



บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิจารณ์

1. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบของหุ่นจำลองขนาด 1:250 ที่ไม่มีช่องเปิด ทำการทดสอบทั้งหมด 36 ตัวอย่าง กำหนดเป็นผลการทดสอบที่ L1 ถึง L36 ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

ผลการทดสอบของหุ่นจำลองขนาด 1:333 ที่ไม่มีช่องเปิด ทำการทดสอบทั้งหมด 36 ตัวอย่าง กำหนดเป็นผลการทดสอบที่ M1 ถึง M36 ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ผลการทดสอบของหุ่นจำลองขนาด 1:500 ที่ไม่มีช่องเปิด ทำการทดสอบทั้งหมด 25 ตัวอย่าง กำหนดเป็นผลการทดสอบที่ S1 ถึง S25 ดังตารางที่ 4.5 และ 4.7

ผลการทดสอบของหุ่นจำลองขนาด 1:500 ที่มีช่องเปิด ทำการทดสอบทั้งหมด 8 ตัวอย่าง กำหนดเป็นผลการทดสอบที่ S26 ถึง S33 ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:250 ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	L1	0.079	0.064	0.072	-0.445	-0.374
0.0	L2	0.023	0.060	0.042	-0.445	-0.404
0.0	L3	0.076	0.062	0.069	-0.450	-0.381
22.5	L5	0.340	0.348	0.344	-0.073	0.271
22.5	L6	0.365	0.356	0.361	-0.090	0.271
22.5	L7	0.319	0.363	0.341	-0.078	0.263

ตารางที่ 4.1(ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:250

ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
45.0	L9	0.585	0.671	0.628	0.131	0.759
45.0	L10	0.630	0.672	0.651	0.130	0.781
45.0	L11	0.591	0.682	0.637	0.128	0.765
67.5	L13	0.634	0.661	0.648	-0.295	0.353
67.5	L14	0.621	0.652	0.637	0.272	0.365
67.5	L15	0.625	0.659	0.642	-0.294	0.348
90.0	L17	0.533	0.556	0.545	-0.399	0.146
90.0	L18	0.548	0.571	0.560	-0.403	0.156
90.0	L19	0.532	0.553	0.543	-0.389	0.154
112.5	L21	0.534	0.544	0.539	-0.351	0.188
112.5	L23	0.537	0.540	0.539	-0.354	0.185
112.5	L24	0.543	0.546	0.545	-0.353	0.192
135.0	L25	0.586	0.550	0.568	-0.256	0.312
135.0	L26	0.598	0.554	0.576	-0.259	0.317
135.0	L27	0.608	0.510	0.559	-0.224	0.335
157.5	L29	0.853	0.781	0.817	-0.258	0.559
157.5	L30	0.861	0.798	0.830	-0.260	0.570
157.5	L31	0.869	0.796	0.833	-0.266	0.567
180.0	L33	0.809	0.784	0.797	-0.349	0.448
180.0	L34	0.828	0.787	0.808	-0.352	0.456
180.0	L35	0.790	0.766	0.778	-0.336	0.442

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:250
ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
	ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	0.059	0.062	0.061	-0.447	-0.386
22.5	0.338	0.359	0.349	-0.080	0.268
45.0	0.602	0.675	0.639	0.130	0.768
67.5	0.627	0.657	0.642	-0.287	0.355
90.0	0.538	0.560	0.549	-0.397	0.152
112.5	0.538	0.543	0.541	0.353	0.188
135.0	0.597	0.538	0.568	-0.246	0.321
157.5	0.861	0.792	0.826	-0.261	0.565
180.0	0.809	0.779	0.794	-0.346	0.448

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:333 ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	M1	0.051	0.078	0.065	-0.331	-0.267
0.0	M2	0.078	0.077	0.078	-0.325	-0.248
0.0	M3	0.070	0.075	0.073	-0.310	-0.238
0.0	M4	0.067	0.070	0.069	-0.304	-0.236
22.5	M5	0.285	0.308	0.297	0.022	0.274
22.5	M6	0.280	0.298	0.289	-0.014	0.275
22.5	M7	0.283	0.307	0.295	-0.020	0.275
45.0	M9	0.495	0.592	0.544	0.132	0.676
45.0	M10	0.516	0.601	0.559	0.123	0.682
45.0	M11	0.495	0.588	0.542	0.129	0.671
67.5	M13	0.549	0.567	0.558	-0.213	0.345
67.5	M14	0.550	0.575	0.563	-0.204	0.359
67.5	M15	0.545	0.564	0.555	-0.204	0.351
90.0	M17	0.528	0.533	0.531	-0.330	0.201
90.0	M18	0.533	0.535	0.534	-0.331	0.203
90.0	M20	0.519	0.520	0.520	-0.327	0.193
112.5	M21	0.481	0.469	0.475	-0.288	0.187
112.5	M22	0.469	0.464	0.467	-0.289	0.178
112.5	M23	0.472	0.468	0.470	-0.296	0.174
135.0	M25	0.526	0.501	0.514	-0.263	0.251
135.0	M26	0.517	0.493	0.505	-0.259	0.246
135.0	M27	0.527	0.497	0.512	-0.264	0.248

ตารางที่ 4.3(ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:333

ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
157.5	M29	0.541	0.503	0.522	-0.206	0.316
157.5	M30	0.567	0.508	0.538	-0.206	0.332
157.5	M31	0.551	0.507	0.529	-0.217	0.312
180.0	M33	0.749	0.732	0.741	-0.231	0.510
180.0	M34	0.776	0.750	0.763	-0.245	0.518
180.0	M35	0.737	0.720	0.729	-0.234	0.495

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:333

ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
	ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	0.067	0.075	0.071	-0.318	-0.247
22.5	0.283	0.304	0.294	-0.019	0.275
45.0	0.502	0.594	0.548	0.128	0.676
67.5	0.548	0.569	0.558	-0.207	0.351
90.0	0.527	0.529	0.528	-0.329	0.199
112.5	0.474	0.467	0.471	-0.291	0.180
135.0	0.523	0.497	0.510	-0.262	0.248
157.5	0.553	0.506	0.530	-0.210	0.320
180.0	0.754	0.734	0.744	-0.237	0.507

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:500 ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์, Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	S1	0.062	0.064	0.063	-0.278	-0.215
		0.062	0.061	0.062	-0.273	-0.212
		0.060	0.058	0.059	-0.271	-0.212
0.0	S2	0.057	0.058	0.058	-0.271	-0.214
		0.063	0.060	0.062	-0.273	-0.212
		0.062	0.059	0.061	-0.271	-0.211
0.0	S3	0.054	0.057	0.056	-0.285	-0.229
		0.050	0.056	0.053	-0.287	-0.234
		0.052	0.058	0.055	-0.289	-0.234
0.0	S4	0.051	0.057	0.054	-0.290	-0.236
		0.049	0.060	0.055	-0.286	-0.231
		0.050	0.063	0.057	-0.283	-0.226
22.5	S5	0.235	0.239	0.237	0.038	0.275
		0.238	0.238	0.238	0.035	0.273
		0.236	0.236	0.236	0.026	0.262
22.5	S7	0.239	0.241	0.240	0.019	0.259
		0.243	0.243	0.243	0.019	0.262
		0.246	0.243	0.245	0.017	0.262
22.5	S8	0.250	0.246	0.248	0.039	0.287
		0.250	0.244	0.247	0.036	0.283
		0.245	0.242	0.244	0.032	0.276
45.0	S9	0.455	0.479	0.467	0.137	0.604
		0.453	0.484	0.469	0.142	0.611
		0.462	0.488	0.475	0.146	0.621

ตารางที่ 4.5(ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:500

ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
45.0	S10	0.465	0.494	0.480	0.141	0.621
		0.464	0.501	0.483	0.137	0.620
		0.475	0.507	0.491	0.138	0.629
67.5	S11	0.451	0.458	0.455	-0.175	0.280
		0.454	0.456	0.455	-0.175	0.280
		0.453	0.454	0.454	-0.175	0.279
67.5	S12	0.464	0.488	0.476	0.188	0.288
		0.472	0.486	0.479	-0.183	0.296
		0.461	0.478	0.470	0.179	0.291
90.0	S13	0.399	0.427	0.413	-0.292	0.121
		0.388	0.430	0.409	-0.293	0.116
		0.401	0.438	0.420	-0.298	0.122
90.0	S14	0.390	0.419	0.405	-0.281	0.124
		0.386	0.411	0.399	-0.279	0.120
		0.376	0.404	0.390	-0.276	0.114
112.5	S15	0.366	0.366	0.366	-0.250	0.116
		0.361	0.363	0.362	-0.249	0.113
		0.361	0.363	0.362	-0.248	0.114
112.5	S16	0.350	0.349	0.350	-0.264	0.085
		0.362	0.379	0.371	-0.267	0.103
		0.354	0.374	0.364	-0.263	0.101

ตารางที่ 4.5(ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:500

ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
135.0	S17	0.391	0.408	0.400	-0.216	0.184
		0.380	0.407	0.394	-0.217	0.177
		0.380	0.409	0.395	-0.218	0.177
135.0	S18	0.435	0.421	0.428	-0.227	0.201
		0.424	0.420	0.422	-0.227	0.195
		0.428	0.423	0.426	-0.228	0.197
135.0	S19	0.432	0.423	0.428	-0.227	0.200
		0.436	0.423	0.430	-0.228	0.201
		0.433	0.421	0.427	-0.228	0.199
157.5	S20	0.440	0.457	0.449	-0.176	0.273
		0.450	0.462	0.456	-0.177	0.279
		0.451	0.462	0.457	-0.177	0.280
157.5	S21	0.469	0.458	0.464	-0.183	0.281
		0.475	0.461	0.468	-0.183	0.285
		0.477	0.460	0.469	-0.182	0.287
180.0	S22	0.673	0.662	0.668	-0.189	0.479
		0.664	0.659	0.662	-0.189	0.473
		0.668	0.661	0.665	-0.193	0.472
180.0	S23	0.640	0.607	0.624	-0.186	0.438
		0.626	0.602	0.614	-0.187	0.427
		0.638	0.614	0.626	-0.191	0.435

ตารางที่ 4.5(ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:500

ไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
180.0	S24	0.656	0.641	0.649	-0.177	0.472
		0.658	0.651	0.655	-0.176	0.479
		0.676	0.663	0.670	-0.181	0.489
180.0	S25	0.674	0.662	0.668	-0.185	0.483
		0.674	0.658	0.666	-0.185	0.481
		0.663	0.652	0.658	-0.185	0.473

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:500 มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	S26	0.041	0.042	0.042	-0.290	-0.248
		0.042	0.042	0.042	-0.292	-0.250
		0.042	0.042	0.042	-0.293	-0.251
0.0	S27	0.049	0.047	0.048	-0.296	-0.248
		0.041	0.047	0.044	-0.293	-0.249
		0.047	0.049	0.048	-0.292	-0.244
0.0	S28	0.039	0.044	0.042	-0.305	-0.264
		0.038	0.046	0.042	-0.303	-0.261
		0.039	0.047	0.043	-0.299	-0.256
0.0	S29	0.048	0.053	0.051	-0.307	-0.257
		0.052	0.054	0.053	-0.304	-0.251
		0.050	0.053	0.052	-0.301	-0.250

ตารางที่ 4.6(ต่อ) ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:500 มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	การทดสอบ ที่	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
45.0	S30	0.474	0.506	0.490	0.153	0.643
		0.470	0.507	0.489	0.152	0.641
		0.480	0.511	0.496	0.152	0.648
45.0	S31	0.463	0.499	0.481	0.157	0.638
		0.466	0.504	0.485	0.170	0.655
		0.472	0.507	0.490	0.177	0.667
45.0	S32	0.466	0.500	0.483	0.160	0.643
		0.463	0.503	0.483	0.163	0.646
		0.472	0.507	0.490	0.167	0.657
45.0	S33	0.458	0.503	0.481	0.149	0.630
		0.479	0.508	0.494	0.154	0.648
		0.464	0.502	0.483	0.154	0.637

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์โมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบหุ่นจำลองขนาด 1:500

ทิศทางลม (องศา)	ลักษณะ ช่องเปิด	ค่าสัมประสิทธิ์โมเมนต์ , Cm				
		ผิวบนขวา	ผิวบนซ้าย	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	ไม่มีช่องเปิด	0.056	0.059	0.058	-0.280	-0.222
22.5	"	0.243	0.241	0.242	0.029	0.271
45.0	"	0.462	0.492	0.477	0.140	0.617
67.5	"	0.459	0.470	0.465	-0.179	0.285
90.0	"	0.390	0.422	0.406	-0.287	0.119
112.5	"	0.359	0.366	0.362	-0.257	0.105
135.0	"	0.415	0.417	0.416	-0.224	0.192
157.5	"	0.460	0.460	0.460	-0.180	0.281
180.0	"	0.659	0.644	0.652	-0.185	0.466
0.0	มีช่องเปิด	0.044	0.047	0.046	-0.298	-0.252
45.0	มีช่องเปิด	0.469	0.505	0.487	0.159	0.646

2. ค่าแรงลมเฉลี่ยเมื่อทิศทางลมแปรเปลี่ยนจากมุม $\theta = 0$ ถึง 180 องศา

เนื่องจากในการทดสอบนี้หุ่นจำลองที่ใช้ เป็นหุ่นจำลองแบบแข็ง ผลการทดสอบที่ได้จึงเป็นค่าเฉลี่ยที่ไม่รวมผลการกระชอก ในการหาค่าโมเมนต์รอบจุดยึดแน่นเฉลี่ยนั้น พิจารณาจากหุ่นจำลองที่มีอัตราการย่อส่วน 1:500 เพื่อหลีกเลี่ยงผลจากการปิดกัน โดยใช้ข้อมูลประกอบดังต่อไปนี้

1. ความเร็วลมเฉลี่ยต่อชั่วโมง 40 เมตรต่อวินาที ที่ความสูงเกรเดียนต์
2. ความหนาแน่นของอากาศ 1.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$M_{TOP} = C_{mTOP} A_T X_T q$$

$$M_{BOT} = C_{mBOT} A_T X_T q$$

$$M_{TOT} = C_{mTOT} A_T X_T q$$

$$C_m = \text{สัมประสิทธิ์โมเมนต์ จากตารางที่ 4.7}$$

$$A_T = \text{พื้นที่รับแรงลมของคานแนว 19}$$

$$= 545.85 \text{ ตารางเมตร}$$

$$X_T = \text{จุดศูนย์กลางถ่วงของพื้นที่รับแรงลมรอบปลายยึดแน่นของคานแนว 19}$$

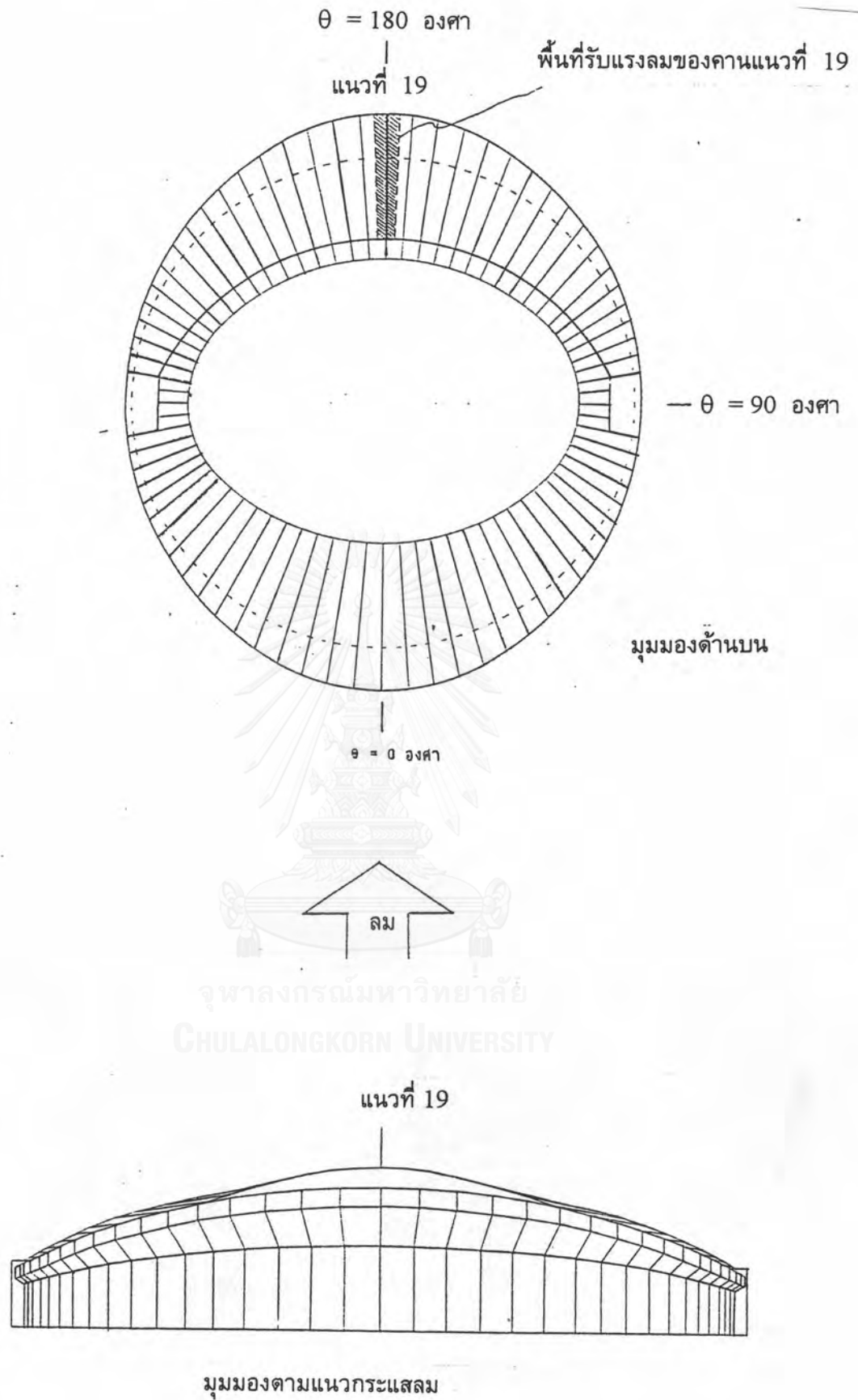
$$= 26.6503 \text{ เมตร}$$

$$q = \text{ความดันพลวัตที่ความสูงเกรเดียนต์}$$

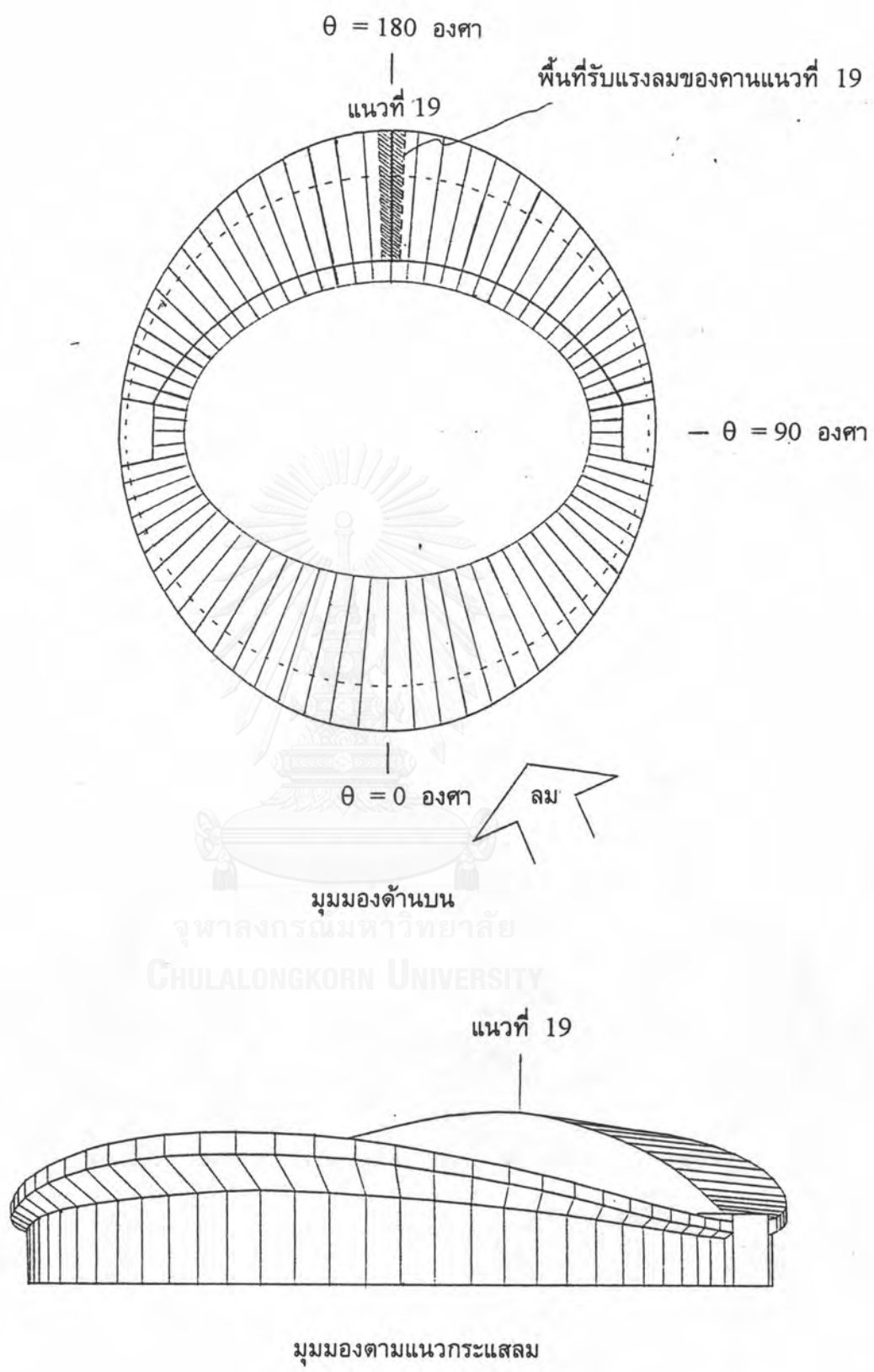
$$= 0.5 \rho V^2$$

$$= 1.000 \text{ กิโลนิวตันต่อตารางเมตร}$$

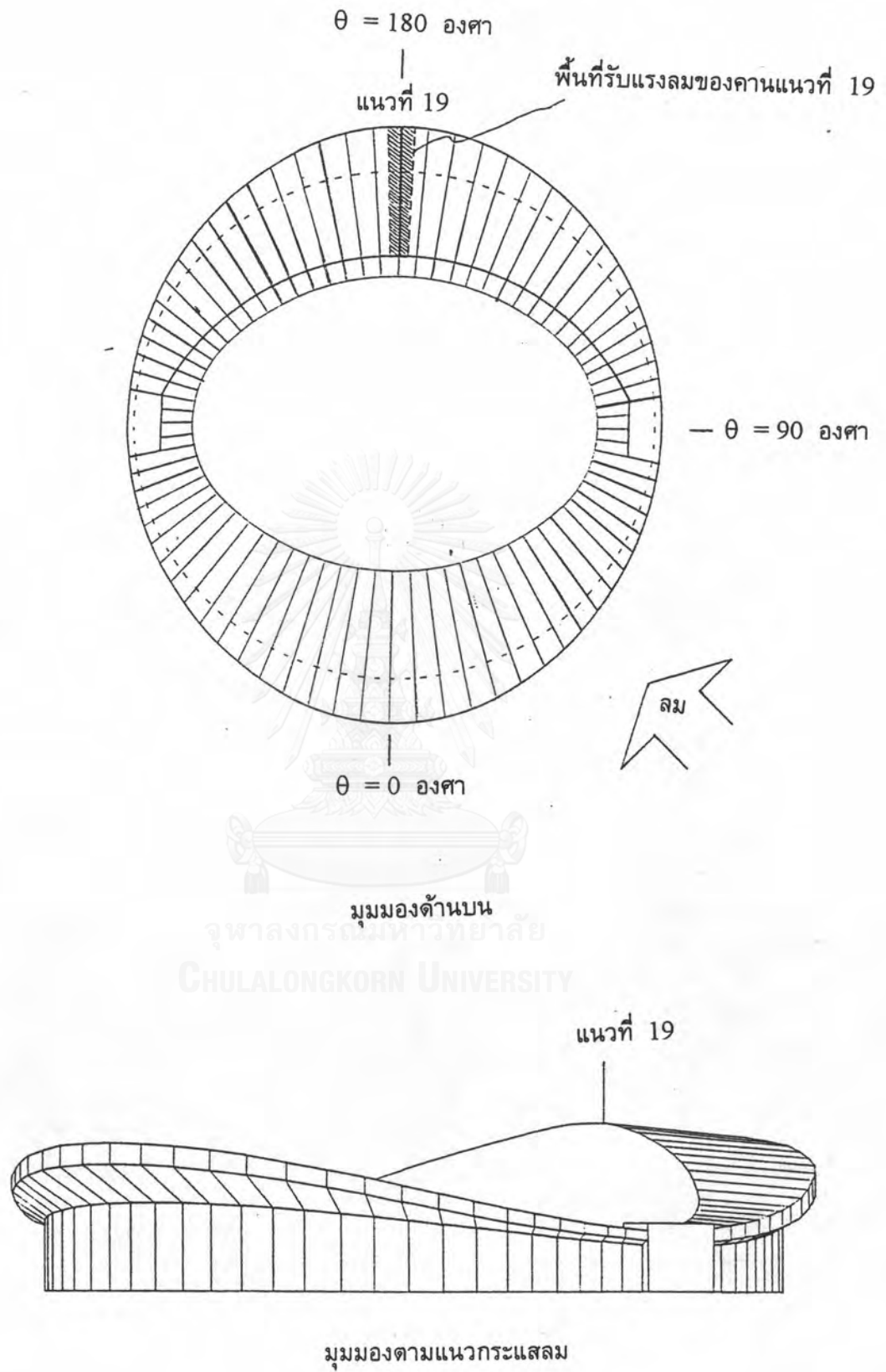
จะได้ค่าโมเมนต์ปลายยึดแน่นเฉลี่ยดังตารางที่ 4.8



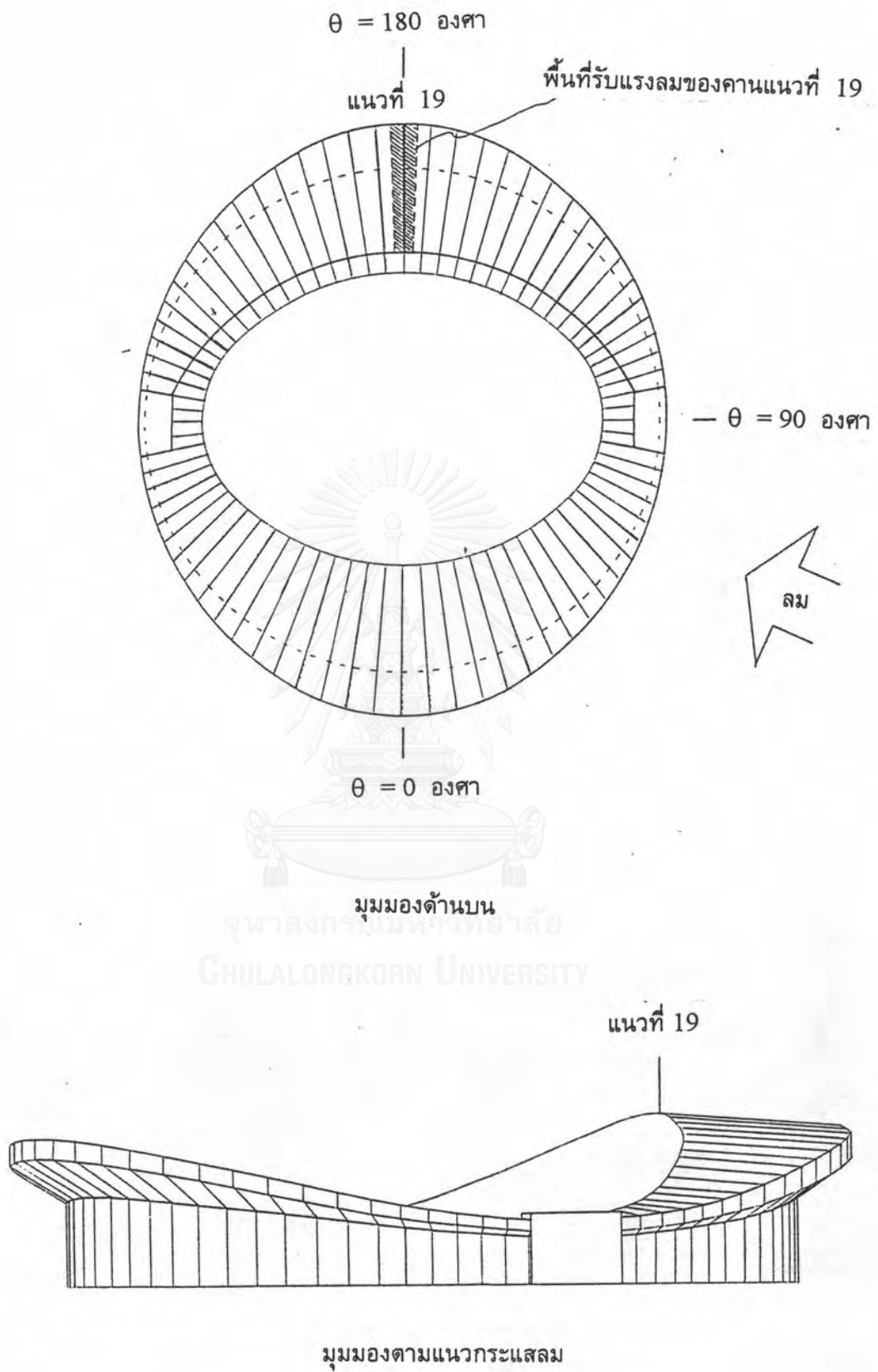
รูปที่ 4.1 ก มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแสดลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 0$ องศา



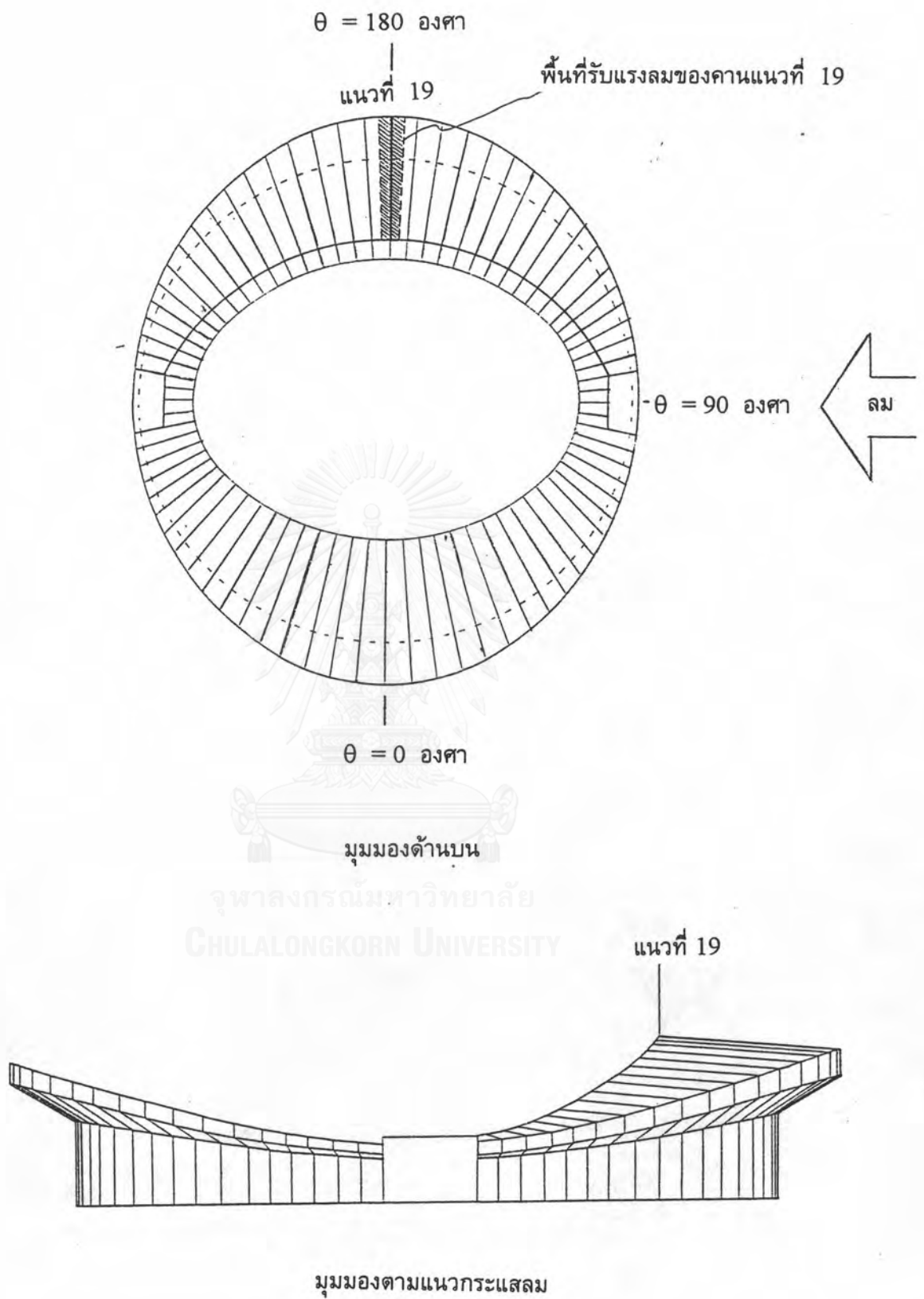
รูปที่ 4.1 ข มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแสลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 22.5$ องศา



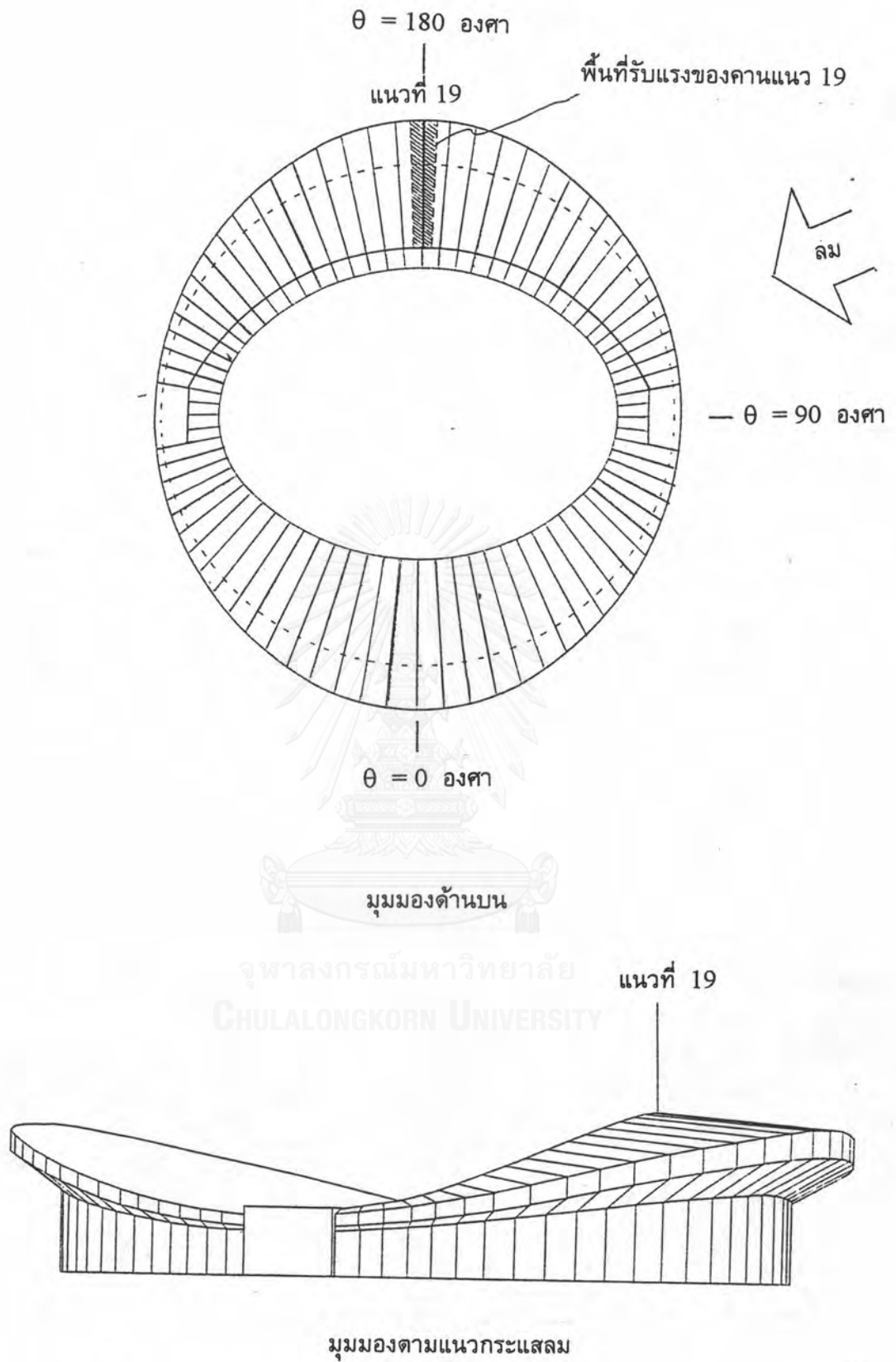
รูปที่ 4.1 ค มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแสลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 45$ องศา



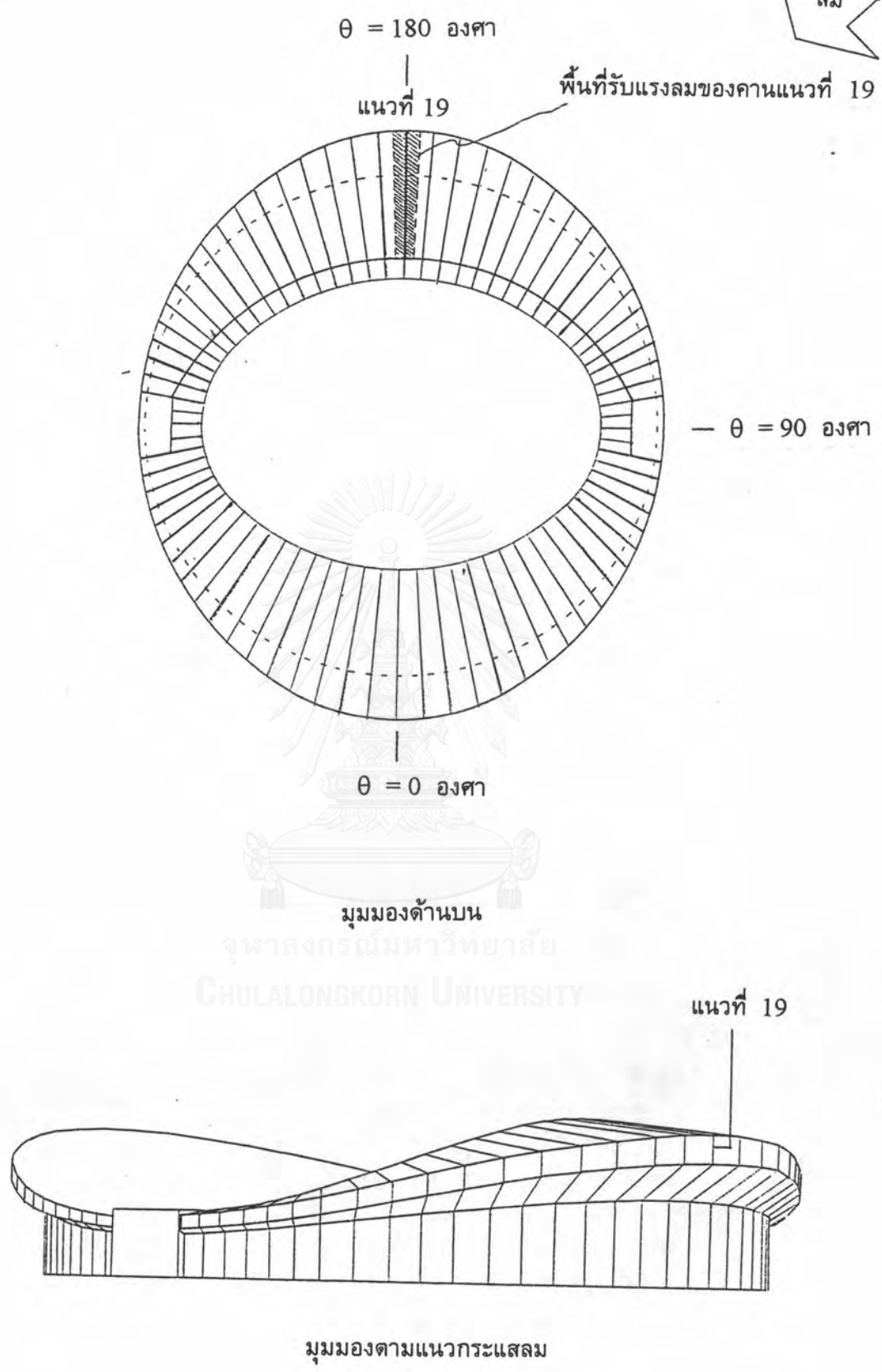
รูปที่ 4.1 ง มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 67.5$ องศา



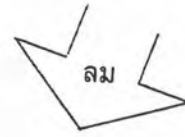
รูปที่ 4.1 จ มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 90$ องศา



รูปที่ 4.1 ฉ มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแสลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 112.5$ องศา



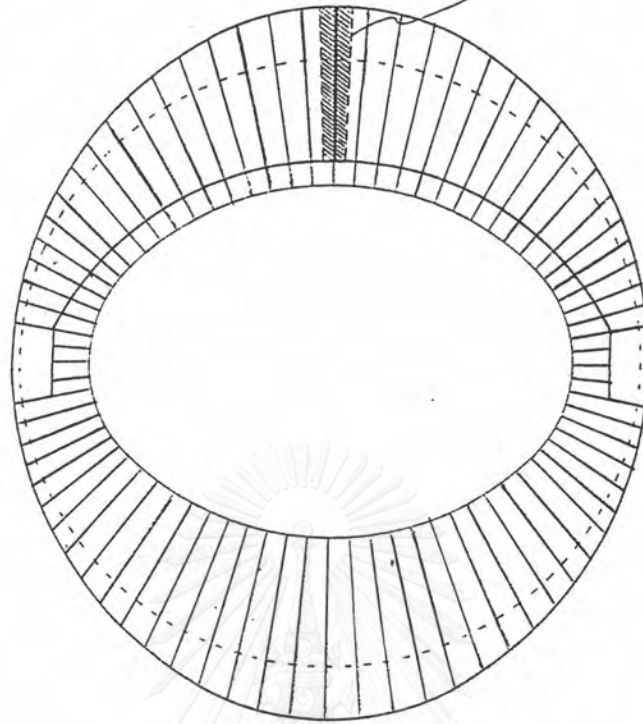
รูปที่ 4.1 ข มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 135$ องศา



$\theta = 180$ องศา

แนวที่ 19

พื้นที่รับแรงลมของคานแนวที่ 19



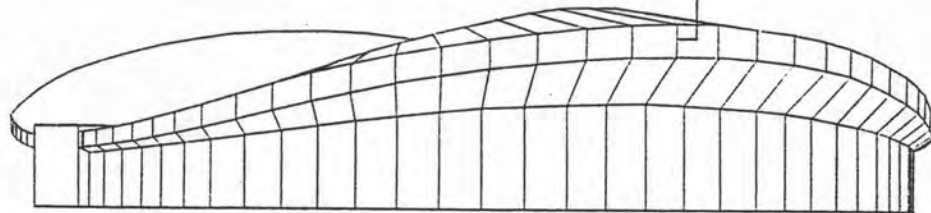
$\theta = 90$ องศา

$\theta = 0$ องศา

มุมมองด้านบน

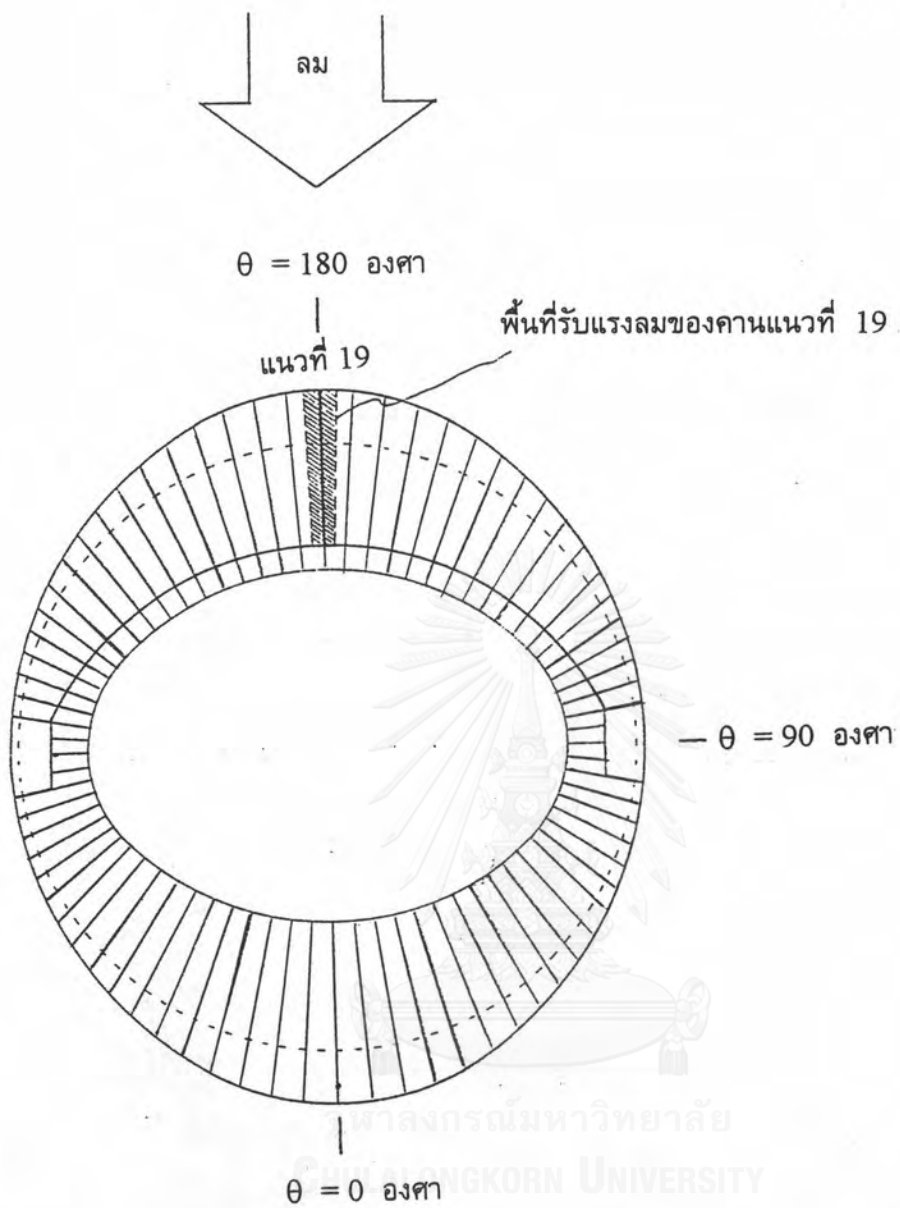
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แนวที่ 19



มุมมองตามแนวกระแสลม

รูปที่ 4.1 ข มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแสลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 157.5$ องศา



รูปที่ 4.1 ฉ มุมมองด้านบนและด้านแนวกระแสลมของสนามกีฬาเมื่อ $\theta = 180$ องศา

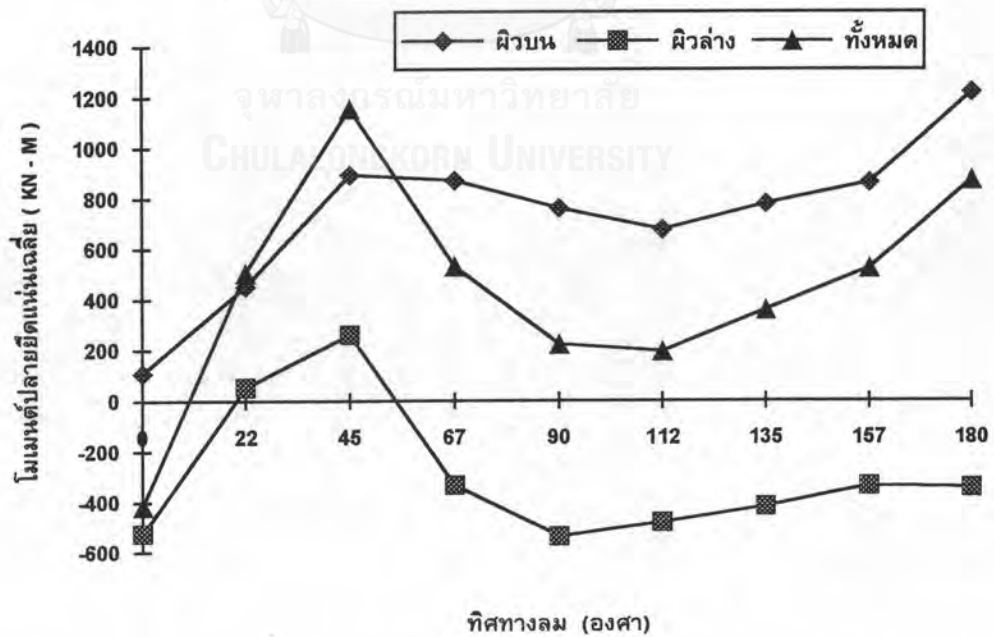
ตารางที่ 4.8 ค่าโมเมนต์ปลายยึดแน่นเฉลี่ยของคานยื่นแนว 19 กรณีไม่มีช่องเปิด

ทิศทางลม (องศา)	โมเมนต์เฉลี่ย (กิโลนิวตัน-เมตร)			แรงเฉลี่ย (กิโลนิวตัน)		
	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.0	1086	-5247	-4160	40.8	-196.9	-156.1
22.5	4535	543	5079	170.2	20.4	190.6
45.0	8939	2624	11562	335.4	98.4	433.9
67.5	8714	-3354	5341	327.0	-125.9	200.4
90.0	7608	-5378	2230	285.5	-201.8	83.7
112.5	6784	-4816	1968	254.6	-180.7	73.8
135.0	7796	-4198	3598	292.5	-157.5	135.0
157.5	8620	-3373	5266	323.5	-126.6	197.6
180.0	12218	-3467	8733	458.5	130.1	327.7

โดยที่ แรงยกขึ้น เป็นบวก แรงกดลง เป็นลบ

โมเมนต์บวก เป็นผลมาจากแรงลมมีทิศยกขึ้น

โมเมนต์ลบ เป็นผลมาจากแรงลมมีทิศกดลง



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์ปลายยึดแน่นเฉลี่ยกับมุม θ กรณีไม่มีช่องเปิด

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.2 พบว่าที่ผิวบนจะเกิดภาวะแรงยกขึ้นทั้งหมดซึ่งเป็นแรงดูดไม่ว่าลมจะเข้าในทิศทางใด ในขณะที่ผิวล่างจะเกิดแรงยกขึ้นเช่นกันแต่ว่าเป็นแรงดันเมื่อมุม $\theta = 22.5$ และ 45 องศา เท่านั้น

ในกรณีมุม $\theta = 0$ องศา กระแสลมเข้าปะทะอฉฉฉฉฉฉที่อยู่ด้านตรงข้ามหลังคาก่อน ซึ่งอฉฉฉฉฉฉมีความสูงเกือบเท่าโครงสร้างหลังคา ทำให้กระแสลมบางส่วนเปลี่ยนทิศทางการไหลจากแนวราบขึ้นสู่ด้านบน กระแสลมที่ไหลผ่านพื้นผิวบนของหลังคาจึงมีความเร็วลดลง ทำให้เกิดแรงดูดไม่มากนักเป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นจึงเกิดโมเมนต์บวก ขณะเดียวกันจะมีกระแสลมอีกส่วนหนึ่ง เมื่อไหลผ่านผิวด้านล่างของหลังคา จึงเกิดแรงดูดที่ผิวล่างเป็นผลให้เกิดแรงกดลงจึงเกิดโมเมนต์ลบ ความเร็วลมที่พัดผ่านผิวด้านล่างจะมากกว่าความเร็วลมที่พัดผ่านผิวด้านบน จึงทำให้ที่ผิวล่างมีแรงดูดมากกว่าผิวบน ทำให้แรงลัพธ์มีทิศกดลง ดูรายละเอียด ในรูปที่ 4.3

ในมุม $\theta = 22.5$ องศา นั้น อฉฉฉฉฉฉส่วนที่ขวางแนวลมที่จะพัดเข้าหาคานแนว 19 นั้นมีความสูงลดลงอีกทำให้กระแสลมไหลเข้าสู่พื้นที่รับลมของคานแนว 19 ได้มากขึ้น ความเร็วลมที่ไหลผ่านผิวบนจึงเพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้เกิดแรงดูดที่ผิวบนเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นมากขึ้น ทำให้เกิดโมเมนต์บวก ส่วนที่ผิวด้านล่างนั้น เนื่องจากอฉฉฉฉฉฉที่ขวางทางลมนั้นมีความสูงน้อยกว่าความสูงของคานหลังคา ทำให้ลมเข้าปะทะโดยตรงกับผิวล่างของคานหลังคา ดังนั้นที่ผิวล่างจึงเป็นแรงดัน เป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นทำให้เกิดโมเมนต์บวก ดูรายละเอียดรูปที่ 4.4

ส่วนในกรณีมุม $\theta = 45$ องศา นั้นคล้ายกับกรณีมุม $\theta = 22.5$ องศา แต่ความสูงของอฉฉฉฉฉฉที่ขวางลมอยู่นั้นต่ำกว่ากรณีมุม $\theta = 22.5$ องศา โดยสูงประมาณครึ่งหนึ่งของโครงสร้างหลังคา ลมจึงโดนกีดขวางน้อยลง ทำให้ด้านผิวบนของหลังคามีความเร็วลมมากกว่ากรณีมุม $\theta = 22.5$ องศา ดังนั้นจึงเกิดแรงดูดที่ผิวบนเป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นมากกว่ากรณีมุม $\theta = 22.5$ องศา ส่วนที่ผิวล่างลมก็เข้าปะทะกับผิวด้านล่างได้มากขึ้นเนื่องจากมีช่องให้ลมเข้า ดังรูปที่ 4.1ค ดังนั้นที่ผิวล่างจึงเกิดแรงดันเป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้นมากกว่ากรณีมุม $\theta = 22.5$ องศา แรงทั้งผิวบนและผิวล่างที่เพิ่มขึ้นนั้น มีทิศยกขึ้นด้วยกัน ดังนั้นแรงที่เพิ่มจึงเสริมกัน ทำให้กรณีนี้เกิดแรงลัพธ์เป็นแรงยกขึ้นมากที่สุด ดูรายละเอียดรูปที่ 4.5

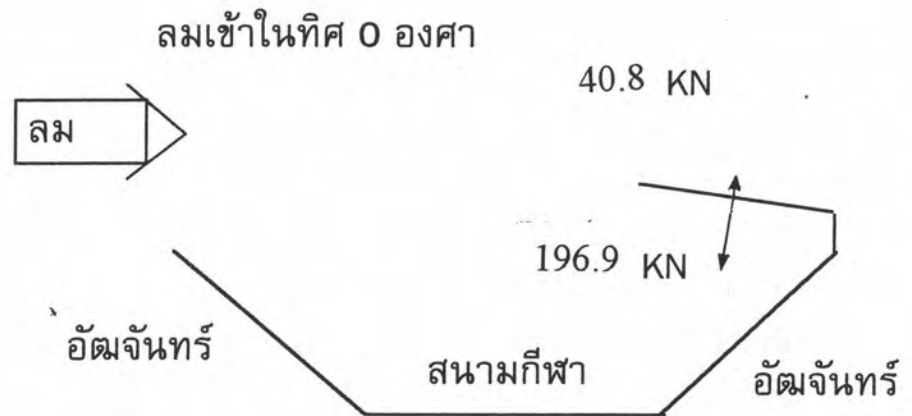
กรณีมุม $\theta = 67.5$ องศา ผิวล่างของหลังคาจะไม่โดนกระแสลมเข้าปะทะโดยตรงเพราะว่าหลังคาส่วนที่อยู่ใกล้ ๆ กับสกอร์บอร์ดนั้นมาขวางกันแนวกระแสลม โดยดูจากรูปที่ 4.2 ง ที่ผิวด้านล่างของหลังคาจึงมีกระแสลมที่ไหลผ่านเท่านั้น ทำให้เกิดแรงดูดเป็นผลให้เกิดแรงยกขึ้น ผิวบนนั้นก็มีลมพัดผ่านในสภาพที่มีความเร็วมากกว่าความเร็วลมที่ผิวล่าง ทำให้ผลรวมของแรงลัพธ์เป็นแรงยกขึ้น

กรณีมุม $\theta = 90$ ถึง 180 องศา ลมจะพัดผ่านผิวหลังคาส่วนอื่นที่ขวางทางลม ดังรูปที่ 4.2 จ - ฉ ก่อนที่จะมาถึงพื้นที่ของคานแนว 19 โดยเฉพาะกรณีมุม $\theta = 180$ องศา นั้นไม่มีสิ่งกีดขวางลมในส่วนที่พัดผ่านผิวบน ทำให้ความเร็วของลมที่พัดผ่านผิวบนของหลังคามีค่ามากกว่าในกรณีมุม $\theta = 90$ ถึง 150 องศา ดังนั้นแรงดูดที่ผิวบนเมื่อมุม $\theta = 180$ องศาจึงสูงมาก ส่วนที่ผิวล่างเป็นพื้นที่ที่ไม่โดนกระแสลม แต่กระแสลมที่พัดผ่านผิวบนทำให้อากาศที่อยู่ใต้หลังคาเกิดการไหลด้วย ดังนั้นจึงเกิดแรงดูดที่ผิวล่างของหลังคา ดังรูปที่ 4.5

จากผลการทดสอบโดยรวมแล้ว เกิดค่าโมเมนต์บวกสูงสุดในมุม $\theta = 45$ องศา และโมเมนต์ลบสูงสุดในมุม $\theta = 0$ องศา โดยที่ยังไม่รวมผลจากค่าตัวประกอบการกรรโชกของลม (Wind Gust Factor) หรือค่า Dynamic Amplification ที่เป็นผลจากความชะลูดของโครงสร้างหลังคา

$M_{TOTAL, +}$	=	+ 11562	กิโลนิวตัน-เมตร
$M_{TOTAL, -}$	=	- 3233	กิโลนิวตัน-เมตร
$F_{TOTAL, +}$	=	+ 433.9	กิโลนิวตัน
$F_{TOTAL, -}$	=	-121.5	กิโลนิวตัน

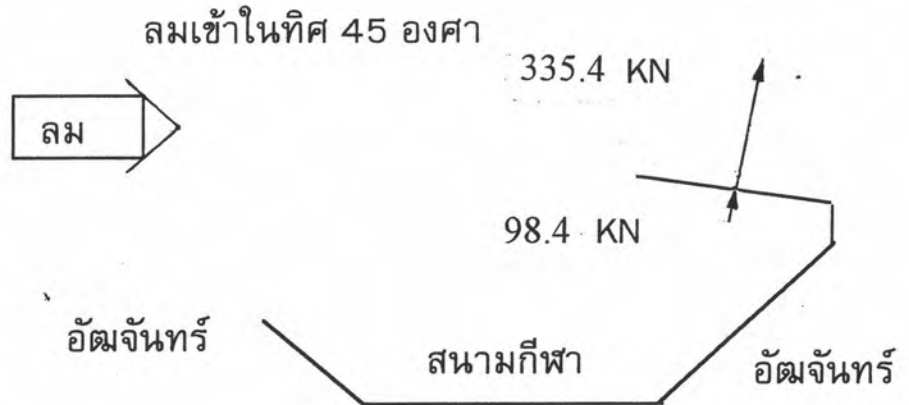
โดยที่ โมเมนต์บวก เป็นผลมาจากแรงลมมีทิศยกขึ้น
 โมเมนต์ลบ เป็นผลมาจากแรงลมมีทิศกดลง



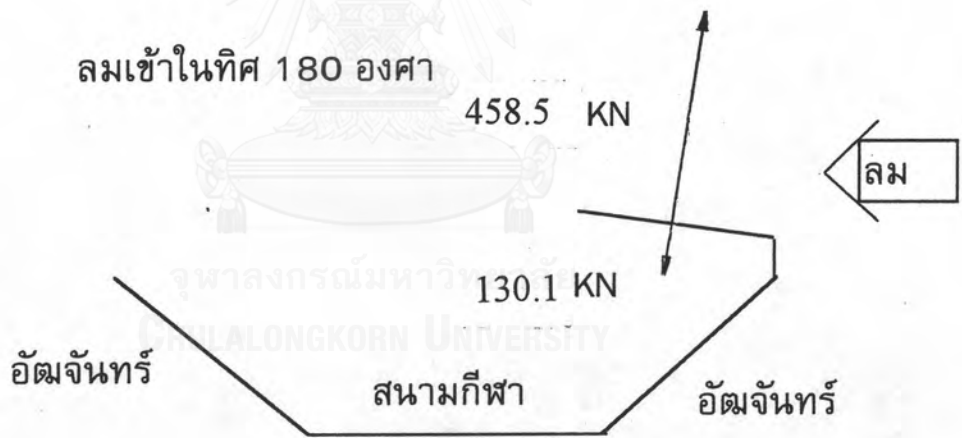
รูปที่ 4.3 รูปแสดงขนาดและทิศของแรงลม ในมุม $\theta = 0$ องศา



รูปที่ 4.4 รูปแสดงขนาดและทิศของแรงลม ในมุม $\theta = 22.5$ องศา



รูปที่ 4.5 รูปแสดงขนาดและทิศของแรงลม ในมุม $\theta = 45$ องศา



รูปที่ 4.6 รูปแสดงขนาดและทิศของแรงลม ในมุม $\theta = 180$ องศา

3. ผลกระทบของอัตราส่วนโซลิดิตี (Solidity Ratio, SR)

ในการทดสอบเลือกใช้หุ่นจำลองที่มีขนาดย่อส่วน 1:500 เพื่อลดผลจากการปิดกันและทำการทดสอบในมุม $\theta = 0$ และ 45 องศา เพราะว่า ในมุม $\theta = 0$ องศา แรงลัพท์จะมีค่ามากที่สุดสำหรับแรงกดลง และในมุม $\theta = 45$ องศา แรงลัพท์จะมีค่ามากที่สุดสำหรับแรงยกขึ้นโดยที่ด้านล่างของหลังคาส่วนที่เป็นผนังติดกับหลังคาได้ทำเป็นช่องเปิดไว้ตลอดแนวหลังคา โดยมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดเป็น 2.5% ของพื้นที่ความทึบของอิมจันทร์ (SR = 0.975) ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4.9 - 4.10 ซึ่งจะเห็นว่าการมีช่องเปิดด้านหลังอิมจันทร์นี้ ทำให้แรงกระทำกับหลังคามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยราว 5-13 % ผลที่ได้นี้สวนกับความรูสึกทั่วไปที่ว่าช่องเปิดจะทำให้เกิดแรงน้อยลง สำหรับโครงสร้างที่สลับซับซ้อนนั้น การแปรเปลี่ยนในทิศตรงกันข้ามมีความเป็นไปได้ การที่จะสรุปให้ชัดเจนจำต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมอีกพอสมควร ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบข่ายงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย C_m จากการทดสอบหุ่นจำลอง 1:500 กรณี $\theta = 0$ องศา

SR	C_m		
	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.975	0.046	-0.298	-0.252
1.000	0.058	-0.280	-0.222
อัตราส่วนของ C_m (SR = 0.975) เทียบกับ C_m (SR = 1.000)			
	0.793	1.064	1.135

คิดเครื่องหมาย C_m แบบทั้งโครงสร้าง คือ

แรงขึ้นทำให้ C_m เป็น บวก แรงลงทำให้ C_m เป็น ลบ

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ย C_m จากการทดสอบหุ่นจำลอง 1:500 กรณี $\theta = 45$ องศา

SR	Cm		
	ผิวบน	ผิวล่าง	ทั้งหมด
0.975	0.487	0.159	0.646
1.000	0.477	0.140	0.617
อัตราส่วนของ C_m (SR = 0.975) เทียบกับ C_m (SR = 1.000)			
	1.021	1.136	1.047



4. การเปรียบเทียบกับมาตรฐานการเพื่อการออกแบบ CP3

ในการเปรียบเทียบนี้ จะทำการเปรียบเทียบกันในสภาพของลมแบบชานเมือง เนื่องจากในการทดสอบใช้ลมแบบ Uniform Flow และจากข้อมูลลมของกรุงเทพมหานครดังในตารางที่ 2.2 ในบทที่ 2 เป็นค่าความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดต่อชั่วโมงที่ความสูงระดับ 10 เมตร ในสภาพภูมิประเทศแบบที่โล่งเท่ากับ 23.4 เมตรต่อวินาที เนื่องจากในมาตรฐานการเพื่อการออกแบบ CP3 ได้กำหนดค่าความเร็วลมเป็นแบบ 3 วินาทีกัส (3 Second Gust หรือ Gust Speed) ซึ่งเป็นค่าความเร็วลมที่รวมค่าตัวประกอบการกรรโชกของลม (Wind Gust Factor) ไว้แล้ว ดังนั้นจึงต้องทำปรับเทียบความเร็วลมเฉลี่ยสูงสุดต่อชั่วโมงเป็นค่าความเร็วลมเป็นแบบ 3 วินาทีกัสเท่ากับ 35.1 เมตรต่อวินาที เพื่อให้สามารถครอบคลุมการกรรโชกของลมด้วย ดูรายละเอียดวิธีการได้จากภาคผนวก ค

ความเร็วลมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแรงและโมเมนต์ที่ฐานนั้นเป็นความเร็วลมที่ระดับหลังคา มีค่าเท่ากับ 45.4 เมตรต่อวินาที โดยทำการคำนวณจากสมการที่ 2.10 ในบทที่ 2

รายละเอียดที่ใช้ประกอบการคำนวณหาแรงและโมเมนต์ของงานวิจัยนี้และมาตรฐานเพื่อการออกแบบ CP3 แสดงในตารางที่ 4.11

จากการเปรียบเทียบแรงและโมเมนต์กับมาตรฐานเพื่อการออกแบบ CP3 ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.12 และ 4.15 พบว่า แรงและโมเมนต์จากมาตรฐานการออกแบบ CP3 สูงกว่างานวิจัยนี้มาก ซึ่งส่วนหนึ่งเกิดจากการที่รูปร่างของอาคาร รวมทั้งตำแหน่งของอาคารที่ขวางลมด้วย และอีกส่วนหนึ่งอาจจะมีสาเหตุจากการที่มาตรฐานเพื่อการออกแบบได้เผื่อสำหรับค่าตัวประกอบต่างๆ ไว้แล้วก็ได้โดยเฉพาะใน CP3 นั้นไม่ได้มีรายละเอียดเกี่ยวกับว่า มีการเผื่อสำหรับการมีอาคารอยู่ด้านข้างหรือด้านหน้าหรือไม่ รวมทั้งไม่ได้ระบุเกี่ยวกับค่า C_p ว่าตัวใดควรใช้สำหรับลมเข้าทางด้านหน้าหรือด้านหลัง

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบรายละเอียดที่ใช้ในการคำนวณค่าแรงและโมเมนต์

รายละเอียด	งานวิจัยนี้	CP3 [10]
1. คาบเวลาการย้อนกลับ	50	50
2. ประเภทของความเร็วลม	ความเร็วกัส 3 วินาที (เทียบเท่าจากความเร็ว เฉลี่ยต่อชั่วโมง)	ความเร็วกัส 3 วินาที
3. ความดันพลวัตที่ระดับอ้างอิง	เกรเดียนต์	เกรเดียนต์
4. ความเร็วลมที่ระดับอ้างอิง (เมตรต่อวินาที)	45.4 ที่ระดับหลังคา	35.1 ที่ระดับ 10 เมตร
5. ในสภาพการไหลแบบ	ที่โล่ง	ที่โล่ง
6. ค่าตัวประกอบกัส	1.0	1.0
7. มุมเงยของหลังคา (องศา)	5.0	5.0
8. สิ่งกีดขวางรอบข้าง	ตัวอัมจันทร์ที่อยู่ ล้อมรอบ	---

--- หมายถึง ไม่มีการระบุไว้

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบแรงจากการทดสอบ

ทิศทางลม, θ (องศา)	F _{TOTAL} (กิโลนิวตัน)	
	งานวิจัยนี้	CP3 [10]
0.0	-156.1	ลมพัดเข้าทางด้านหน้า 602 / -172
22.5	190.6	
45.0	433.9	
67.5	200.4	
90.0	83.7	-
112.5	73.8	ลมพัดเข้าทางด้านหลัง 602 / -172
135.0	135.0	
157.5	197.6	
180.0	327.7	

แรงยกขึ้น เป็น บวก

แรงกดลง เป็น ลบ

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบแรงจากการทดสอบ

ทิศทางลม, θ (องศา)	M_{TOTAL} (กิโลนิวตัน-เมตร)	
	งานวิจัยนี้	CP3 [10]
0.0	-4160	ลมพัดเข้าทางด้านหน้า 25386 / -7253
22.5	5078	
45.0	11562	
67.5	5341	
90.0	2230	-
112.5	1968	ลมพัดเข้าทางด้านหลัง 8863 / -2532
135.0	3598	
157.5	5266	
180.0	8732	

โมเมนต์ที่เกิดจากแรงยกขึ้น เป็น บวก

โมเมนต์ที่เกิดจากแรงกดลง เป็น ลบ

ตารางที่ 4.14 อัตราส่วนของแรงหรือโมเมนต์เฉลี่ยของงานวิจัยนี้เมื่อเทียบกับมาตรฐานการ
ออกแบบ CP3 ในสภาพลมแบบ Uniform Flow

แรงยกขึ้นมากที่สุด	0.72
แรงกดลงมากที่สุด	0.91
โมเมนต์จากแรงยกขึ้น	0.57
โมเมนต์จากแรงกดลง	0.46

ตารางที่ 4.15 ค่ามุม θ ที่เกิดแรงยกขึ้นหรือกดลงมากที่สุด

	θ (องศา)	
	งานวิจัยนี้	CP3
แรงยกขึ้นมากที่สุด	45	ลมพัดเข้าด้านหน้า
แรงกดลงมากที่สุด	0	ลมพัดเข้าด้านหน้า

5. ผลจากการปิดกั้น

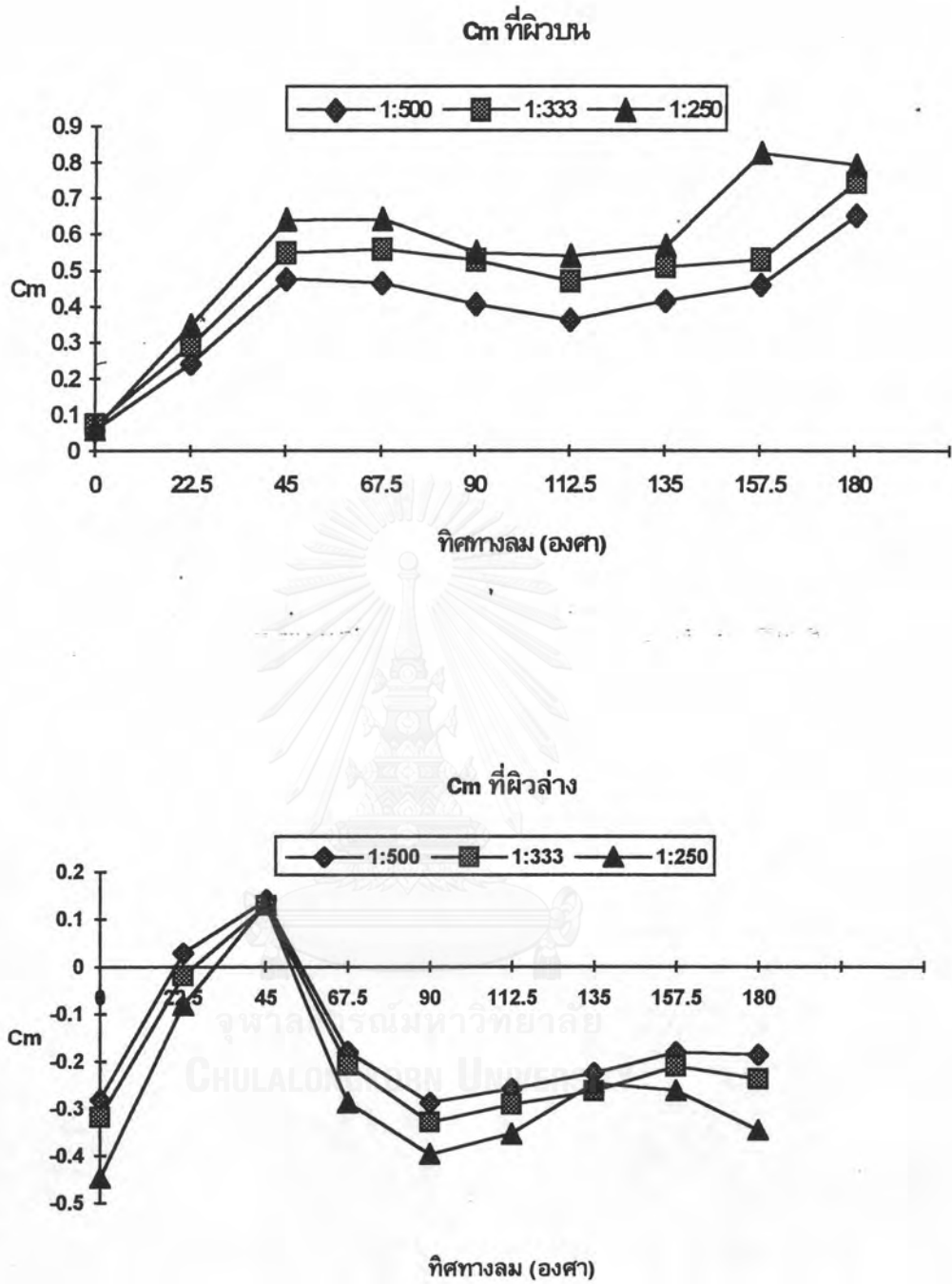
จากการที่ใช้หุ่นจำลองที่ต่างกันมีขนาด 1:250 , 1:333 และ 1:500 พบว่าขนาดของพื้นที่
หุ่นจำลองขนาด 1:333 จะเป็น 2.25 เท่า ของพื้นที่หุ่นจำลองขนาด 1:500

ขนาดของพื้นที่หุ่นจำลองขนาด 1:250 จะเป็น 4 เท่า ของพื้นที่หุ่นจำลองขนาด 1:500

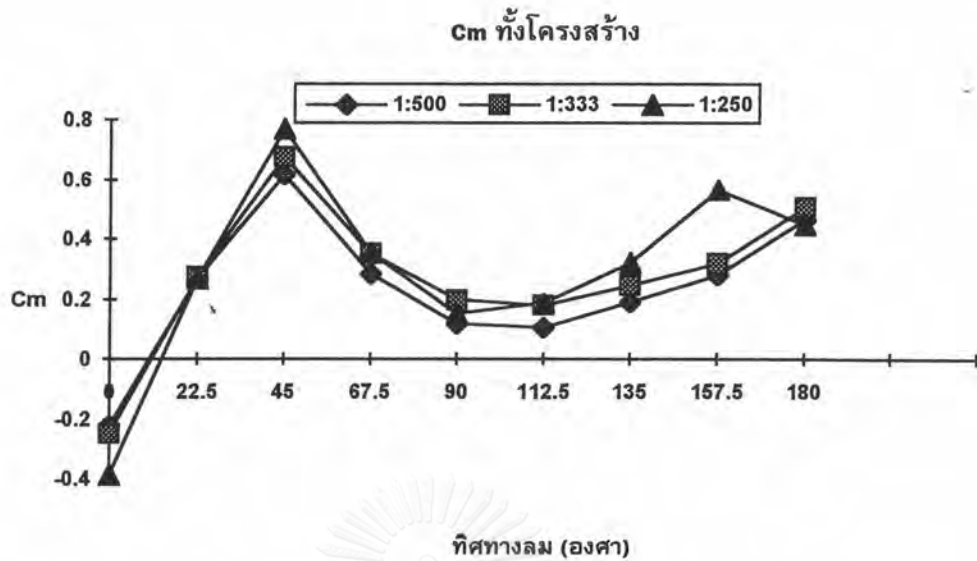
ขนาดของพื้นที่หุ่นจำลองขนาด 1:250 จะเป็น 1.77 เท่า ของพื้นที่หุ่นจำลองขนาด 1:333

5.1 พิจารณาค่า C_m

เมื่อพิจารณาเฉพาะผิวบน ดังรูปที่ 4.6 พบว่า ค่า C_m ของหุ่นจำลองที่มีขนาดใหญ่ขึ้น จะมี
ค่ามากขึ้นในทุกทิศทาง แต่ว่าในแต่ละทิศทางนั้นขนาดการเพิ่มขึ้นนั้นไม่แน่นอน เมื่อดูกราฟของ
 $C_m(1:500)$ เทียบกับ $C_m(1:333)$ กราฟมีลักษณะขึ้นลงคล้ายกัน แต่เมื่อดูเทียบกับ $C_m(1:250)$
พบว่า ในมุม $\theta = 90$ และ $\theta = 157.5$ องศา ค่า $C_m(1:250)$ แตกต่างจากค่า $C_m(1:500)$ และ
 $C_m(1:333)$ ก่อนข้างมาก โดยเฉพาะในมุม $\theta = 157.5$ องศา ค่า $C_m(1:250)$ สูงผิดปกติ และพบว่าที่
มุม $\theta = 0$ องศา ค่า C_m แตกต่างกันน้อยมาก



รูปที่ 4. 6 ค่า Cm ที่ผิว ของคานแนว 19 เมื่อใช้หุ่นจำลอง 3 ขนาด



รูปที่ 4. 7. ค่า Cm ทั้งโครงสร้างของคานแนว 19 เมื่อใช้หุ่นจำลอง 3 ขนาด

เมื่อพิจารณาเฉพาะผิวล่างดังรูปที่ 4.6 เมื่อเทียบค่า $C_m(1:500)$ กับ $C_m(1:333)$ แล้วพบว่ากราฟ C_m มีลักษณะขึ้นลงคล้ายกัน ส่วนที่มุม $\theta = 135$ องศา นั้น ค่า $C_m(1:250)$ ผิดปกติเป็นอย่างมาก คือ $C_m(1:250)$ มีขนาดน้อยกว่า $C_m(1:333)$ และพบว่าที่มุม $\theta = 45$ องศา ค่า C_m ของหุ่นจำลองทั้ง 3 ขนาดแตกต่างกันน้อยมาก

เมื่อพิจารณาค่า C_m ของทั้งโครงสร้าง ดังรูปที่ 4.7 พบว่ากราฟของ $C_m(1:333)$ และ $C_m(1:500)$ นั้นคล้ายกันมาก ส่วน $C_m(1:250)$ นั้นค่อนข้างจะต่างจาก $C_m(1:333)$ และ $C_m(1:500)$ โดยเฉพาะที่มุม $\theta = 90$ องศา นั้น พบว่า ค่า $C_m(1:250)$ นั้นน้อยกว่า $C_m(1:333)$ และที่มุม $\theta = 180$ องศา ค่า $C_m(1:250)$ นั้นใกล้เคียงกับ $C_m(1:500)$ ขณะที่มุม $\theta = 67.5$ องศา และ 112.5 องศา ค่า $C_m(1:250)$ ใกล้เคียงกับ $C_m(1:333)$ มาก และที่มุม $\theta = 157.5$ องศา ค่า $C_m(1:250)$ ก็สูงกว่าค่า $C_m(1:333)$ และ $C_m(1:500)$ มาก

ในมุมที่เกิดแรงกดลงสูงสุด $\theta = 0$ องศา $C_m(1:333)$ จะเป็น 1.11 เท่าของ $C_m(1:500)$ และ $C_m(1:250)$ จะเป็น 1.74 เท่าของ $C_m(1:500)$

ในมุมที่เกิดแรงยกขึ้นสูงสุด $\theta = 45$ องศา $C_m(1:333)$ จะเป็น 1.10 เท่าของ $C_m(1:500)$ และ $C_m(1:250)$ จะเป็น 1.24 เท่าของ $C_m(1:500)$

5.2 พิจารณาค่า K

จากข้อมูล C_m และค่า ε เรานำไปทำการจำลองสมการด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)

$$C_m = K\varepsilon + b \dots \dots \dots (4.1)$$

$$b = \text{ค่าคงที่ใดๆ}$$

$$K = \frac{\Delta C_m}{\Delta \varepsilon} = \text{ค่า } C_m \text{ ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อค่า } \varepsilon \text{ เพิ่มขึ้น } 1\%$$

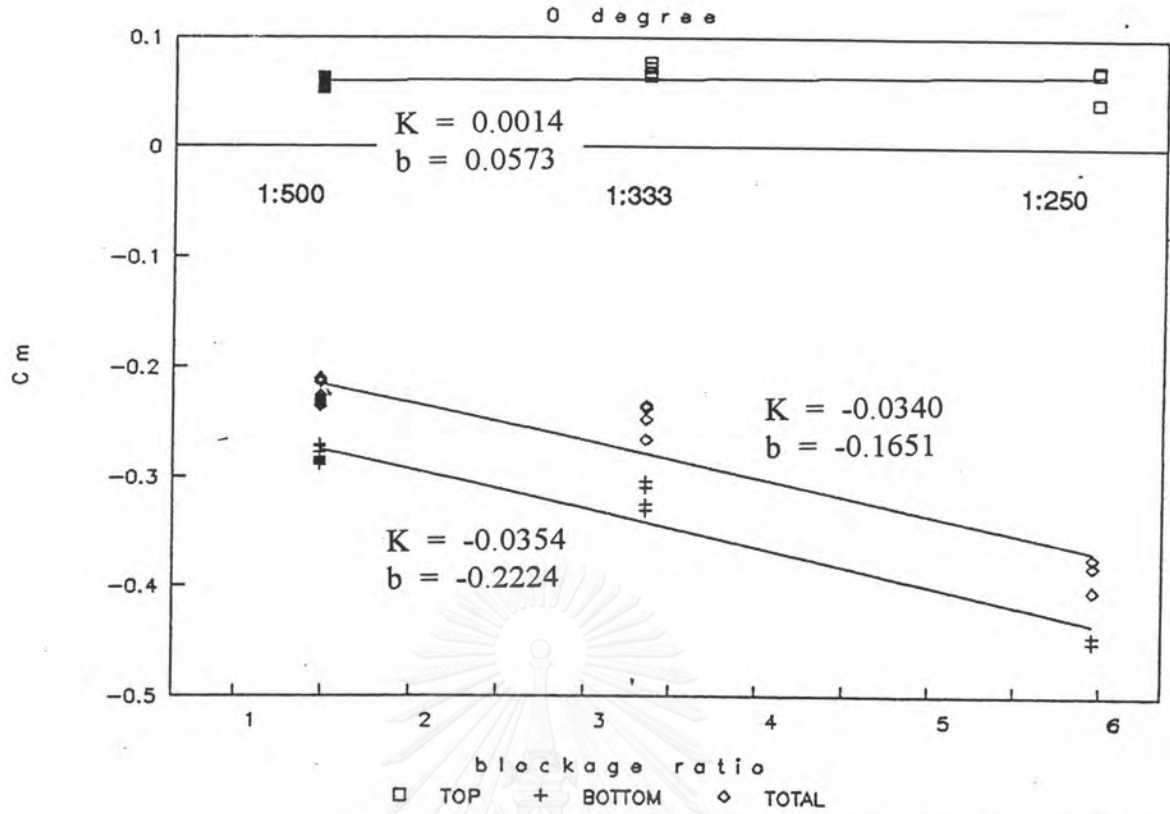
$$\varepsilon = S/C$$

$$S = \text{พื้นที่หน้าตัดของหุ่นจำลอง}$$

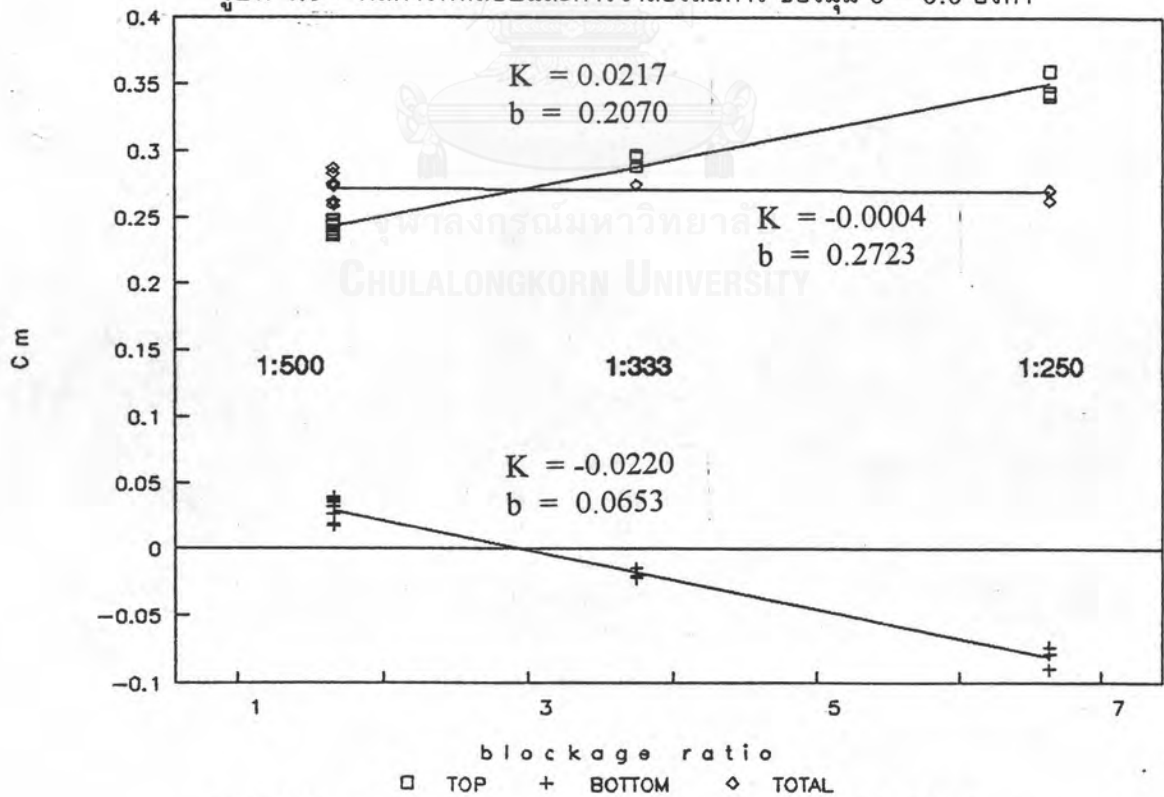
$$C = \text{พื้นที่หน้าตัดของอุโมงค์ลม}$$

รูปที่ 4.9 ถึง 4.17 แสดงกราฟที่ถูกจำลองโดยวิธีการถดถอยเชิงเส้นในแต่ละมุม θ
ตารางที่ 4.16 ค่าพื้นที่ที่ขวางแนวกระแสลมของสนามกีฬาเฉลิมพระเกียรติและหุ่นจำลอง

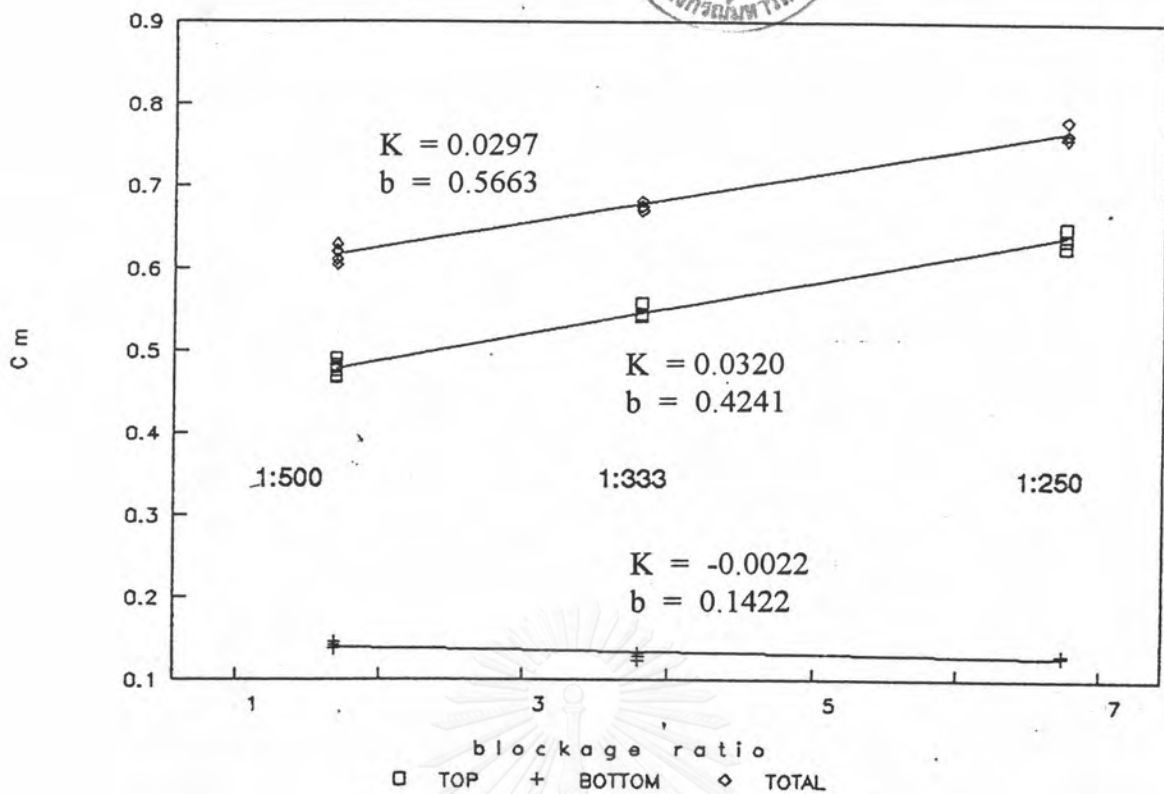
ทิศทางลม θ (องศา)	พื้นที่ที่ขวางลม ในสภาพจริง (ตารางเมตร)	BLOCKAGE RATIO, ε (%)		
		ของหุ่นจำลองขนาด		
		1:500	1:333	1:250
0.0	9530	1.49	3.35	5.96
22.5	10612	1.66	3.73	6.63
45.0	10783	1.68	3.79	6.74
67.5	9663	1.51	3.40	6.04
90.0	7939	1.24	2.79	4.96
112.5	9662	1.51	3.40	6.04
135.0	10773	1.68	3.78	6.73
157.5	10576	1.65	3.72	6.61
180.0	9530	1.49	3.35	5.96



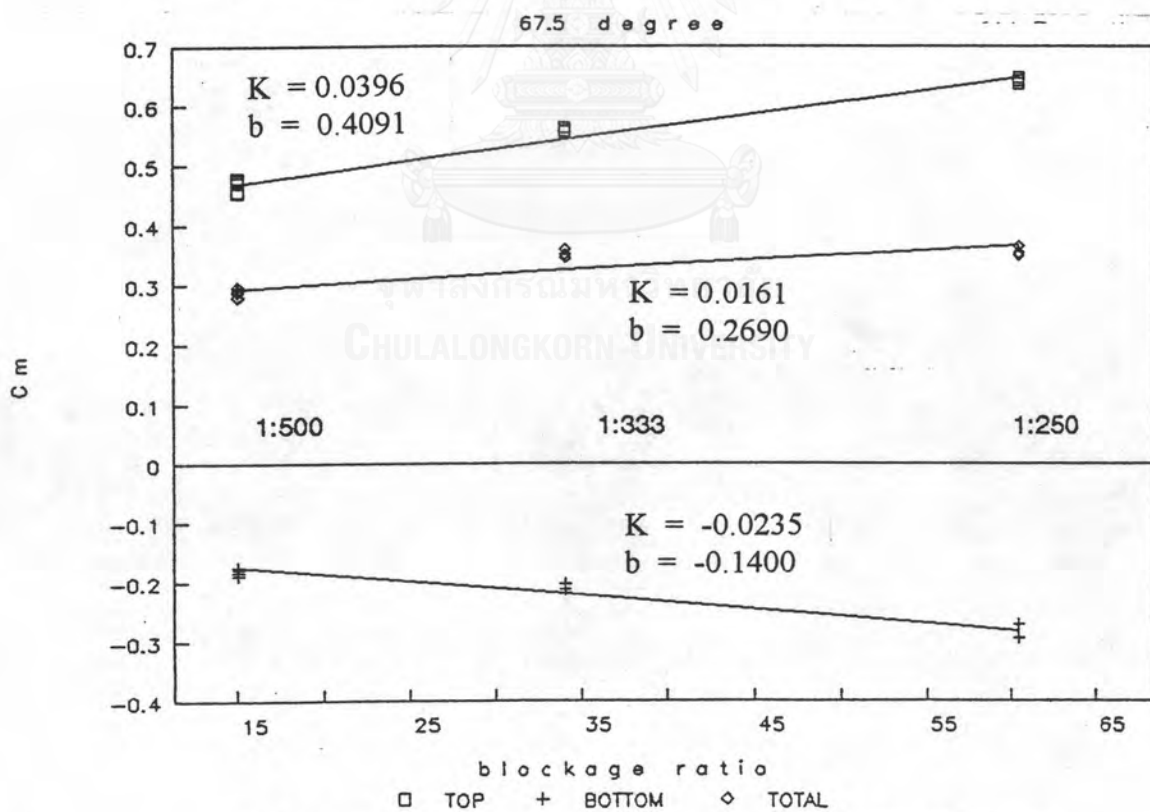
รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 0.0$ องศา



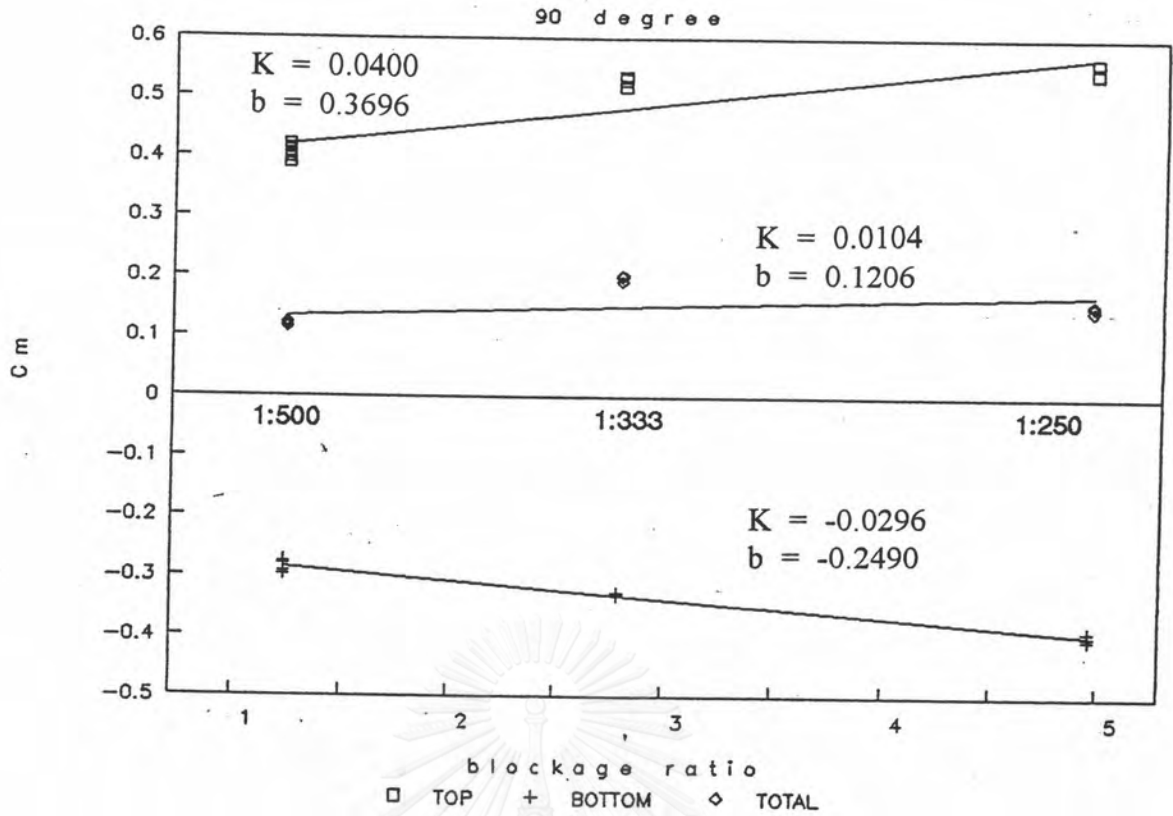
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 22.5$ องศา



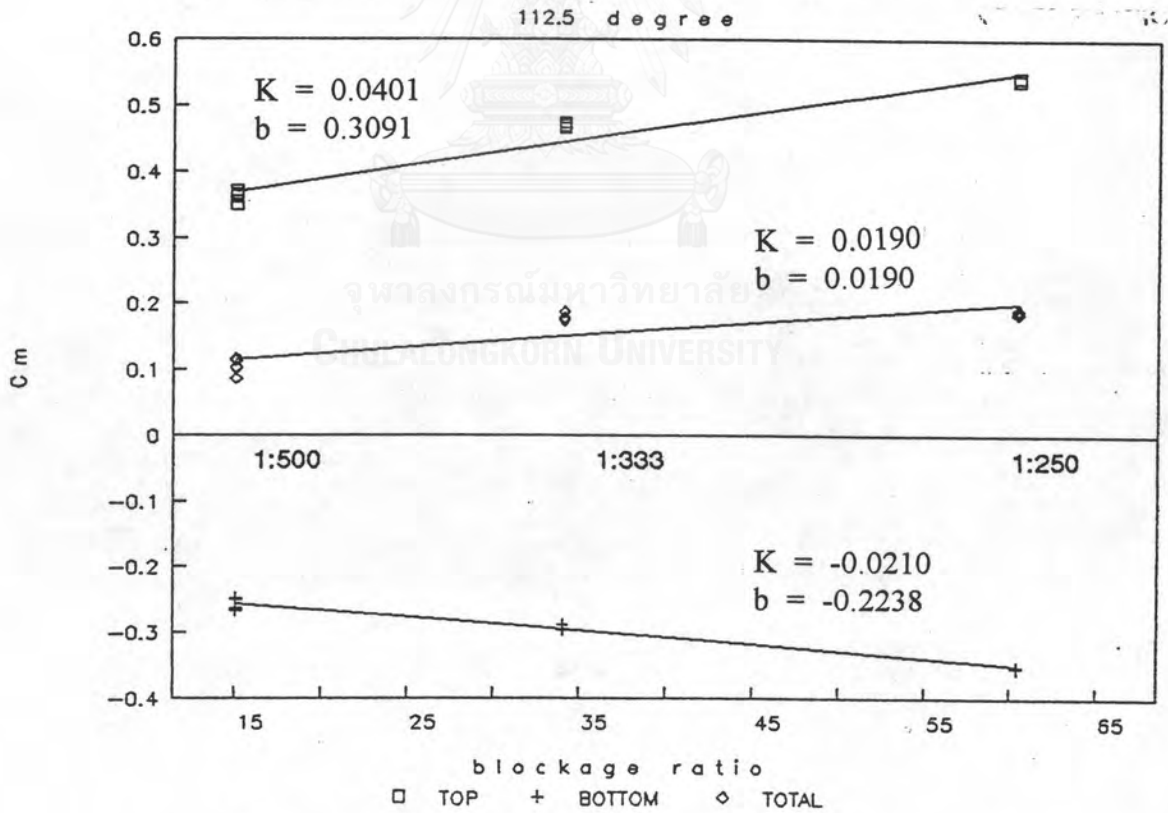
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 45.0$ องศา



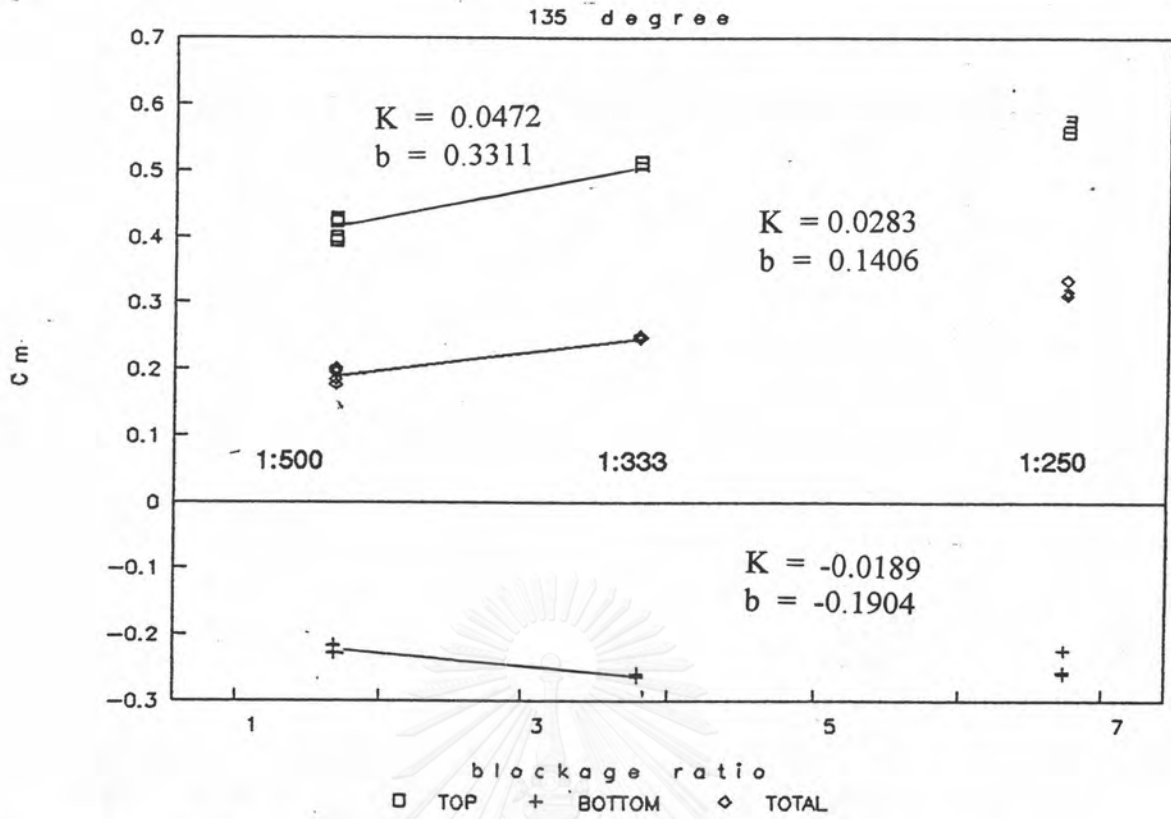
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 67.5$ องศา



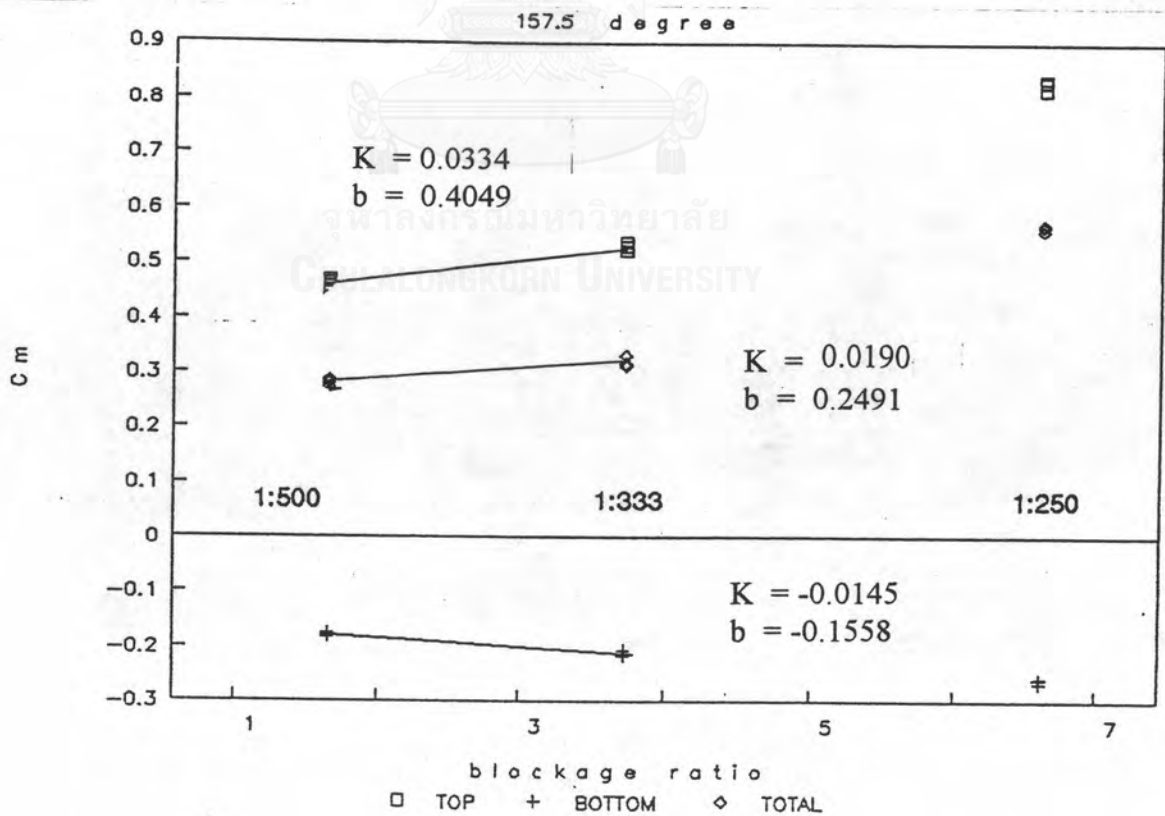
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 90.0$ องศา



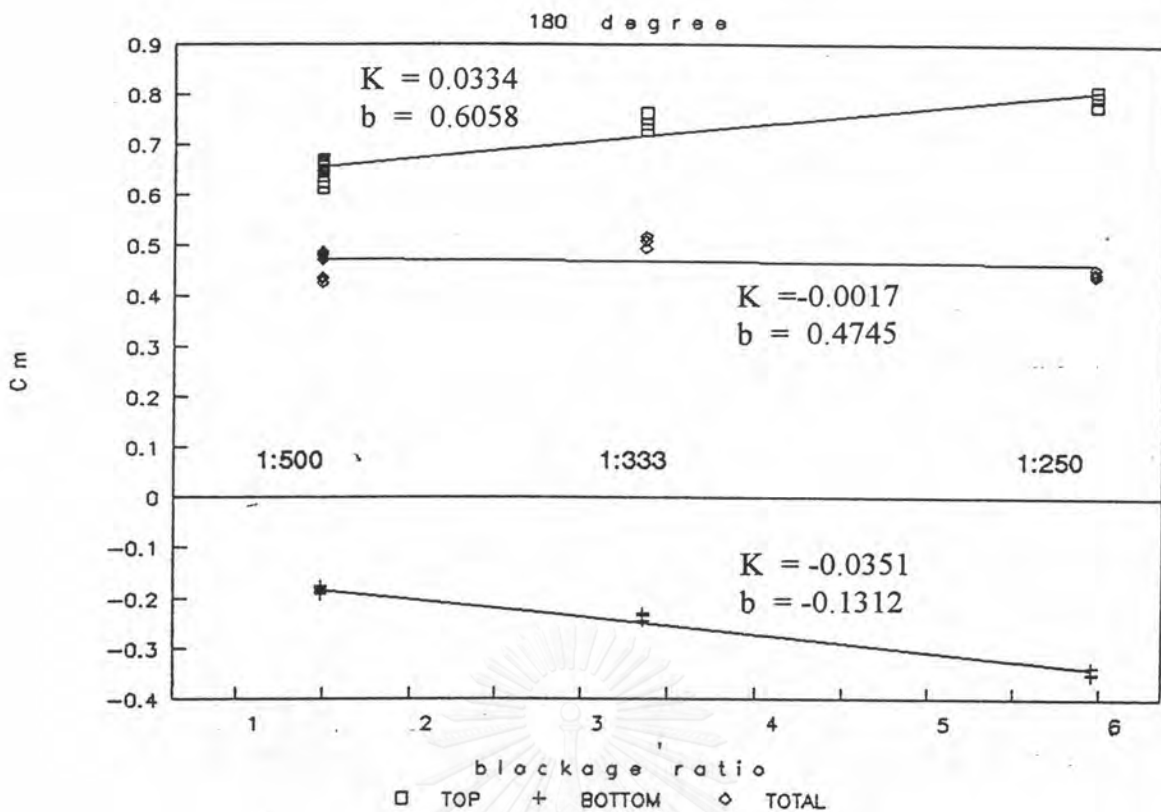
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 112.5$ องศา



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 135.0$ องศา



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 157.5$ องศา



รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบและการจำลองสมการ ของมุม $\theta = 180.0$ องศา

ตารางที่ 4.17 สรุปค่า K จากการทดสอบหุนจำลองขนาด 1: 500 , 1:333 และ 1: 250

ทิศทางลม	K			Π (ค่า K เทียบกับค่า Cm)		
	K _{TOP}	K _{BOT}	K _{TOT}	Π _{TOP}	Π _{BOT}	Π _{TOT}
0.0	0.0014	-0.0354	-0.0340	0.0241	0.1264	0.1532
22.5	0.0217	-0.0220	-0.0004	0.0897	-0.7586	-0.0015
45.0	0.0320	-0.0022	0.0297	0.0671	-0.0157	0.0481
67.5	0.0396	-0.0235	0.0161	0.0852	0.1307	0.0565
90.0	0.0400	-0.0296	0.0104	0.0985	0.1031	0.0874
112.5	0.0401	-0.0210	0.0190	0.1108	0.0817	0.1810
135.0	0.0318	-0.0053	0.0264	0.0764	0.0237	0.1375
***135.0	0.0472	-0.0189	0.0283	0.1135	0.0844	0.1474
157.5	0.0723	-0.0164	0.0559	0.1572	0.1050	0.1989
***157.5	0.0334	-0.0145	0.0190	0.0726	0.0302	0.0676
180.0	0.0334	-0.0351	-0.0017	0.0512	0.1897	-0.0036

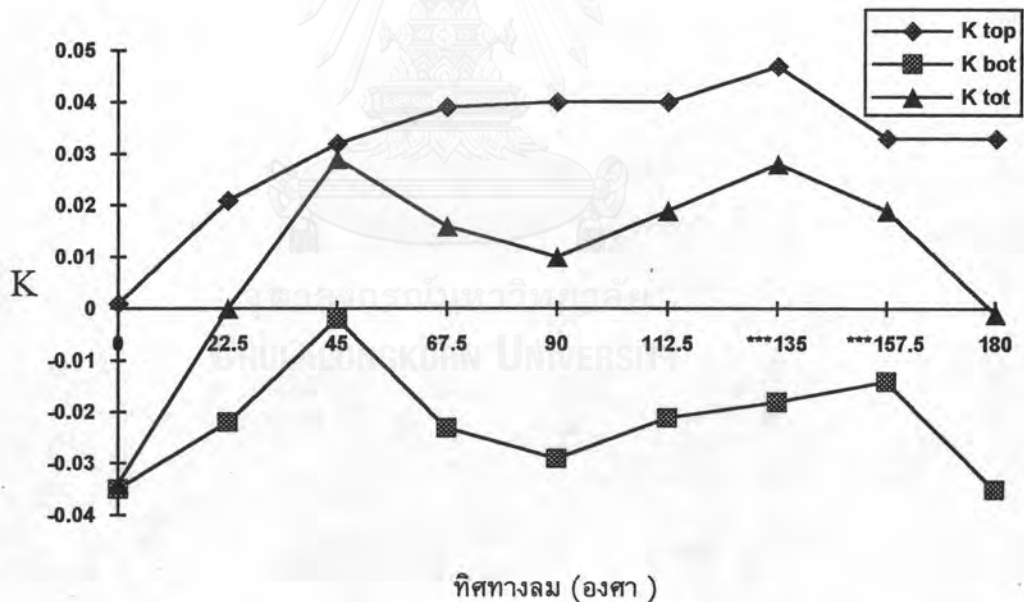
*** เป็นมุมที่ ค่า K มาจากการพิจารณาหุนจำลองขนาด 1:500 และ 1:333 เท่านั้น

เนื่องจากในกรณีมุม $\theta = 135.0$ องศา จากค่า C_m นั้น พบว่า ที่ผิวล่างของหุ่นจำลองขนาด 1:250 มีค่าที่ผิดปกติอยู่ และที่มุม $\theta = 157.5$ องศา พบว่า ที่ผิวบนของหุ่นจำลองขนาด 1:250 มีค่าที่ผิดปกติอยู่ ดังนั้นจึงทำการคำนวณค่า K จากหุ่นจำลองขนาด 1:333 และ 1:500 เท่านั้น ทำให้ได้ค่า K_{TOP} , K_{BOT} และ K_{TOT} ดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.21

ที่ผิวบน จากตารางที่ 4.17 พบว่าค่า K_{TOP} มีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ช่วง 0.0014 ถึง 0.0472 แต่ค่าส่วนมากอยู่ที่ 0.03 ถึง 0.04 ซึ่งหมายความว่า ที่ผิวบนนั้นส่วนใหญ่แล้ว เมื่อ ε เพิ่มขึ้น 1% ค่า C_m จะเพิ่มขึ้น 0.03 ถึง 0.04

ที่ผิวล่างเมื่อดูค่า K_{BOT} พบว่ามีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -0.0022 ถึง -0.0354 ค่าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง -0.01 ถึง -0.03 หมายความว่าเมื่อ ε เพิ่มขึ้น 1% ค่า C_m จะลดลง 0.01 ถึง 0.030

เมื่อดูทั้งโครงสร้างพบว่าค่า K_{TOT} เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -0.0340 ถึง 0.0297 ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.3 หมายความว่าเมื่อ ε เพิ่มขึ้น 1% ค่า C_m จะเพิ่มขึ้น 0.1 ถึง 0.3



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K กับ มุม θ (โดยที่ข้อมูลมาจากหุ่นจำลอง 3 ขนาด ยกเว้น มุม $\theta = 135$ และ 157.5 องศา ที่ข้อมูลมาจากหุ่นจำลอง 1:333 และ 1:500 เท่านั้น)

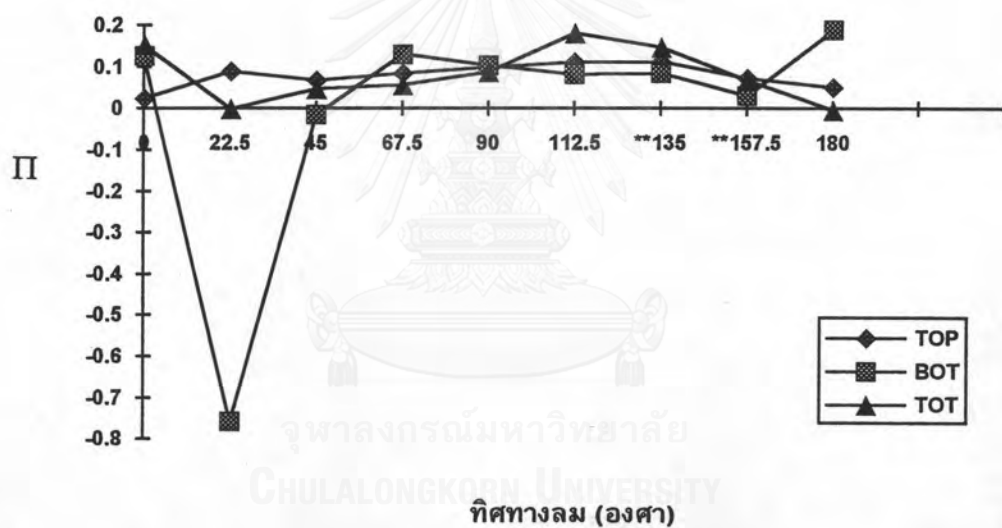
5.3 พิจารณาค่า Π

เมื่อเราพิจารณาค่า Π โดยในมุม $\theta = 135$ และ 157.5 องศา นั้น จะใช้ค่าที่แก้ไขแล้ว โดยที่

$$\Pi = \frac{K}{C_m} = \frac{\Delta C_m}{C_m \Delta \varepsilon}$$

\Rightarrow อัตราส่วนของค่า C_m ที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบค่า $C_m(1:500)$ ซึ่งผิดพลาดน้อยที่สุด เมื่อ ε เพิ่มขึ้น 1%

ค่า Π ดูได้จากตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Π กับมุม θ

ในกรณีมุม $\theta = 22.5$ องศา นั้น เนื่องจากค่าเฉลี่ย C_m นั้นต่ำมาก ทำให้ค่า Π นั้น ผิดปกติ จึงไม่ได้พิจารณากรณีมุม $\theta = 22.5$ องศา นอกนั้นในช่วง 0 องศา ถึง 180 องศา พบว่า

Π_{TOP} อยู่ในช่วงระหว่าง 0.024 ถึง 0.114

Π_{BOT} อยู่ในช่วงระหว่าง -0.015 ถึง 0.190

Π_{TOTAL} อยู่ในช่วงระหว่าง -0.004 ถึง 0.181

ดังนั้น เมื่อ ε เพิ่มขึ้น 1 %

ที่ผิวบน Cm จะเพิ่มขึ้น 2.4 - 11.4 % ของค่าเฉลี่ย Cm ของหุ่นจำลองขนาด 1:500

ที่ผิวล่าง Cm อาจจะลดลงเล็กน้อย 1.5 % ของค่าเฉลี่ยหรืออาจจะเพิ่มขึ้น 0.0 - 19.0 %
ของค่าเฉลี่ย Cm ของหุ่นจำลองขนาด 1:500

ทั้งโครงสร้าง Cm อาจจะลดลงเล็กน้อย 0.4 % ของค่าเฉลี่ยหรืออาจจะเพิ่มขึ้น 0.0 -
18.1 % ของค่าเฉลี่ย Cm ของหุ่นจำลองขนาด 1:500



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY