1f} = 39.46 \text{ deg}$$

ส่วนค่าของมุม i และมุม β_{1f} ของตำแหน่งที่ 2 ถึง 5 ก็จะหาด้วยวิธีเดียวกันกับตำแหน่งที่ 1 ซึ่งผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการคำนวณหาค่ามุม i และมุม β_{1f}

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
i (deg)	-16.23	-4.39	2.43	7.30	10.81
β_{1f} (deg)	39.46	31.96	29.46	28.96	28.96

ข.1.2 การหาค่า T_{Linc}

สามารถหาแรงบิดเนื่องจาก T_{Linc} ได้จากสมการที่ (2.49)

$$T_{\text{Linc}} = \int_{r_h}^{r_i} \frac{1}{W_1} Y_{\text{Linc}} \frac{Q\rho}{A_d} 2\pi r \cos \beta_{1f} r dr \quad (2.49)$$

และสามารถหา W_1 ได้จากสมการที่ (2.50)

$$W_1 = \frac{V_a}{\sin \beta_{1f}} \quad (2.50)$$

และสามารถหา Y_{Linc} ได้จากสมการที่ (2.51)

$$Y_{\text{Linc}} = \frac{1}{2} \lambda (W_{\text{inc}})^2 \quad (2.51)$$

และสามารถหา V_a ได้จากสมการที่ (2.6)

$$V_a = \frac{Q}{A_d} \quad (2.6)$$

จากนั้นแทนค่าสมการที่ (2.6), (2.50) และ (2.51) ลงในสมการที่ (2.49) จะได้

$$T_{\text{Linc}} = \frac{1}{2} \lambda \rho \pi \int_{r_h}^{r_i} (W_{\text{inc}})^2 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr$$

แทนสมการที่ (2.3), (2.6) และ (2.52) ลงไปในสมการจะได้

$$T_{\text{Linc}} = \frac{1}{2} \lambda \rho \pi \int_{r_h}^{r_i} \left(\frac{Q}{A_d} \cot \beta_1 - \omega r + \frac{Q}{A_d} \cot \alpha_1 \right)^2 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr$$

$$T_{\text{Linc}} = \frac{1}{2} \lambda \rho \pi \left[\frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} \cot^2 \beta_1 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr + \omega^2 \int_{r_h}^{r_i} \sin(2\beta_{1f}) r^4 dr + \frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} \cot^2 \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr \right.$$

$$\left. - 2\omega \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_i} \cot \beta_1 \sin(2\beta_{1f}) r^3 dr + 2 \frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} \cot \beta_1 \cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr - 2\omega \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_i} \cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) r^3 dr \right]$$

จากนั้นจะทำการเขียนฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตให้อยู่ในเทอมของ r โดยจะทำการหาค่าของฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตที่ทั้ง 5 ตำแหน่ง จากนั้นจะหาสมการความสัมพันธ์ของฟังก์ชันในเทอมของ r ออกมา

ตารางที่ ข.3 แสดงค่าฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตของสมการ T_{Linc}

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
$\cot^2 \beta_1 \sin(2\beta_{1f})$	0.4570	1.6584	3.2890	5.3726	7.8840
$\sin(2\beta_{1f})$	0.9814	0.8982	0.8564	0.8473	0.8473
$\cot^2 \alpha_1 \sin(2\beta_{1f})$	1.1142	0.6414	0.4199	0.3027	0.2304
$\cot \beta_1 \sin(2\beta_{1f})$	0.6697	1.2204	1.6783	2.1336	2.5846
$\cot \beta_1 \cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f})$	0.7135	1.0314	1.1752	1.2753	1.3477
$\cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f})$	1.0457	0.7590	0.5997	0.5065	0.4418

และสามารถเขียนสมการที่จะอินทิเกรตของเทอมที่ 1 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$\cot^2 \beta_1 \sin(2\beta_{1f}) = -552.61r^3 + 6155.44r^2 - 119.31r - 0.05$$

$$\frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} \cot^2 \beta_1 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr = \frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} (-552.61r^5 + 6155.44r^4 - 119.31r^3 - 0.05r^2) dr$$

และสามารถเขียนสมการที่จะอินทิเกรตของเทอมที่ 2 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$\sin(2\beta_{1f}) = -469477.15r^4 + 53263.46r^3 - 1672.41r^2 - 1.95r + 1.39$$

$$\omega^2 \int_{r_h}^{r_i} \sin(2\beta_{1f}) r^4 dr = \omega^2 \int_{r_h}^{r_i} (-469477.15r^8 + 53263.46r^7 - 1672.41r^6 - 1.95r^5 + 1.39r^4) dr$$

และสามารถเขียนสมการที่จะอินทิเกรตของเทอมที่ 3 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$\cot^2 \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) = 2807031.44r^4 - 472618.49r^3 + 30341.67r^2 - 893.81r + 10.59$$

$$\begin{aligned} \frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} \cot^2 \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr &= \frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} (2807031.44r^6 - 472618.49r^5 + 30341.67r^4 \\ &\quad - 893.81r^3 + 10.59r^2) dr \end{aligned}$$

และสามารถเขียนสมการที่จะอินทิเกรตของเทอมที่ 4 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$\cot \beta_1 \sin(2\beta_{1f}) = -2955453.22r^4 + 447967.47r^3 - 25244.02r^2 + 702.53r - 6.76$$

$$2\omega \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_i} \cot \beta_1 \sin(2\beta_{1f}) r^3 dr = 2\omega \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_i} (-2955453.22r^7 + 447967.47r^6 - 25244.02r^5 + 702.53r^4 - 6.76r^3) dr$$

และสามารถเขียนสมการที่จะอินทิเกรตของเทอมที่ 5 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$\cot \beta_1 \cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) = -3681629.47r^4 + 571846.32r^3 - 33457.68r^2 + 890.20r - 7.99$$

$$2 \frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} \cot \beta_1 \cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) r^2 dr = 2 \frac{Q^2}{A_d^2} \int_{r_h}^{r_i} (-3681629.47r^6 + 571846.32r^5 - 33457.68r^4 + 890.20r^3 - 7.99r^2) dr$$

และสามารถเขียนสมการที่จะอินทิเกรตของเทอมที่ 6 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$\cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) = -38090r^3 + 5011.59r^2 - 230.50r + 4.16$$

$$2\omega \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_i} \cot \alpha_1 \sin(2\beta_{1f}) r^3 dr = 2\omega \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_i} (-38090r^6 + 5011.59r^5 - 230.50r^4 + 4.16r^3) dr$$

เมื่อสามารถเขียนฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตทั้ง 6 เทอมให้อยู่ในเทอมของ r ได้แล้ว ก็จะทำการอินทิเกรตทั้ง 6 เทอม และแทนค่า r_h , r_i , A_d , ρ และ λ (กำหนดให้ λ มีค่าเท่ากับ 0.6) ลงไปในสมการที่อินทิเกรตทั้ง 6 เทอม ซึ่งหลังจากอินทิเกรตทั้ง 6 เทอมแล้วจะสามารถเขียนสมการของ T_{Linc} ในเทอมของ Q และ ω ได้ดังนี้

$$T_{Linc} = (4.2405 \times 10^3)Q^2 + (4.9848 \times 10^{-5})\omega^2 + (3.4641 \times 10^2)Q^2 - (9.1207 \times 10^{-1})Q\omega + (2.0317 \times 10^3)Q^2 - (2.3621 \times 10^{-1})Q\omega$$

$$T_{\text{Linc}} = (6.6185 \times 10^3)Q^2 + (4.9848 \times 10^{-5})\omega^2 + (3.4641 \times 10^2)Q^2 - (1.1483)Q\omega$$

ข.2 การหาการสูญเสียเนื่องจาก Profile loss

ข.2.1 การหาค่ามุม δ และมุม β_{2f}

สำหรับในตัวอย่างการคำนวณนี้จะยกตัวอย่างเฉพาะการคำนวณหาค่ามุม δ และมุม β_{2f} ที่ตำแหน่งที่ 1 ส่วนที่ตำแหน่ง 2 ถึง 5 ก็จะคำนวณด้วยวิธีเดียวกัน

มุม δ สามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.53)

$$\delta = C_{op} M_0 \left(\frac{S}{C}\right)^{0.5} (C_i i + (\beta_2 - \beta_1)) \quad (2.53)$$

และสามารถหาค่า M_0 ได้จากสมการที่ (2.54)

$$M_0 = 0.041\theta^2 - 0.0716\theta + 0.22 \quad (2.54)$$

และสามารถหาค่า θ ได้จากสมการที่ (2.55)

$$\theta = \frac{1}{2}(180 - \beta_2 - \beta_1) \quad (2.55)$$

แทนค่า β_1 และ β_2 ลงในสมการที่ (2.55) จะได้

$$\theta = 47.27 \text{ deg}$$

$$\theta = 0.8250 \text{ rad}$$

แทนค่า θ ลงในสมการที่ (2.54) จะได้

$$M_0 = 0.1888$$

แทนค่า C_{op} , C_i , M_0 , s , c , i , β_1 และ β_2 ลงในสมการที่ (2.53) จะได้

$$\delta = 0.2735 \text{ rad}$$

$$\delta = 15.67 \text{ deg}$$

และมุม β_{2f} หาค่าได้จากสมการที่ (2.56)

$$\beta_{2f} = \beta_2 + \delta \quad (2.56)$$

$$\beta_{2f} = 45.45 \text{ deg}$$

ส่วนค่าของมุม δ และมุม β_{2f} ของตำแหน่งที่ 2 ถึง 5 ก็จะหาด้วยวิธีเดียวกันกับตำแหน่งที่ 1 ซึ่งผลการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการคำนวณหาค่ามุม δ และมุม β_{2f}

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
δ (deg)	15.67	7.61	4.48	3.08	1.82
β_{2f} (deg)	45.45	32.02	25.09	20.87	17.46

ข.2.2 การหาค่า T_{Lprof}

สำหรับค่าของตัวแปรเพิ่มเติมที่ใช้ในการคำนวณหา T_{Lprof} สามารถแสดงได้ดังตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหา T_{Lprof}

ตัวแปร	ค่า
μ (Pa.s)	9.0275×10^{-4}
t (m)	0.003
B (m)	0.03

สามารถหาค่า T_{Lprof} ได้จากสมการที่ (2.58)

$$T_{Lprof} = \int_{r_h}^{r_t} \frac{1}{W_2} Y_{Lprof} \frac{Qp}{A_d} 2\pi r \cos \beta_{2f} dr \quad (2.58)$$

และสามารถหาค่า W_2 ได้จากสมการที่ (2.59)

$$W_2 = \frac{V_a}{\sin \beta_{2f}} \quad (2.59)$$

และสามารถหาค่า Y_{Lprof} ได้จากสมการที่ (2.60)

$$Y_{Lprof} = \frac{1}{2} \xi (W_2)^2 \quad (2.60)$$

และสามารถหาค่า $Y_{Lprof} \xi$ ได้จากสมการที่ (2.61)

$$\xi = \left(\frac{10^5}{Re_h}\right)^{0.25} [(1 + \xi_1)(0.975 + 0.075 \frac{b}{B}) - 1] \quad (2.61)$$

และสามารถหาค่า b ได้จากสมการที่ (2.62)

$$b = c \sin \beta \quad (2.62)$$

และสามารถหาค่า Re_h ได้จากสมการที่ (2.63)

$$Re_h = \frac{\rho W_2 D_h}{\mu} \quad (2.63)$$

และสามารถหาค่า D_h ได้จากสมการที่ (2.64)

$$D_h = \frac{2Bs \sin \beta_{2f}}{s \sin \beta_{2f} + B} \quad (2.64)$$

และสามารถหาค่า B ได้จากสมการที่ (2.64)

$$B = r_t - r_h \quad (2.64)$$

และสามารถหาค่า ξ_1 ได้จากสมการที่ (2.66)

$$\xi_1 = \xi_0 + 0.0024\varepsilon_0 + 0.0215(\varepsilon_0)^2 \quad (2.66)$$

และสามารถหาค่า ε_0 ได้จากสมการที่ (2.68)

$$\varepsilon_0 = i + (\beta_1 - \beta_2) - \delta \quad (2.68)$$

จากนั้นแทนค่าสมการที่ (2.xx) ถึง (2.xx) ลงในสมการที่ (2.xx) จะได้

$$T_{Lprof} = \rho\pi \frac{Q_d^{1.75}}{A_d^{1.75}} \int_{r_h}^{r_i} \frac{1}{(\sin \beta_{2f})^{0.75}} [10^{1.25} \left(\frac{\mu}{\rho D_h}\right)^{0.25} ((1 + \xi_1)(0.975 + 0.075 \frac{b}{B}) - 1)] \cos(\beta_{2f}) r^2 dr$$

และกำหนดให้ฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตมีค่าเท่ากับ f_1

$$f_1 = \frac{1}{(\sin \beta_{2f})^{0.75}} [10^{1.25} \left(\frac{\mu}{\rho D_h}\right)^{0.25} ((1 + \xi_1)(0.975 + 0.075 \frac{b}{B}) - 1)] \cos(\beta_{2f})$$

จากนั้นจะทำการเขียนฟังก์ชัน f_1 ให้อยู่ในเทอมของ r โดยจะทำการหาค่าของฟังก์ชัน f_1 ที่ทั้ง 5 ตำแหน่ง จากนั้นจะหาสมการความสัมพันธ์ของฟังก์ชัน f_1 ในเทอมของ r ออกมา

ตารางที่ ข.6 แสดงค่าฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตของสมการ T_{Lprof}

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
D_h	0.0277	0.0268	0.0262	0.0260	0.0255
B	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
ξ_1	0.0567	0.0588	0.0604	0.0619	0.0633
ξ_0	0.0567	0.0588	0.0601	0.0611	0.0619
ε_0	-0.1045	-0.0010	0.0763	0.1411	0.2006

และสามารถเขียนฟังก์ชัน f_1 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$f_1 = 354295.24r^4 - 43892.66r^3 + 1824.06r^2 - 20.97r - 0.04$$

ดังนั้น สามารถเขียนสมการการหา T_{Lprof} ได้เป็น

$$T_{Lprof} = \rho\pi \frac{Q^{1.75}}{A_d^{1.75}} \int_{r_h}^{r_t} (354295.24r^4 - 43892.66r^3 + 1824.06r^2 - 20.97r - 0.04)r^2 dr$$

$$T_{Lprof} = \rho\pi \frac{Q^{1.75}}{A_d^{1.75}} \int_{r_h}^{r_t} (354295.24r^6 - 43892.66r^5 + 1824.06r^4 - 20.97r^3 - 0.04r^2) dr$$

และเมื่อสามารถเขียนฟังก์ชัน f_1 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้แล้ว ก็จะทำการอินทิเกรตและแทนค่า r_h , r_t , A_d และ ρ ลงไปในสมการ ซึ่งหลังจากอินทิเกรตแล้วจะสามารถเขียนสมการของ T_{Lprof} ในเทอมของ Q ได้ดังนี้

$$T_{Lprof} = (1.6907 \times 10^2) Q^{1.75}$$

ข.3 การหาการสูญเสียเนื่องจากน้ำที่ไหลออกจากก้นน้ำ

สามารถหา P_{Wout} ได้จากสมการที่ (2.74)

$$P_{Wout} = \frac{1}{2} \rho \frac{Q^3}{A_{out}^2} \quad (2.74)$$

แทนค่า ρ และ A_{out} (คิดว่าท่อระบายน้ำออกจากก้นน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 cm ดังนั้น $A_{out} = 1.2668 \times 10^{-2} \text{ m}^2$) ลงในสมการที่ (2.74) จะได้

$$P_{Wout} = (3.1158 \times 10^6) Q^3$$

ข.4 การหาคำสั่งของ Euler

สามารถหา T_{Eu} ได้จากสมการที่ (2.73)

$$T_{Eu} = \int_{r_h}^{r_i} \left(\omega r - \frac{Q}{A_d} \cot \beta_{1f} \right) 2\pi \rho \frac{Q}{A_d} r^2 dr \quad (2.73)$$

$$T_{Eu} = 2\pi \rho \frac{Q}{A_d} \left[\int_{r_h}^{r_i} \omega r^3 dr - \int_{r_h}^{r_i} \frac{Q}{A_d} \cot \beta_{1f} r^2 dr \right]$$

$$T_{Eu} = 2\pi \rho \frac{Q}{A_d} \left[\omega \int_{r_h}^{r_i} r^3 dr - \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_i} \cot \beta_{1f} r^2 dr \right]$$

เนื่องจากในเทอมที่ 2 ฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตยังไม่อยู่ในเทอมของ r ดังนั้น จะต้องเปลี่ยนให้เป็นฟังก์ชันที่อยู่ในเทอมของ r โดยจะทำการหาค่าของฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตที่ทั้ง 5 ตำแหน่ง จากนั้นจะหาสมการความสัมพันธ์ของฟังก์ชันในเทอมของ r ออกมา

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตของสมการ T_{Eu}

ตัวแปร	ตำแหน่ง				
	1	2	3	4	5
$\cot \beta_{1f}$	0.4570	1.6584	3.2890	5.3726	7.8840

และสามารถเขียนสมการที่จะอินทิเกรตของเทอมที่ 2 ให้อยู่ในเทอมของ r ได้เป็น

$$\cot \beta_{1f} = 70910.91r^3 - 9245.06r^2 + 401.02r - 3.98$$

และแทนค่าลงในสมการการหา T_{Eu} ได้เป็น

$$T_{Eu} = 2\pi\rho \frac{Q}{A_d} \left[\omega \int_{r_h}^{r_t} r^3 dr - \frac{Q}{A_d} \int_{r_h}^{r_t} (70910.91r^5 - 9245.06r^4 + 401.02r^3 - 3.98r^2) dr \right]$$

และเมื่อสามารถเขียนฟังก์ชันที่จะอินทิเกรตให้อยู่ในเทอมของ r ได้แล้ว ก็จะทำการอินทิเกรต และแทนค่า r_h , r_t , A_d และ ρ ลงไปในสมการ ซึ่งหลังจากอินทิเกรตแล้วจะสามารถเขียนสมการของ T_{Eu} ในเทอมของ Q และ ω ได้ดังนี้

$$T_{Eu} = 1.45Q\omega - (1.2991 \times 10^4)Q^2$$

ข.5 การหาลำกำลังทางกลและประสิทธิภาพไฮดรอลิกทางทฤษฎี

จากสมการการอนุรักษ์พลังงานในสมการที่ (2.69)

$$P_i = P_{Eu} + (P_{Linc} + P_{Lprof} + P_{Wout}) \quad (2.69)$$

แทนสมการที่ (2.16), (2.48), (2.57) และ (2.70) ลงในสมการที่ (2.69) จะได้

$$\rho gHQ = T_{Eu}\omega + (T_{Linc}\omega + T_{Lprof}\omega + P_{Wout})$$

แทนสมการของ T_{En} , T_{Linc} , T_{Lprof} และ P_{Wout} ที่อยู่เทอมของ Q และ ω ลงไปจะได้

$$\rho g H Q = 0.3017 Q \omega^2 - 6372.17 Q^2 \omega + 169.07 Q^{1.75} \omega + (4.98 \times 10^{-5}) \omega^3 + 3115841.50 Q^3$$

เมื่อคิดที่ $H = 2 \text{ m}$ และแทนค่า ρ และ g ลงไปจะได้

$$19620 Q = 0.3017 Q \omega^2 - 6372.17 Q^2 \omega + 169.07 Q^{1.75} \omega + (4.98 \times 10^{-5}) \omega^3 + 3115841.50 Q^3$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$0.3017 Q \omega^2 - 6372.17 Q^2 \omega + 169.07 Q^{1.75} \omega + (4.98 \times 10^{-5}) \omega^3 + 3115841.50 Q^3 - 19620 Q = 0$$

จากนั้นทำการป้อนค่า ω เข้าไปในสมการ และแก้สมการเพื่อหาค่า Q จากนั้นแทนค่า Q และ ω ที่คำนวณได้กลับลงไปในสมการของ T_{Eu} , T_{Linc} , T_{Lprof} และ P_{Wout} ที่อยู่เทอมของ Q และ ω และสามารถหาค่า T_r ได้จากสมการที่ (2.75)

$$T_r = T_{Eu} - T_{Linc} - T_{Lprof} \quad (2.75)$$

และสามารถหาค่า P_r , P_i , P_{Linc} , P_{Lprof} และ P_{Eu} ได้จากสมการที่ (2.4), (2.16), (2.48), (2.57) และ (2.70) ตามลำดับ และคำนวณหาประสิทธิภาพไฮดรอลิกได้จากสมการที่ (2.17) ซึ่งผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ ข.8

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการคำนวณหา กำลังการสูญเสียทั้งหมด กำลังทางกล และประสิทธิภาพไฮดรอลิกทางทฤษฎี

ω (rad/s)	Q (m ³ /s)	P _i (W)	P _{Linc} (W)	P _{Lprof} (W)	P _{Eu} (W)	P _{Wout} (W)	P _r (W)	η_h (%)
125	0.0052	102.80	26.06	1.71	74.13	0.45	46.36	45.10
150	0.0084	165.36	21.00	4.70	136.55	1.87	110.85	67.03
175	0.0120	235.59	11.88	10.20	205.43	5.39	183.35	77.82
200	0.0157	308.81	3.76	18.71	269.25	12.15	246.78	79.91
225	0.0195	382.47	0.47	30.61	320.23	23.08	289.15	75.60
250	0.0232	455.46	4.50	46.16	353.62	38.98	302.96	66.52
275	0.0269	527.37	17.50	65.63	366.40	60.51	283.27	53.71
300	0.0305	598.13	40.63	89.25	356.40	88.28	226.53	37.87
325	0.0340	667.78	74.84	117.24	321.89	122.85	129.80	19.44

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายสุรพร อนันตการณ์
วัน เดือน ปี เกิด	15 กันยายน 2531
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2552