

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

จากการดำเนินการศึกษาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ผลที่ได้จากการดำเนินการวิจัย และการวิจารณ์ผลจะกล่าวในบทนี้

#### 4.1 ผลการวิจัย

ในการทดสอบหาสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์ลม จะทำการทดสอบหาค่าความเร็วรอบ ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน และแรงที่กระทำที่แขนของมอเตอร์เพื่อทำการหาค่ากำลังที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของอากาศที่หน้าตัดช่วงทำงาน กำลังที่ใช้ในการขับใบพัด ความสม่ำเสมอของการกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม พื้นที่ใช้งานของอุโมงค์ลม และค่าความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลม เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ข้อ 3.1 และ 3.3

การแสดงผลการทดลองเป็นการนำข้อมูลตามภาคผนวก ค. และ ง. ซึ่งแบ่งเป็น 4 ชุด ข้อมูลการทดลอง คือ ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นมุมพิทช์ 23 องศา และใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทช์ 12 องศา 18 องศา และ 23 องศา ในแต่ละการทดลองจะทำการปรับความเร็วรอบในช่วง 0-1,500 รอบต่อนาที จำนวน 6 ค่า ขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับภาระของมอเตอร์โดยจะวัดความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานจำนวน 35 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 3 ครั้ง รวมทั้งหมด 105 ค่าข้อมูล ตลอดทั้งหน้าตัดในช่วงทำงาน วัดค่าแรงที่แขนมอเตอร์ทุก ๆ 1 วินาที และวัดค่าความดันรวมทั้งหน้าตัดๆของอุโมงค์ลม ดังนี้ ช่วงปรับสภาพการไหล ช่วงทำงาน ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล จำนวน 35 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 1 ครั้ง รวมทั้งหมด 35 ค่าข้อมูล ตลอดทั้งหน้าตัด นำข้อมูลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาค่า เรโนลด์นัมเบอร์ สัมประสิทธิ์กำลังและประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม ดังแสดงในตาราง 4.1 - 4.4 และแสดงผลในลักษณะของกราฟแนวโน้มแบ่งเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. กราฟแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับประสิทธิภาพของอุโมงค์ลม และกำลังที่ใช้ในการขับพัดลม และความสัมพัทธ์ระหว่างเรโนลด์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลังดังแสดงในรูป 4.1 - 4.4

2. กราฟพื้นที่เรเงาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการการแจกแจงความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับพื้นที่หน้าตัดช่วงทำงานดังแสดงในรูป 4.5 - 4.8

3. กราฟแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน กับผลต่างความดันรวมทั้งหน้าตัดในช่วงปรับสภาพการไหล ช่วงทำงาน ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล ของอุโมงค์ลม ดังแสดงในรูป 4.9 - 4.12

ตาราง 4.1 สัมประสิทธิ์ไร้หน่วย และสมรรถนะของอุโมงค์ลมที่ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา

ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วที่หน้าตัด ช่วงทำงาน (m/s)	เรโนลด์นัมเบอร์ Re	สัมประสิทธิ์กำลัง $\lambda$	ประสิทธิภาพ $\eta$ (%)
201.83	1.89	147,302	7.39	13.32
314.86	3.06	235,795	6.69	14.94
407.93	4.08	314,653	6.31	15.64
493.67	4.90	377,497	6.22	16.06
615.16	6.09	471,647	6.36	15.73
729.46	7.18	548,047	6.35	15.76

ตาราง 4.2 สัมประสิทธิ์ไร้หน่วยและสมรรถนะของอุโมงค์ลมใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 12 องศา

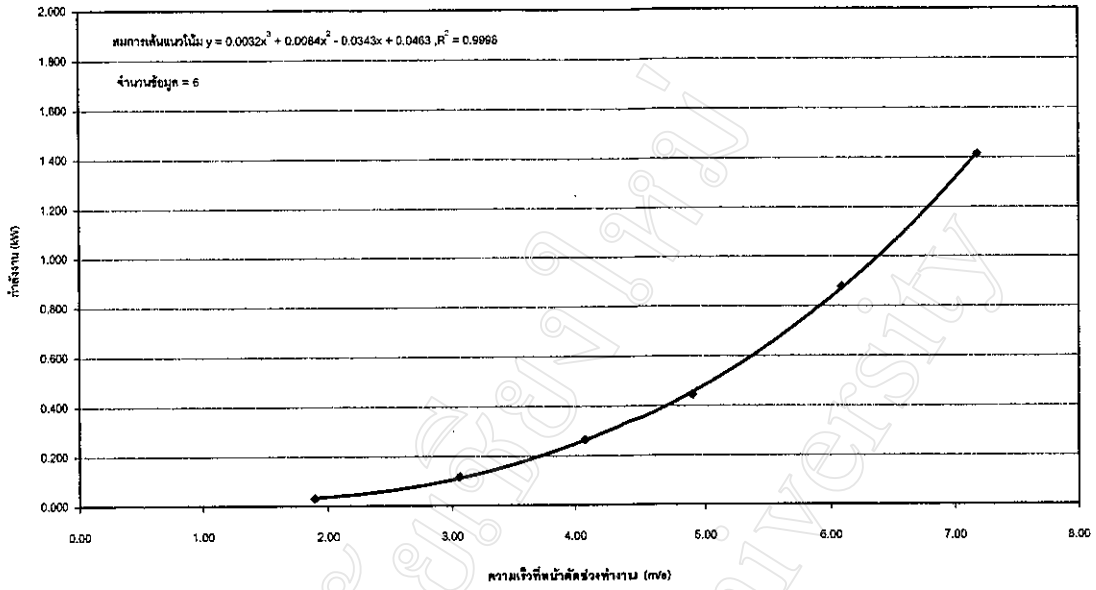
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วที่หน้าตัด ช่วงทำงาน (m/s)	เรโนลด์นัมเบอร์ Re	สัมประสิทธิ์กำลัง $\lambda$	ประสิทธิภาพ $\eta$ (%)
400.32	1.63	129,947	6.47	18.45
599.80	2.43	194,970	5.81	17.21
801.16	3.19	254,744	6.18	16.17
1,003.5	3.80	302,761	6.72	14.88
1,235.02	4.69	376,185	6.22	15.20
1,470.53	5.70	456,363	6.77	14.77

ตาราง 4.3 สัมประสิทธิ์ไรรุ่นและสมรรถนะของอุโมงค์ลมใบพัดหน้าตัดรูปแบนอากาศ มุมพิทช์ 18 องศา

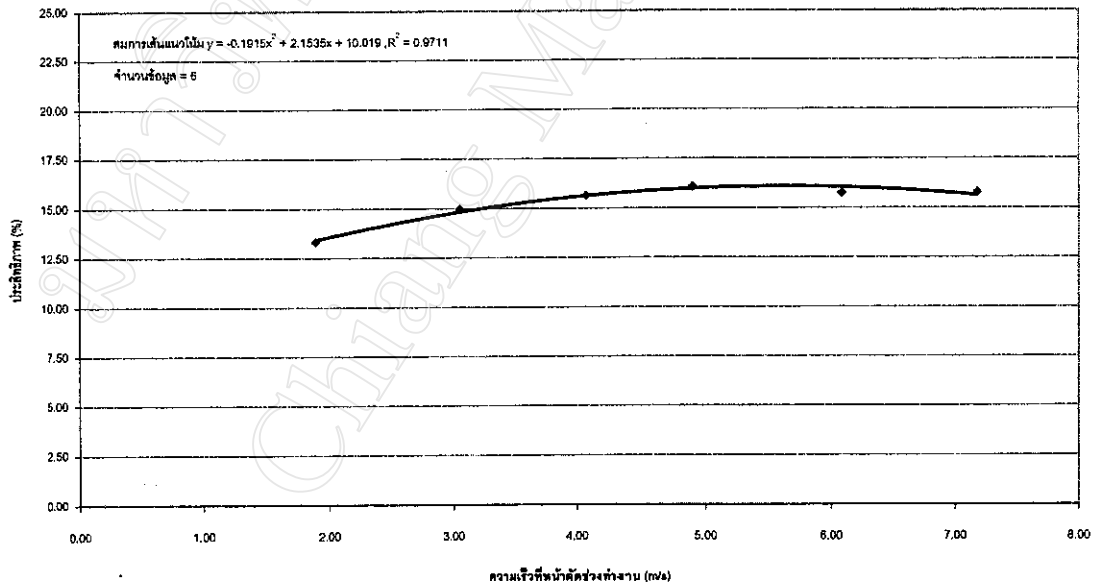
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วที่หน้าตัด ช่วงทำงาน (m/s)	เรโนลด์นัมเบอร์ Re	สัมประสิทธิ์กำลัง $\lambda$	ประสิทธิภาพ $\eta$ (%)
400.49	2.31	185,793	5.70	17.55
599.77	3.43	276,391	5.63	17.76
800.92	4.56	376,864	5.44	18.38
1001.77	5.65	454,373	5.28	18.94
1228.73	6.86	551,783	5.13	19.48
1453.60	8.08	650,451	5.19	19.25

ตาราง 4.4 สัมประสิทธิ์ไรรุ่นและสมรรถนะของอุโมงค์ลมใบพัดหน้าตัดรูปแบนอากาศ มุมพิทช์ 23 องศา

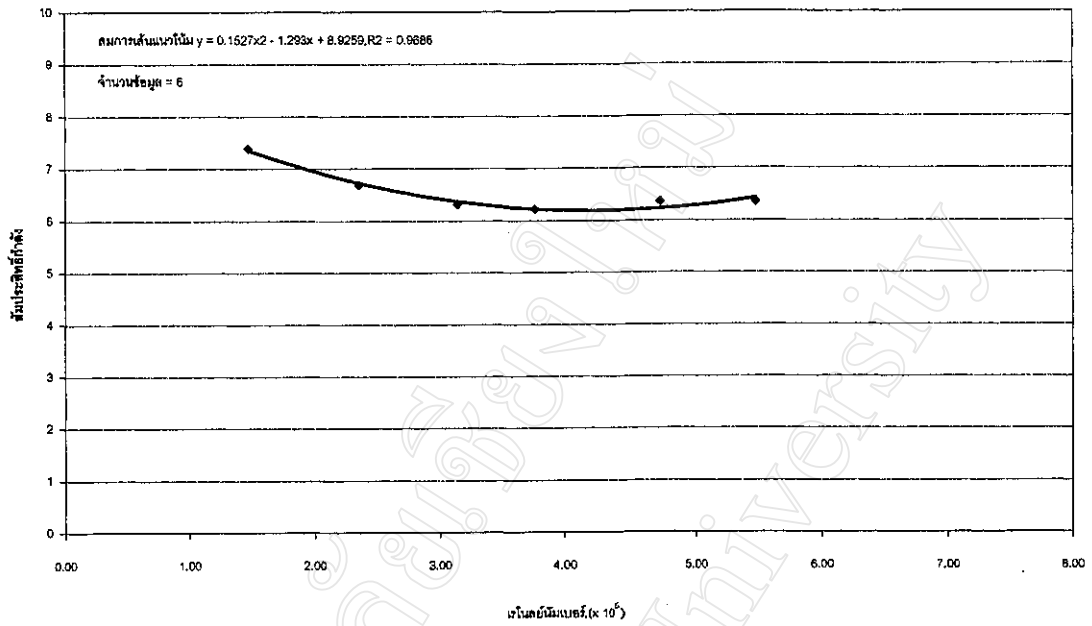
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	ความเร็วที่หน้าตัด ช่วงทำงาน (m/s)	เรโนลด์นัมเบอร์ Re	สัมประสิทธิ์กำลัง $\lambda$	ประสิทธิภาพ $\eta$ (%)
410.92	2.72	216,513	4.90	20.41
613.50	4.11	328,058	5.43	18.41
800.30	5.39	430,261	5.23	19.11
1014.50	6.68	532,936	5.49	18.19
1206.47	8.15	649,532	5.16	19.38
1420.47	9.36	741,753	5.40	18.51



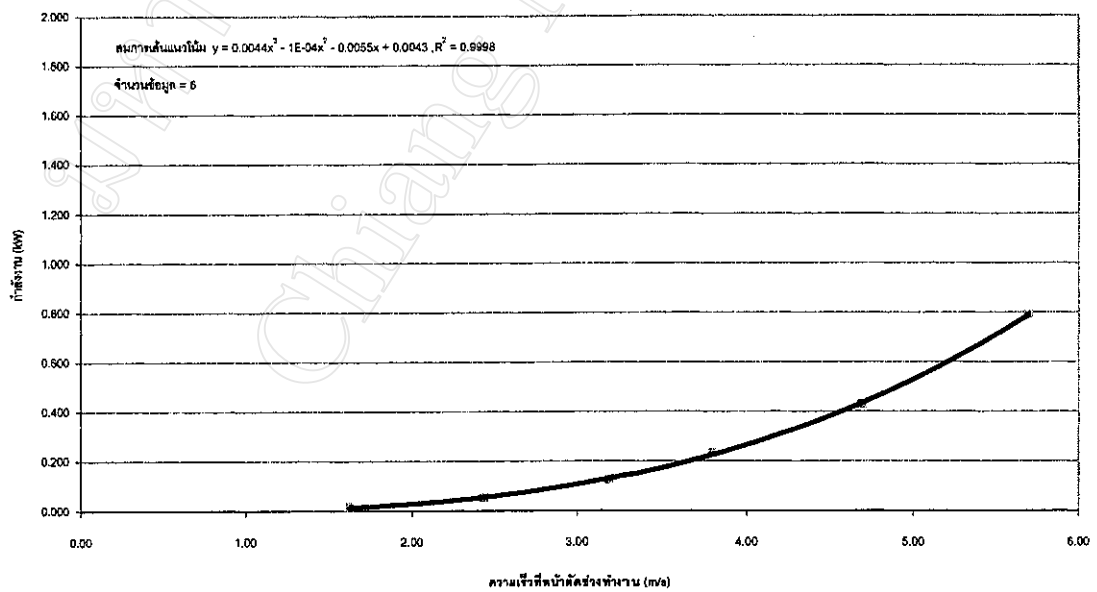
รูป 4.1 (ก) แสดงผลการทดสอบระหว่างกำลังที่ใช้ในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



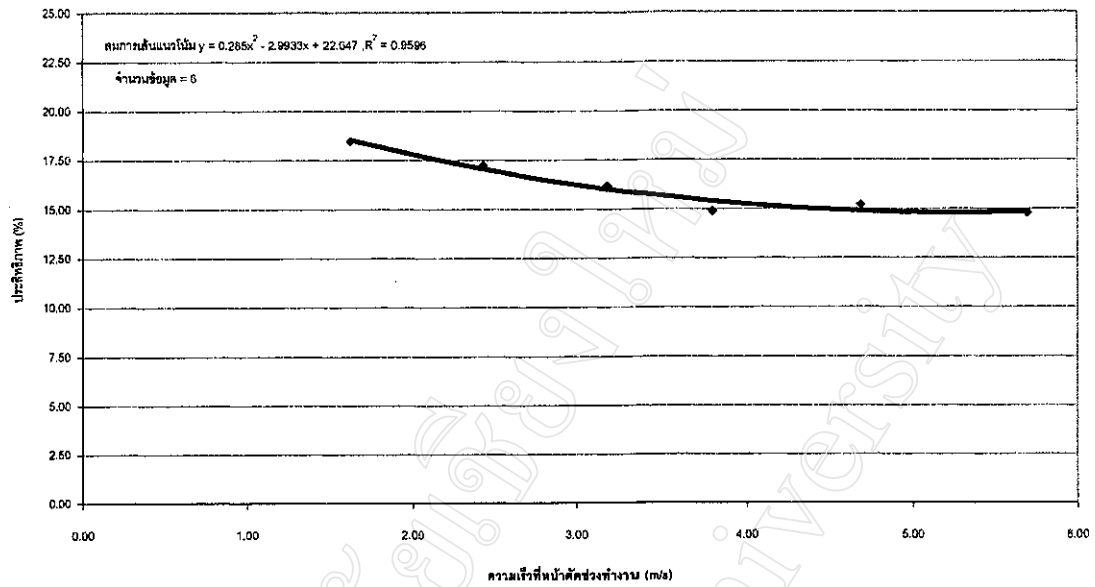
รูป 4.1 (ข) แสดงผลการทดสอบระหว่างประสิทธิภาพการทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



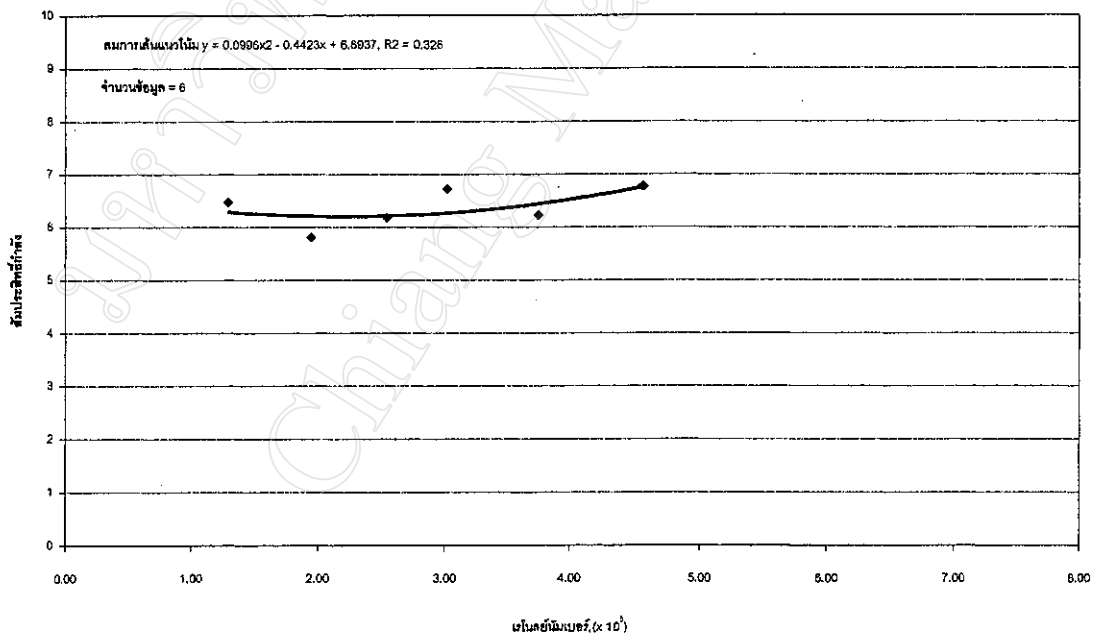
รูป 4.1 (ค) แสดงผลการทดสอบระหว่างค่าเรโนลด์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลังใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



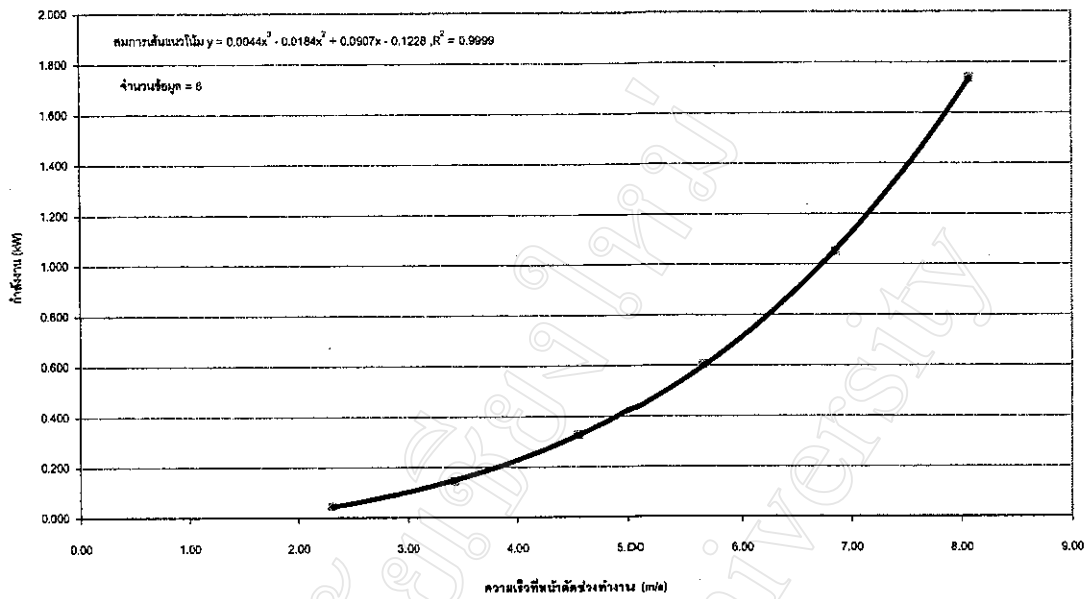
รูป 4.2 (ก) แสดงผลการทดสอบระหว่างกำลังที่ใช้ในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A. 0012-B มุมพิทช์ 12 องศา



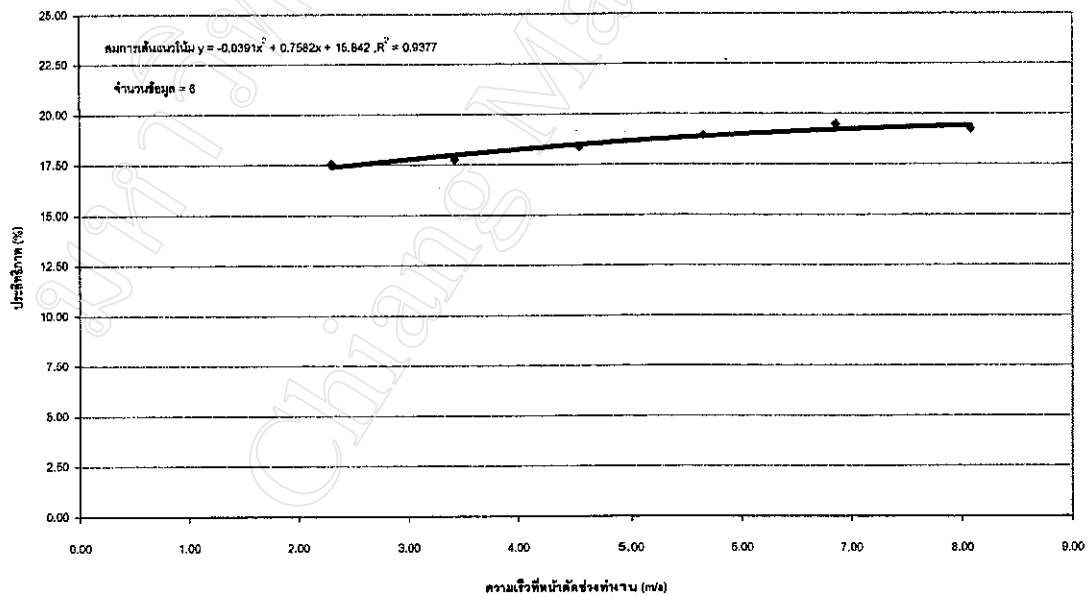
รูป 4.2 (ก) แสดงผลการทดสอบระหว่างประสิทธิภาพการทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A. 0012-B มุมพิทช์ 12 องศา



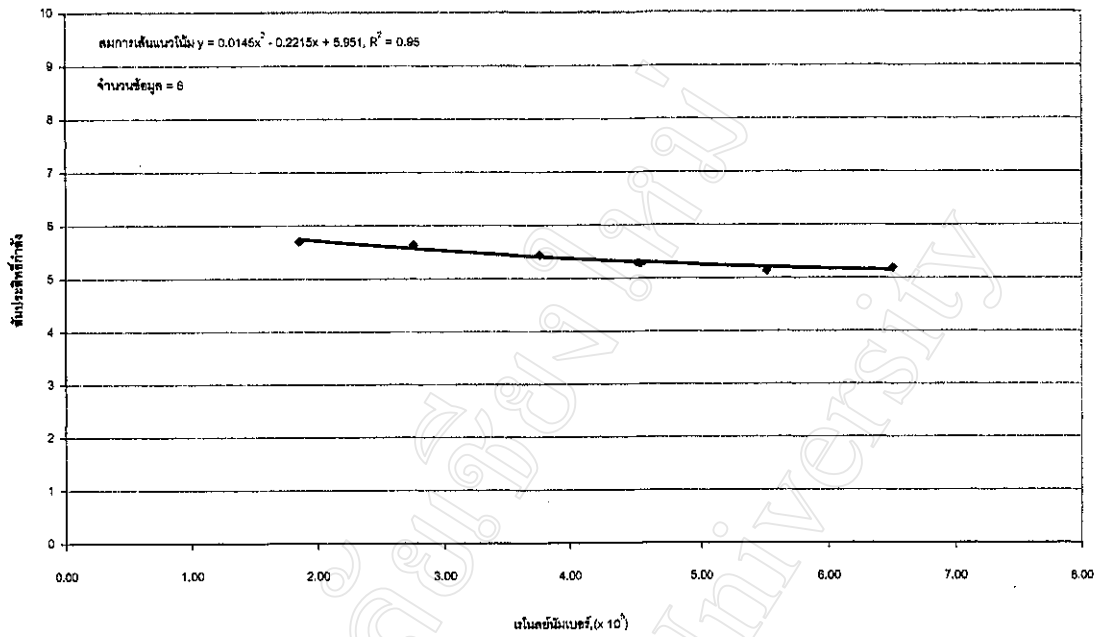
รูป 4.2 (ค) แสดงผลการทดสอบระหว่างค่าเรย์โนลด์สกับสัมประสิทธิ์กำลังใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A. 0012-B มุมพิทช์ 12 องศา



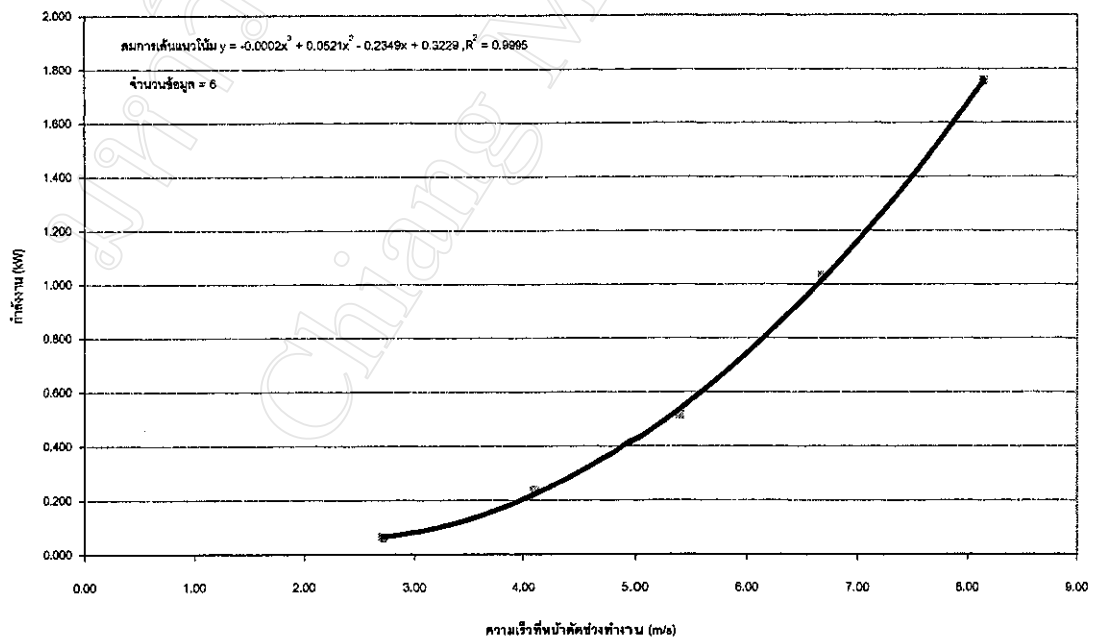
รูป 4.3 (ก) แสดงผลการทดสอบระหว่างกำลังที่ใช้ในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน  
ใบพืดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A. 0012-B มุมพิทซ์ 18 องศา



รูป 4.3 (ข) แสดงผลการทดสอบระหว่างประสิทธิภาพการทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้า  
ตัดช่วงทำงาน ใบพืดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A. 0012-B มุมพิทซ์ 18 องศา

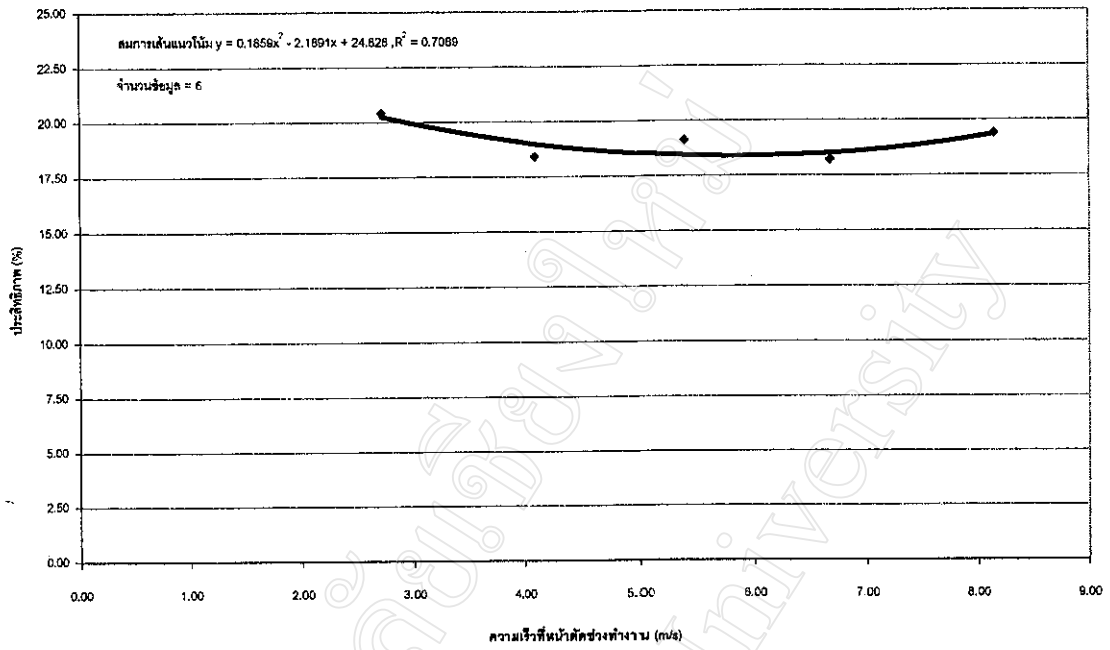


รูป 4.3 (ค) แสดงผลการทดสอบระหว่างค่าเรโนลด์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลังใบพัดหน้าตัด  
รูปแผนอากาศ N.A.C.A. 0012-B มุมพิทช์ 18 องศา

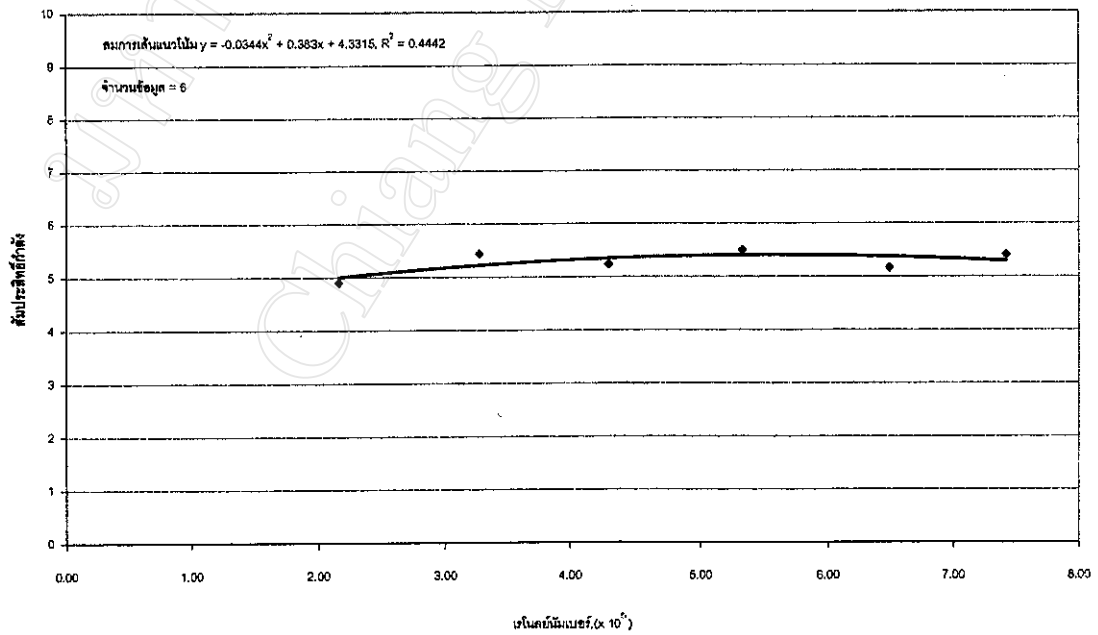


รูป 4.4 (ก) แสดงผลการทดสอบระหว่างกำลังที่ใช้ในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน  
ใบพัดหน้าตัดรูปแผนอากาศ N.A.C.A. 0012-B มุมพิทช์ 23 องศา

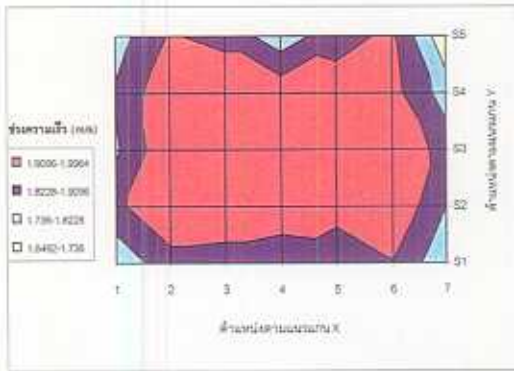




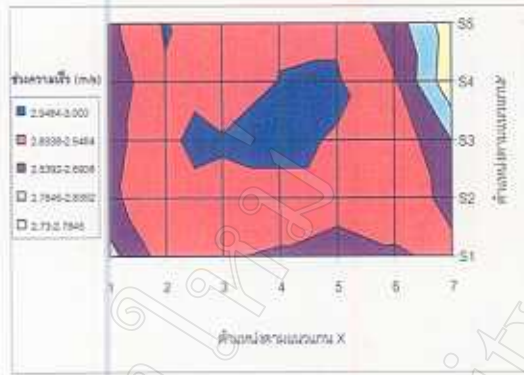
รูป 4.4 (ข) แสดงผลการทดสอบระหว่างประสิทธิภาพการทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วน้ำตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A. 0012-B มุมพิทช์ 23 องศา



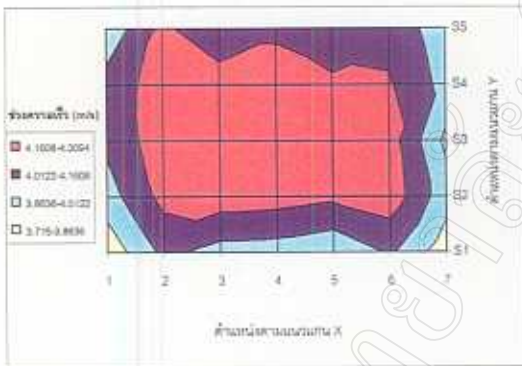
รูป 4.4 (ค) แสดงผลการทดสอบระหว่างค่าเรโนลด์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลังใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A. 0012-B มุมพิทช์ 23 องศา



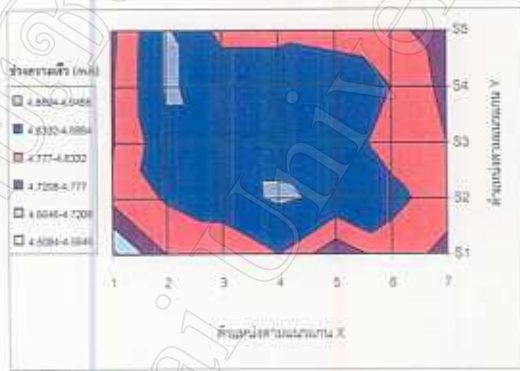
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 1.89 m/s



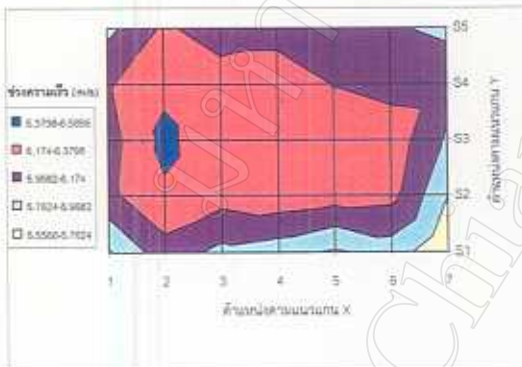
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 2.90 m/s



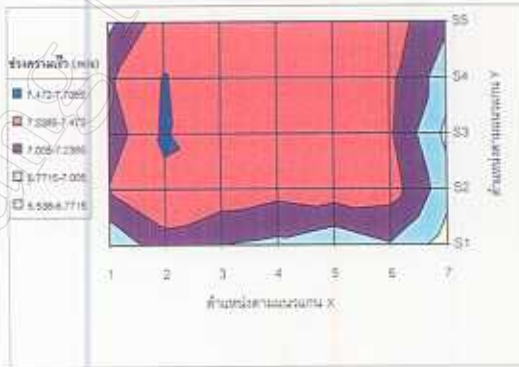
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.08 m/s



ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.80 m/s

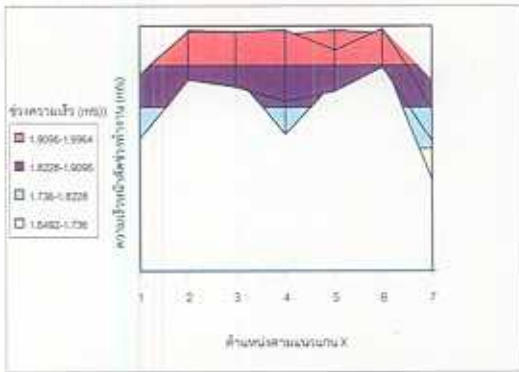


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 6.09 m/s

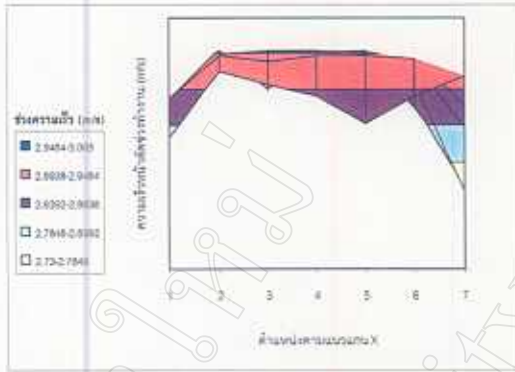


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 7.18 m/s

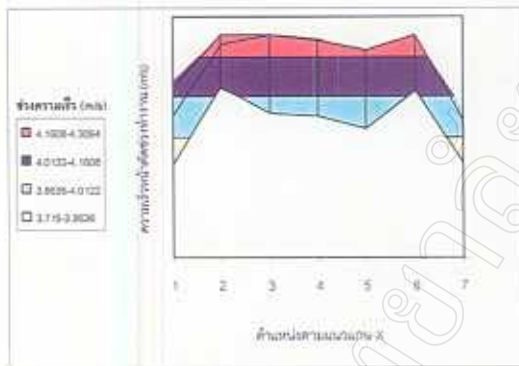
รูป 4.5(ก) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมบนระนาบ X-Y ใบบัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



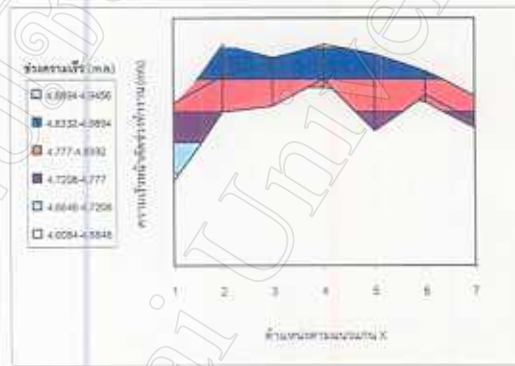
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 1.89 m/s



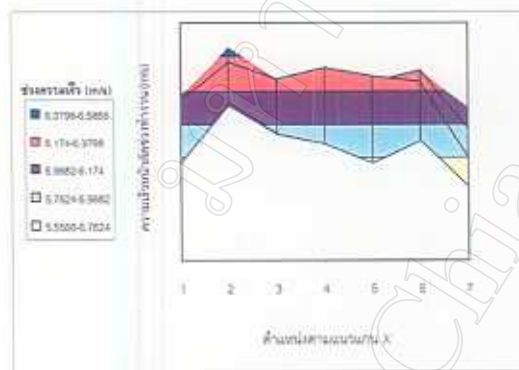
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 2.90 m/s



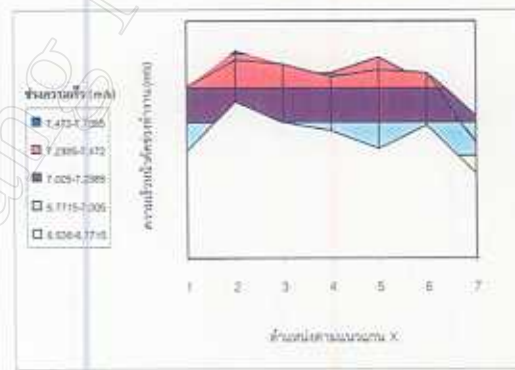
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.08 m/s



ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.80 m/s

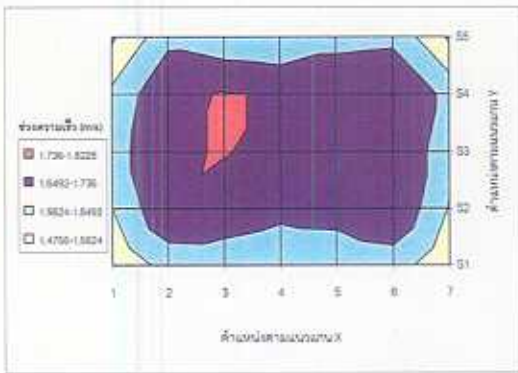


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 6.09 m/s

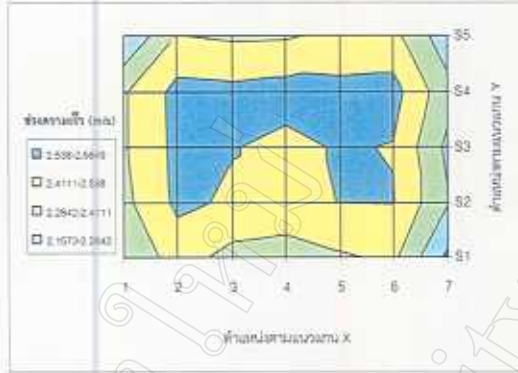


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 7.18 m/s

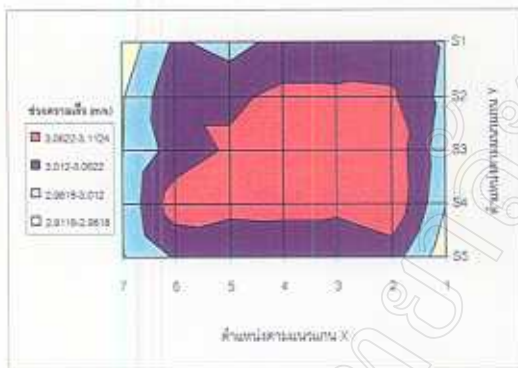
รูป 4.5(ข) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมตามแนวแกน X ใบบัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



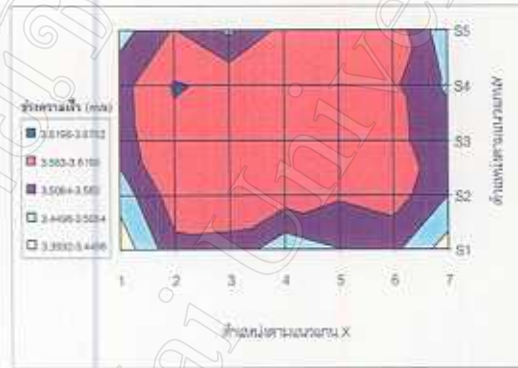
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 1.63 m/s



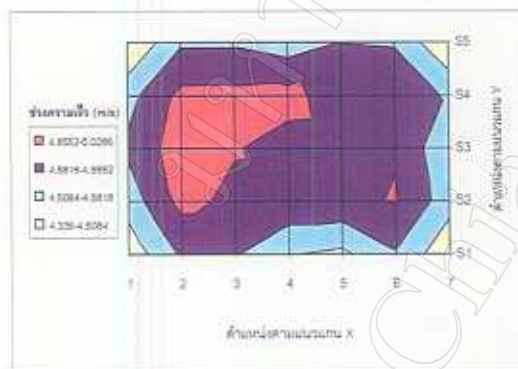
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 2.43 m/s



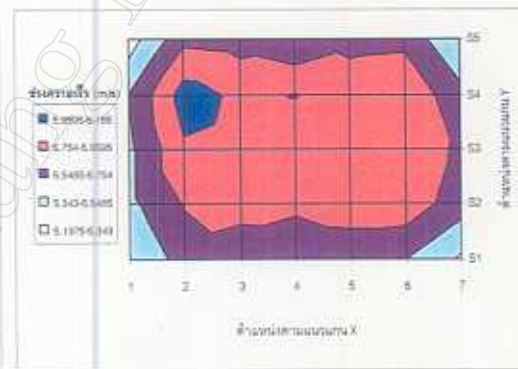
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 3.03 m/s



ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 3.55 m/s

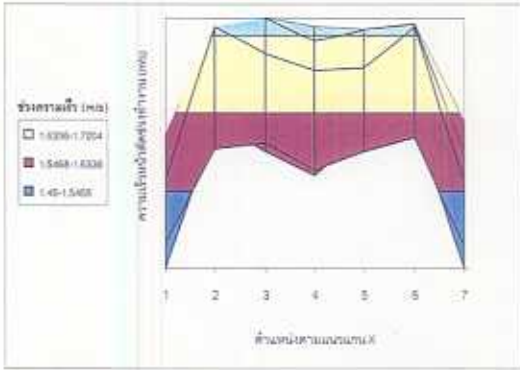


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.69 m/s

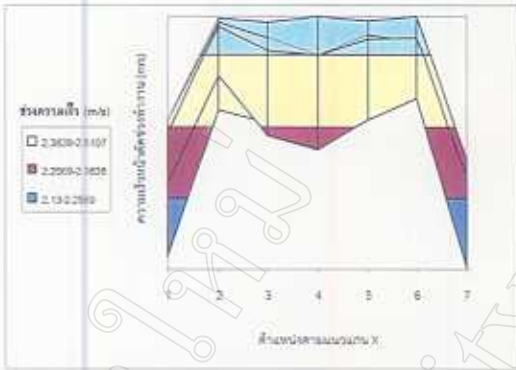


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 5.69 m/s

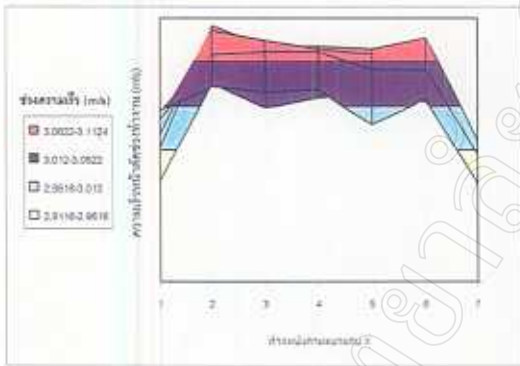
รูป 4.6(ก) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลม บนระนาบ X-Y ในพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 12 องศา



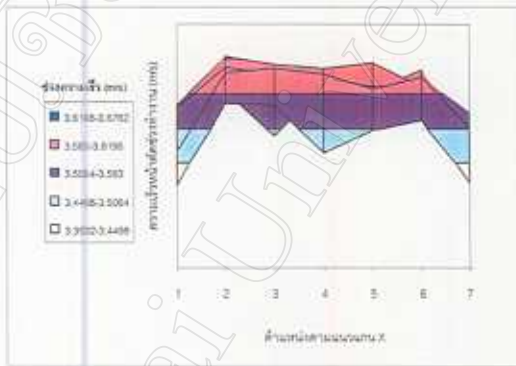
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 1.63 m/s



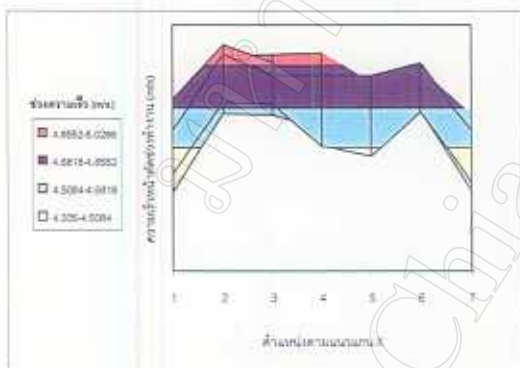
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 2.43 m/s



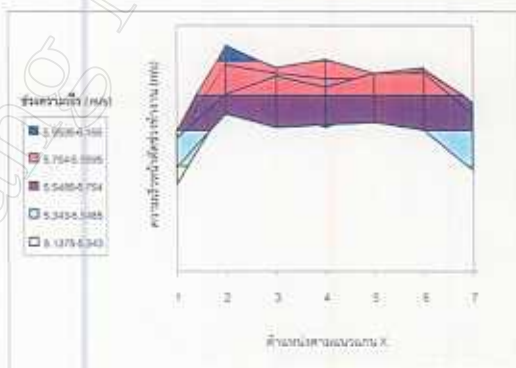
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 3.03 m/s



ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 3.55 m/s

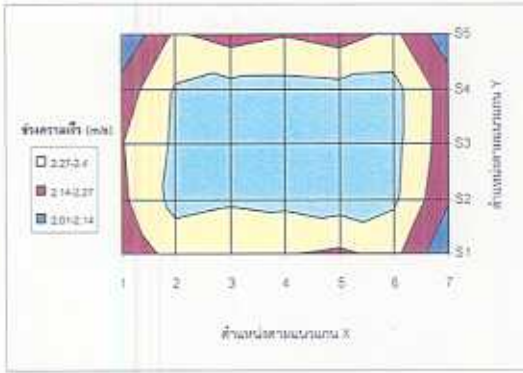


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.69 m/s

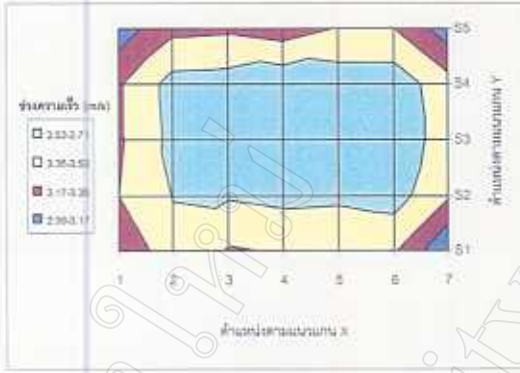


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 5.69 m/s

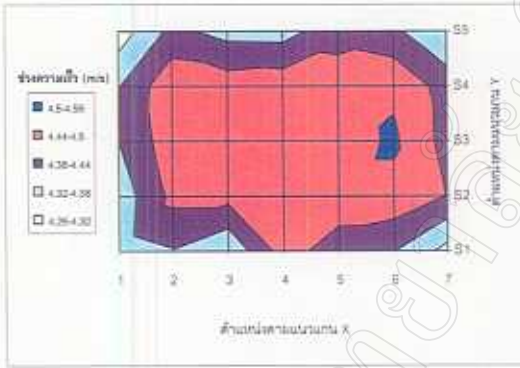
รูป 4.6(ข) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมตามแนวแกน X ใบบัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ นุ่มพิทช์ 12 องศา



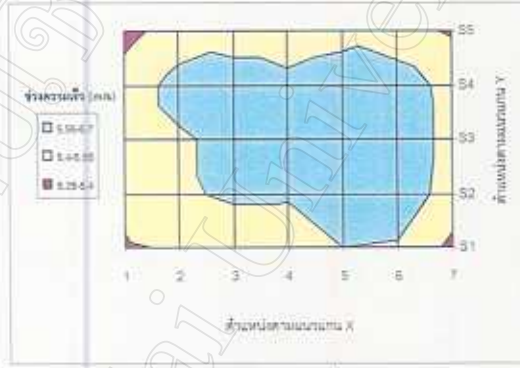
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 2.31 m/s



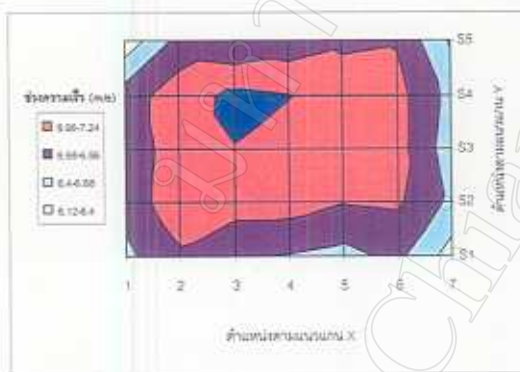
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 3.07 m/s



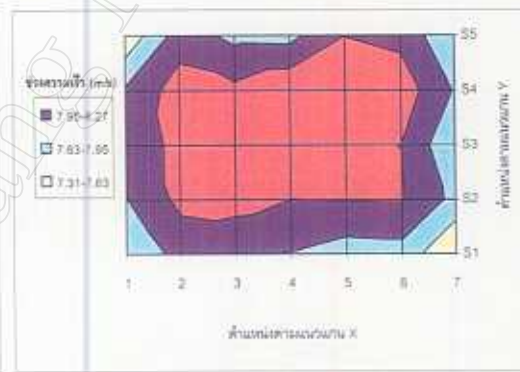
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.42 m/s



ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 5.52 m/s

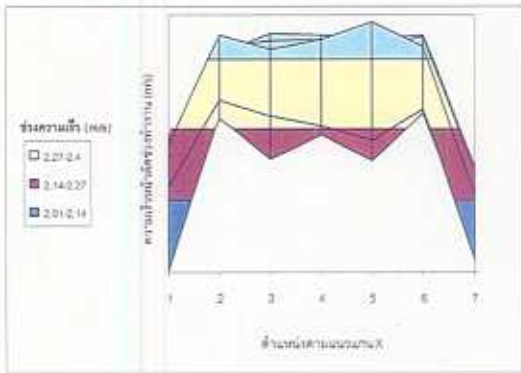


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 6.86 m/s

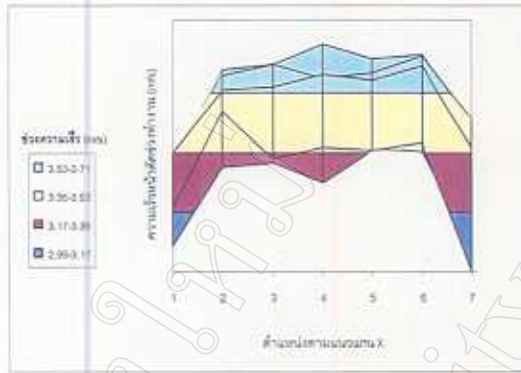


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 8.08 m/s

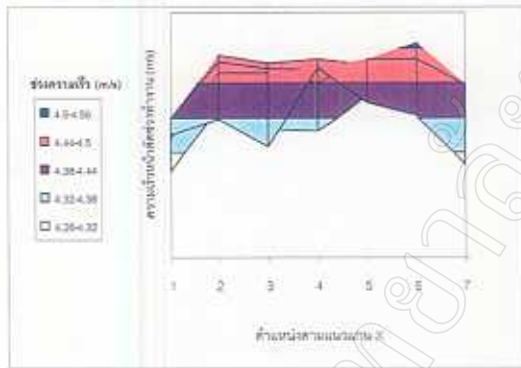
รูป 4.7(ก) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมบนระนาบ X-Y ไขว้หน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 18 องศา



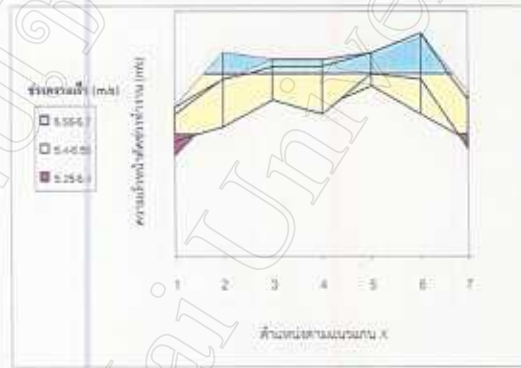
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 2.31 m/s



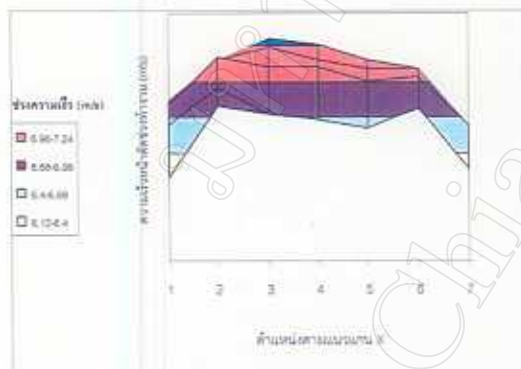
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 3.07 m/s



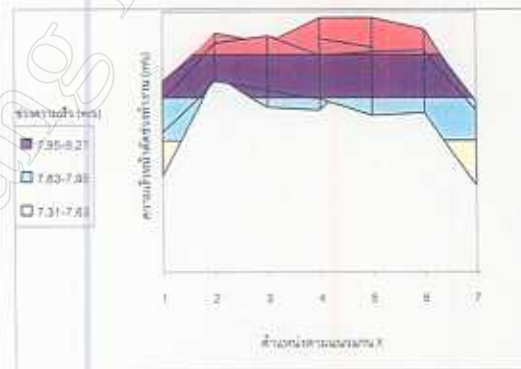
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.42 m/s



ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 5.52 m/s

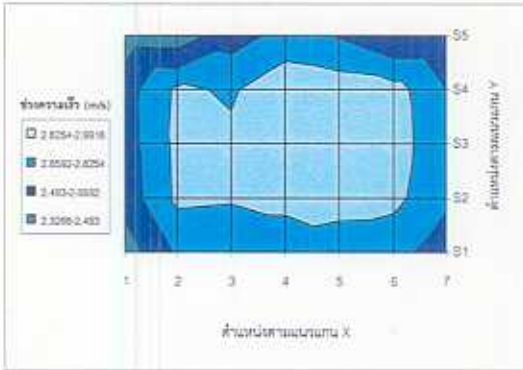


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 6.86 m/s

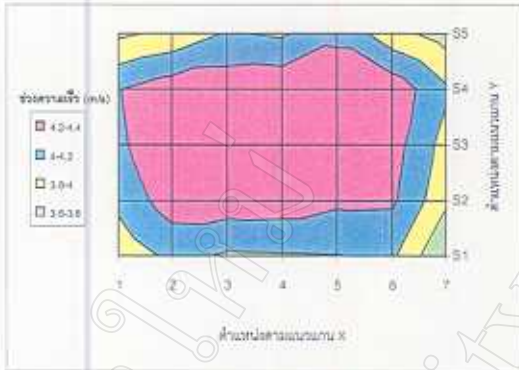


ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 8.08 m/s

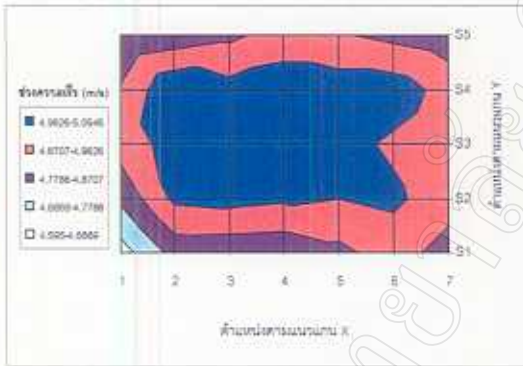
รูป 4.7(ข) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมตามแนวแกน X ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 18 องศา



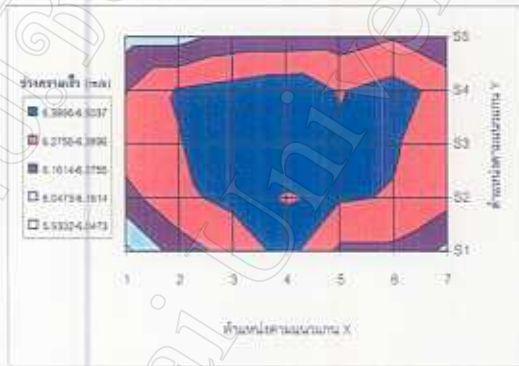
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 2.72 m/s



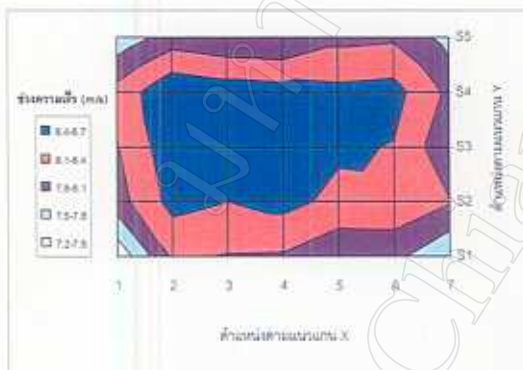
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.19 m/s



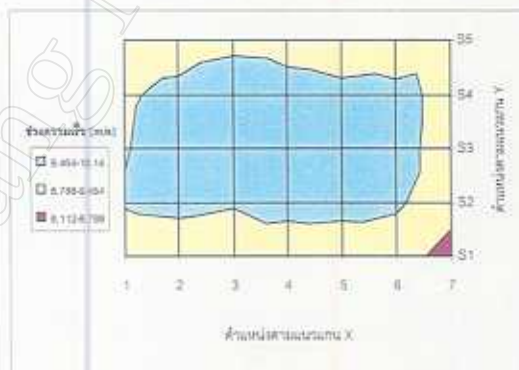
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 4.90 m/s



ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 6.31 m/s



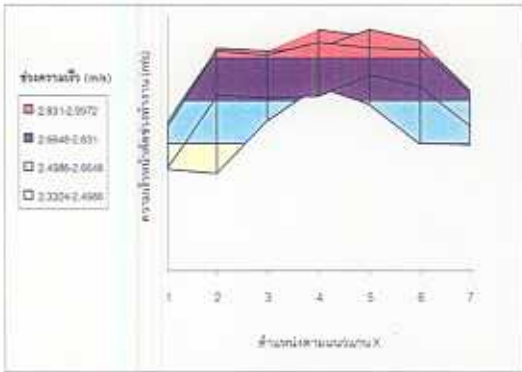
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 8.15 m/s



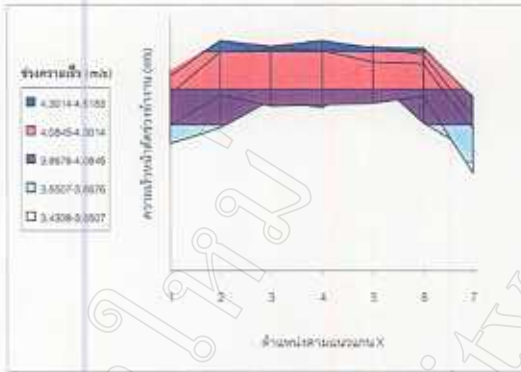
ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ย 9.37 m/s

รูป 4.8(ก) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมบนระนาบ X-Y ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 23 องศา

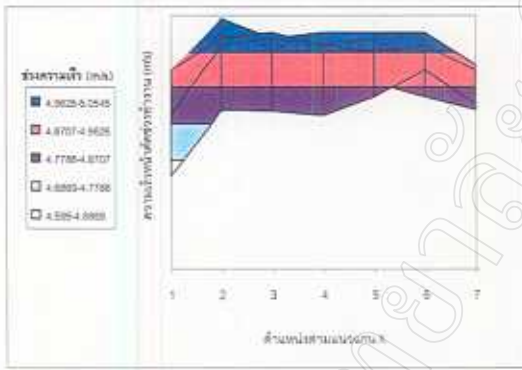




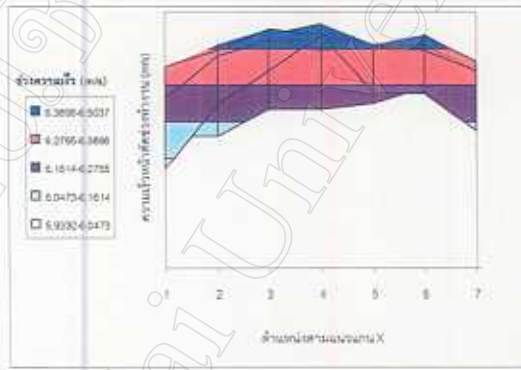
ความเร็วที่หน้าตึกช่วงทำงานเฉลี่ย 2.72 m/s



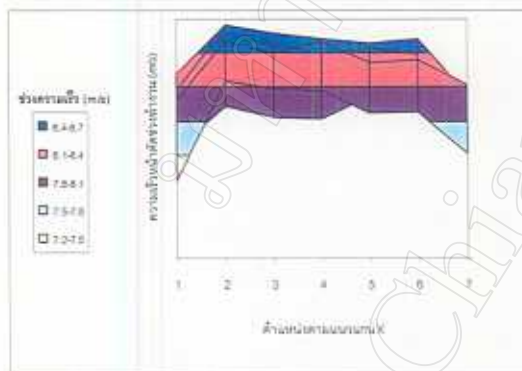
ความเร็วที่หน้าตึกช่วงทำงานเฉลี่ย 4.19 m/s



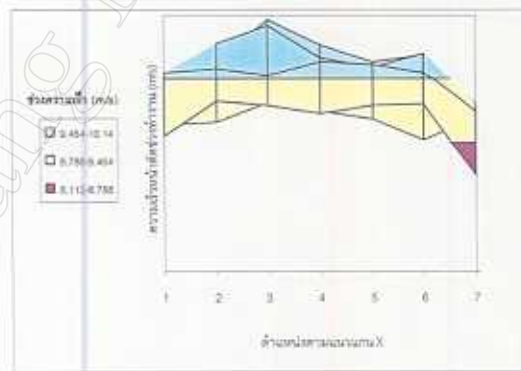
ความเร็วที่หน้าตึกช่วงทำงานเฉลี่ย 4.90 m/s



ความเร็วที่หน้าตึกช่วงทำงานเฉลี่ย 6.31 m/s

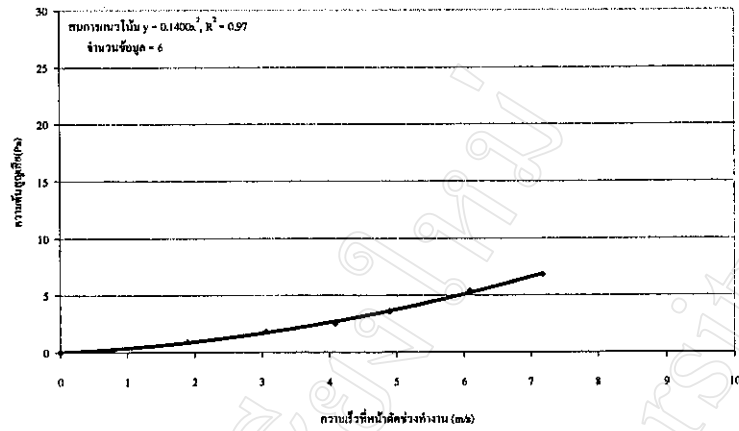


ความเร็วที่หน้าตึกช่วงทำงานเฉลี่ย 8.15 m/s

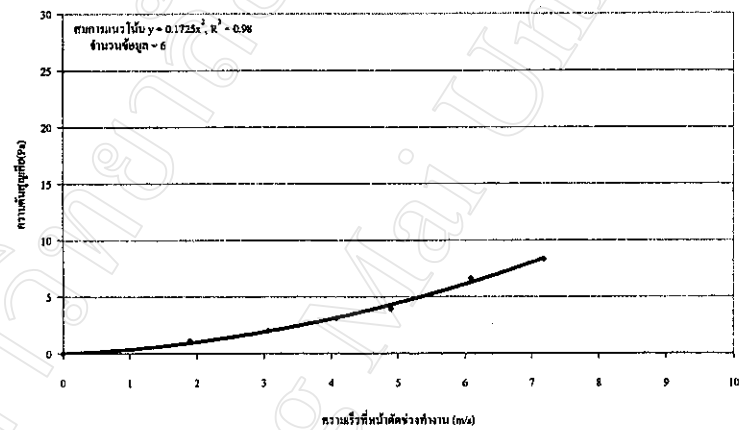


ความเร็วที่หน้าตึกช่วงทำงานเฉลี่ย 9.37 m/s

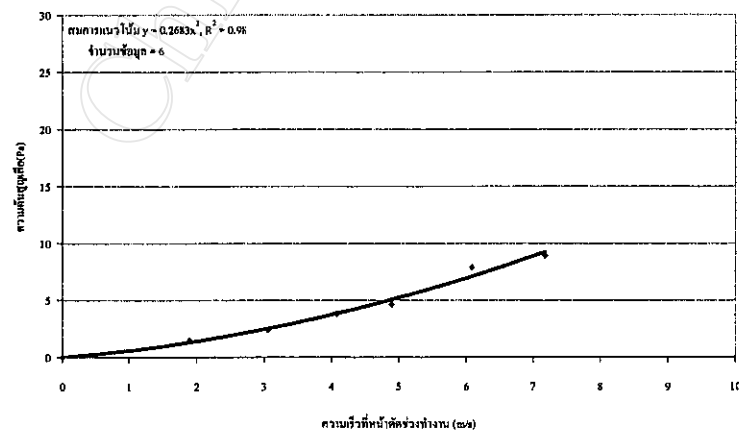
รูป 4.8(ข) ลักษณะของการกระจายความเร็วที่หน้าตึกช่วงทำงานของอุโมงค์ลมตาม แนวกแกน X ใบพัดหน้าตึกรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 23 องศา



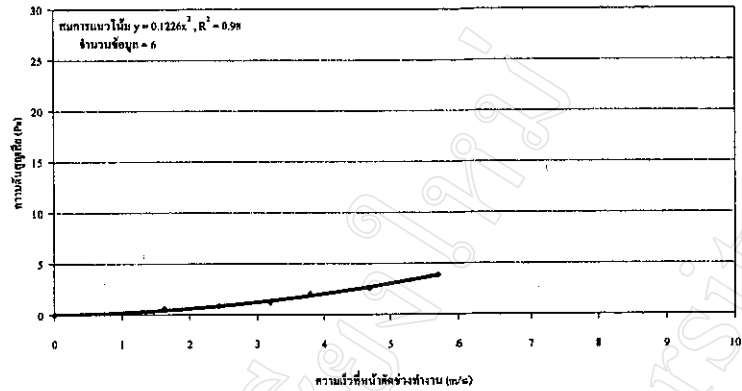
รูป 4.9 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉื่อยที่หน้าตัดช่วงปรับสภาพการไหลใน อุโมงค์ ลมกับความเร็วน้ำตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



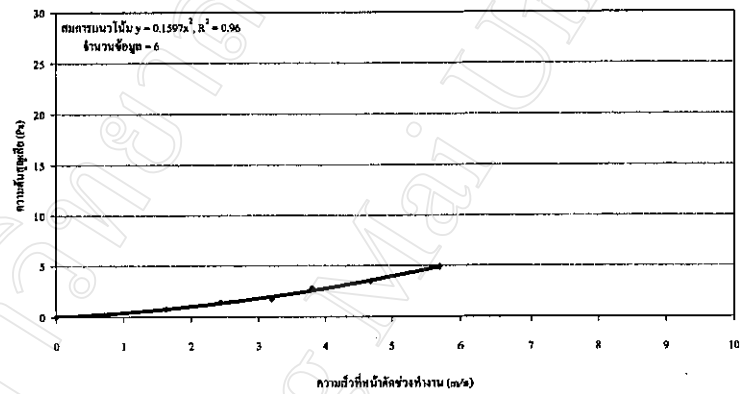
รูป 4.9 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉื่อยที่หน้าตัดช่วงทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วน้ำตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



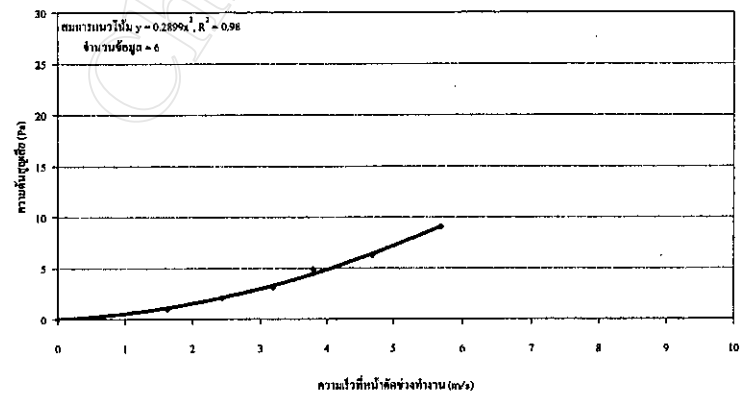
รูป 4.9 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันเฉื่อยที่หน้าตัดช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลใน อุโมงค์ลมกับความเร็วน้ำตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



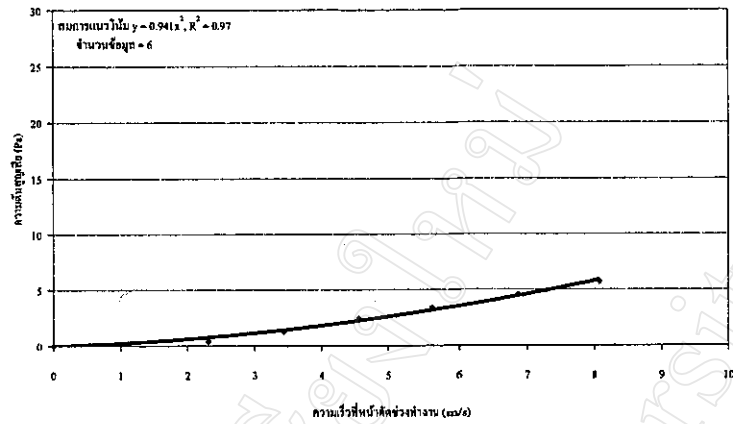
รูป 4.10 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงปรับสภาพการไหลในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 12 องศา



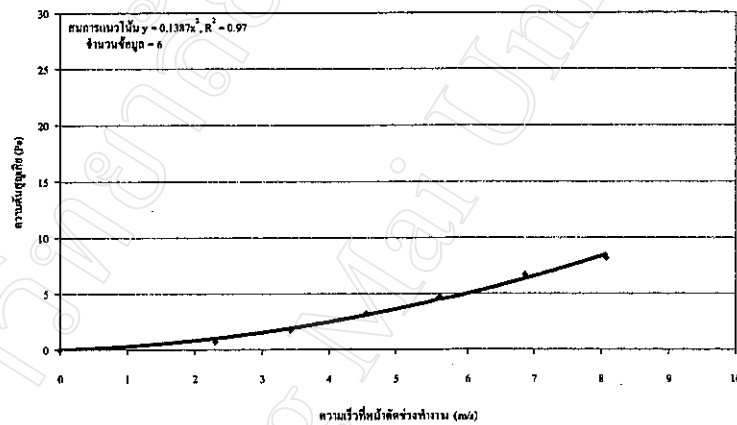
รูป 4.10 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 12 องศา



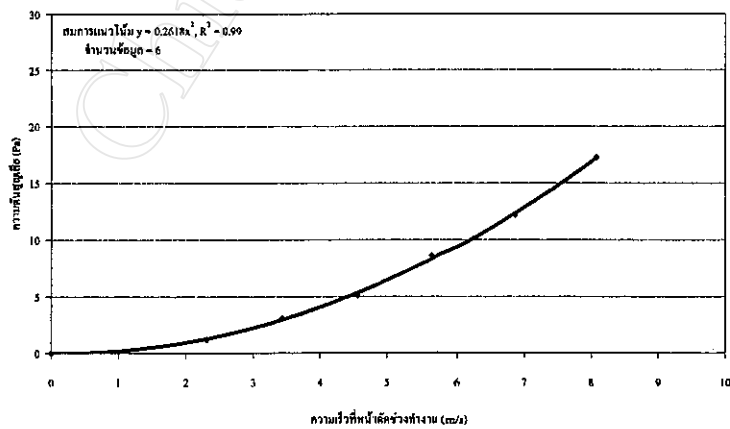
รูป 4.10 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 12 องศา



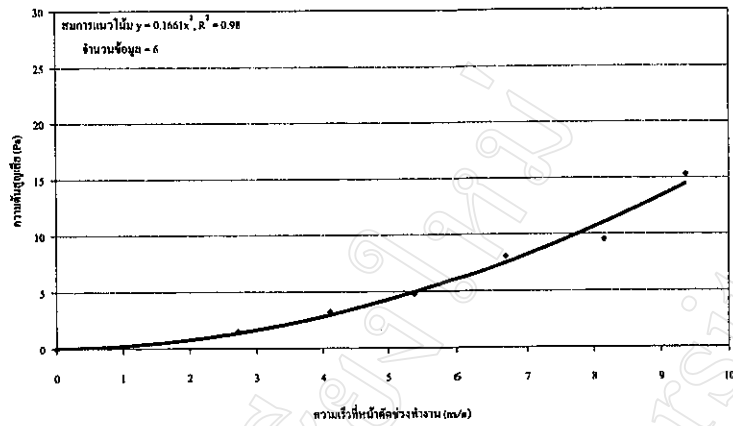
รูป 4.11 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงปรับสภาพการไหลในอุโมงค์ลมกับความเร็วน้ำที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 18 องศา



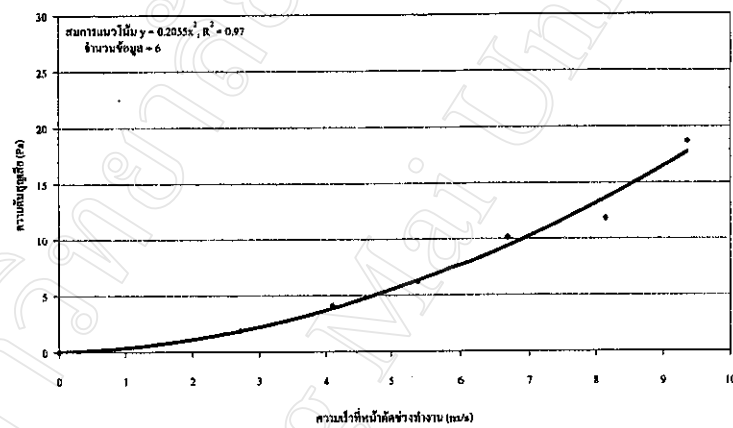
รูป 4.11 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วน้ำที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 18 องศา



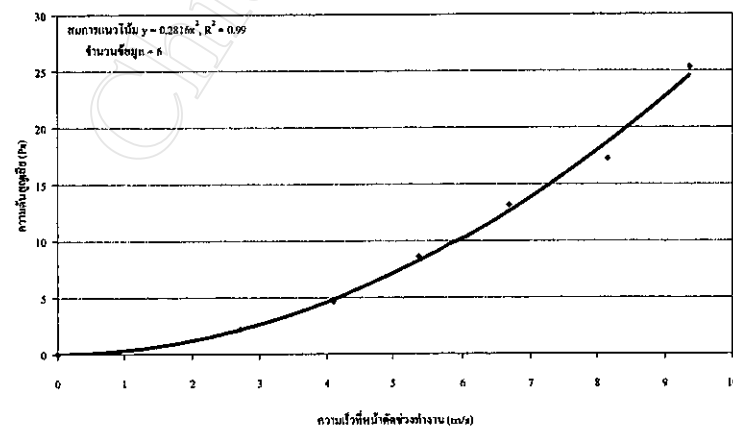
รูป 4.11 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลในอุโมงค์ลมกับความเร็วน้ำที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 18 องศา



รูป 4.12 (ก) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงปรับสภาพการไหลในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 23 องศา



รูป 4.12 (ข) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงทำงานในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 23 องศา



รูป 4.12 (ค) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียที่หน้าตัดช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลในอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ใบพัดหน้าตัดรูปแปดเหลี่ยม N.A.C.A.0012-B มุมพิทช์ 23 องศา

## 4.2 วิเคราะห์ผลการวิจัย

### 4.2.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์ลม

พิจารณาผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์ลม โดยแบ่งตามชนิดของใบพัด และมุมพิทช์ต่างๆของใบพัด มีรายละเอียดดังนี้

#### ก. ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา

- ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.89 - 7.18 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 201.83 - 717.7 รอบต่อนาที โดยมีค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 7.18 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 717.7 รอบต่อนาที และค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.89 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 201.83 รอบต่อนาที

- ประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 13.32 - 16.06 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 201.83 - 717.7 รอบต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 16.06 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 493.67 รอบต่อนาที และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 13.32 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 201.83 รอบต่อนาที

- ค่าเรโนลด์นัมเบอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 147,302 - 548,047 และค่าสัมประสิทธิ์กำลังอยู่ระหว่าง 6.22 - 7.39

- สมการแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับกำลังงาน และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลม และความสัมพัทธ์ระหว่างค่าเรโนลด์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลัง ดังนี้

$$P_s = 0.0032V_T^3 + 0.0084V_T^2 - 0.0343V_T + 0.0463, R^2 = 0.99, n = 6$$

$$\eta_f = -0.1915V_T^2 + 2.1535V_T + 10.019, R^2 = 0.97, n = 6$$

$$\lambda = 0.1527Re^2 - 1.293Re + 8.9259, R^2 = 0.97, n = 6$$

#### ข. ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 12 องศา

- ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.63 - 5.70 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 400.32 - 1,470.53 รอบต่อนาที โดยมีค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.70 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 1,470.53 รอบต่อนาที และค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.63 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 400.32 รอบต่อนาที

- ประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 14.77 % - 18.45% ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 400.32 – 1,470.53 รอบต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 18.45 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 400.32 รอบต่อนาที และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 14.77 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 1,470.53 รอบต่อนาที

- ค่าเรโนลด์์นัมเบอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 129,947 – 456,363 และค่าสัมประสิทธิ์กำลังอยู่ระหว่าง 5.81 – 6.77

- สมการแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับกำลังงาน และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลม และความสัมพัทธ์ระหว่างค่าเรโนลด์์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลัง ดังนี้

$$P_s = 0.0044V_T^3 - 0.0001V_T^2 - 0.0055V_T + 0.0043, R^2 = 0.99, n = 6$$

$$\eta_f = 0.285V_T^2 - 2.9933V_T + 22.647, R^2 = 0.96, n = 6$$

$$\lambda = 0.0996Re^2 - 0.4423Re + 6.6937, R^2 = 0.326, n = 6$$

#### ก. ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทซ์ 18 องศา

- ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.31 – 8.08 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 400.49 – 1,453.60 รอบต่อนาที โดยมีค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.08 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 1,453.60 รอบต่อนาที และค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.31 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 400.49 รอบต่อนาที

- ประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 17.55 % - 19.48% ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 400.49 – 1,453.60 รอบต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 19.48 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 1,228.73 รอบต่อนาที และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 17.55 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 400.49 รอบต่อนาที

- ค่าเรโนลด์์นัมเบอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 185,793 – 650,451 และค่าสัมประสิทธิ์กำลังอยู่ระหว่าง 5.13 – 5.70

- สมการแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับกำลังงาน และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลม และความสัมพัทธ์ระหว่างค่าเรโนลด์์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลัง ดังนี้

$$P_s = 0.0044V_T^3 - 0.0184V_T^2 + 0.0907V_T - 0.1228, R^2 = 0.99, n = 6$$

$$\eta_f = -0.0391V_T^2 + 0.7582V_T + 15.842, R^2 = 0.94, n = 6$$

$$\lambda = 0.0145Re^2 - 0.2215Re + 5.951, R^2 = 0.95, n = 6$$

### ง. ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 23 องศา

- ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 2.72 – 9.36 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 410.92 – 1,420.47 รอบต่อนาที โดยมีค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.36 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 1,420.47 รอบต่อนาที และค่าความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 2.72 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 410.92 รอบต่อนาที

- ประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยมีค่าอยู่ระหว่าง 18.19 % - 20.41% ที่ความเร็วรอบเฉลี่ยเท่ากับ 410.92 – 1,420.47 รอบต่อนาที โดยมีประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 18.19 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 1014.50 รอบต่อนาที และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลมเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 20.41 % ที่ความเร็วรอบเฉลี่ย 410.92 รอบต่อนาที

- ค่าเรโนลด์นัมเบอร์มีค่าอยู่ระหว่าง 216,513 – 741,753 และค่าสัมประสิทธิ์กำลังอยู่ระหว่าง 4.90 – 5.49

- สมการแนวโน้มแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับกำลังงาน และประสิทธิภาพการทำงานของอุโมงค์ลม และความสัมพันธ์ระหว่างค่าเรโนลด์นัมเบอร์กับสัมประสิทธิ์กำลัง ดังนี้

$$P_s = -0.0002V_T^3 + 0.0521V_T^2 - 0.2349V_T + 0.3229, R^2 = 0.99, n = 6$$

$$\eta_f = 0.1859V_T^2 - 2.1891V_T + 24.828, R^2 = 0.71, n = 6$$

$$\lambda = -0.0344Re^2 + 0.383Re + 4.3315, R^2 = 0.44, n = 6$$

#### 4.2.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม

จากการพิจารณาการกระจายความเร็วอากาศบนหน้าตัดทำงานของอุโมงค์ลม รูป 4.5(ข) 4.6(ข) 4.7(ข) และ 4.8(ข) พบว่าความเร็วอากาศบริเวณใกล้ผนังอุโมงค์ลมจะมีความเร็วต่ำและเพิ่มขึ้นเมื่อห่างออกจากผนังไปจนถึงบริเวณส่วนกลางของหน้าตัด ซึ่งบริเวณนี้อากาศจะมีความเร็วค่อนข้างสม่ำเสมอ และจากข้อมูลการกระจายความเร็วสามารถวิเคราะห์หาขอบเขตของบริเวณส่วนกลางนี้ได้ คือ มีพื้นที่ขนาด 420x720 ตารางมิลลิเมตร โดยมีขอบเขตห่างจากผนังด้านบนและด้านล่าง 190 มิลลิเมตร และห่างจากผนังด้านซ้ายและด้านขวา 240 มิลลิเมตร ซึ่งการวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของการกระจายความเร็วจะพิจารณาบริเวณส่วนกลางนี้เท่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงผลจากผนังของอุโมงค์ลม

เมื่อนำข้อมูลความเร็วลมที่หน้าตัดช่วงทำงานในบริเวณส่วนกลางตามขอบเขตที่ได้กล่าวมาแล้วมาวิเคราะห์หาค่าความสม่ำเสมอ โดยแจกแจงตามชนิดของใบพัดและมุมพิทช์ที่ใช้ ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.5



ตาราง 4.5(ก) แสดงค่าความไม่สม่ำเสมอที่ความเร็วอากาศต่างๆของใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น  
มุมพิทช์ 23 องศา

ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น	
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	ความไม่สม่ำเสมอ (%)
1.97	0.81
2.94	0.52
4.22	0.59
4.87	0.48
6.27	1.24
7.36	1.09
ค่าเฉลี่ย	0.79

ตาราง 4.5(ข) แสดงค่าความไม่สม่ำเสมอที่ความเร็วอากาศต่างๆของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ  
มุมพิทช์ 12 องศา

ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 12 องศา	
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	ความไม่สม่ำเสมอ (%)
1.72	1.09
2.55	0.99
3.07	0.58
3.59	0.45
4.85	1.17
5.89	1.13
ค่าเฉลี่ย	0.90

ตาราง 4.5(ค) แสดงค่าความไม่สม่ำเสมอที่ความเร็วอากาศต่างๆของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ  
มุมพิทช์ 18 องศา

ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 18 องศา	
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	ความไม่สม่ำเสมอ (%)
2.43	0.58
3.60	1.06
4.47	0.38
5.59	0.63
7.12	1.26
8.37	1.01
ค่าเฉลี่ย	0.82

ตาราง 4.5(ง) แสดงค่าความไม่สม่ำเสมอที่ความเร็วอากาศต่างๆของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ  
มุมพิทช์ 23 องศา

ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 23 องศา	
ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	ความไม่สม่ำเสมอ (%)
2.88	1.29
4.31	0.88
4.99	0.49
6.96	0.89
8.47	1.10
9.71	1.74
ค่าเฉลี่ย	1.07

#### 4.2.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบความดันสูญเสียภายในอุโมงค์ลม

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความดันสูญเสียในแต่ละช่วงของอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานที่สร้างด้วยวิธีการถอดแบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 สามารถสร้างสมการแนวโน้ม และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination,  $R^2$ ) ได้ดังแสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6(ก) แสดงค่าสมการแนวโน้มความดันสูญเสียของอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในช่วงปรับสภาพการไหล

ลำดับที่	ชนิดรูปแบบของใบพัด	สมการแนวโน้ม	$R^2$
1	ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น, มุมพิทช์ 23 องศา	$\Delta p_1 = 0.140V_T^2, n = 6$	0.98
2	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 12 องศา	$\Delta p_1 = 0.122V_T^2, n = 6$	0.98
3	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 18 องศา	$\Delta p_1 = 0.094V_T^2, n = 6$	0.97
4	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 23 องศา	$\Delta p_1 = 0.166V_T^2, n = 6$	0.98

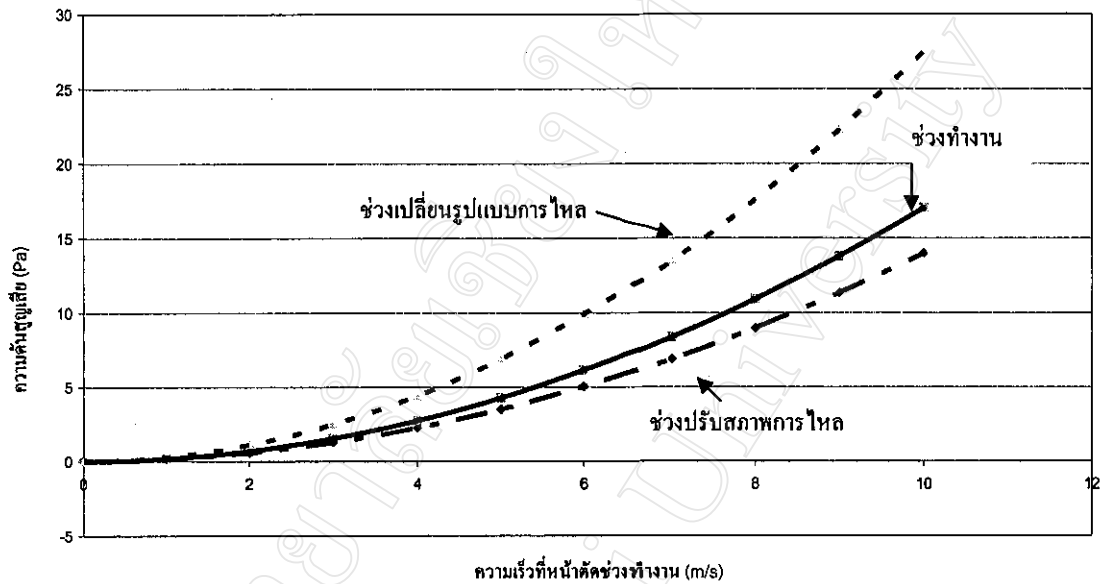
ตาราง 4.6(ข) แสดงค่าสมการแนวโน้มความดันสูญเสียของอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในช่วงทำงาน

ลำดับที่	ชนิดรูปแบบของใบพัด	สมการแนวโน้ม	$R^2$
1	ใบพัดแบบแผ่น, มุมพิทช์ 23 องศา	$\Delta p_2 = 0.173V_T^2, n = 6$	0.98
2	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 12 องศา	$\Delta p_2 = 0.159V_T^2, n = 6$	0.96
3	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 18 องศา	$\Delta p_2 = 0.139V_T^2, n = 6$	0.97
4	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 23 องศา	$\Delta p_2 = 0.206V_T^2, n = 6$	0.97

ตาราง 4.6(ค) แสดงค่าสมการแนวโน้มความดันสูญเสียของอุโมงค์ลมกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล

ลำดับที่	ชนิดรูปแบบของใบพัด	สมการแนวโน้ม	$R^2$
1	ใบพัดแบบแผ่น, มุมพิทช์ 23 องศา	$\Delta p_3 = 0.268V_T^2, n = 6$	0.98
2	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 12 องศา	$\Delta p_3 = 0.289V_T^2, n = 6$	0.98
3	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 18 องศา	$\Delta p_3 = 0.262V_T^2, n = 6$	0.99
4	ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ, มุมพิทช์ 23 องศา	$\Delta p_3 = 0.282V_T^2, n = 6$	0.99

เมื่อนำสมการแนวโน้มในแต่ละแบบของใบพัด และมุมพิทช์ ที่ช่วงต่าง ๆ ของอุโมงค์ลม มาสร้างสมการแนวโน้มเฉลี่ย ดังรูป 4.13 สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียเฉลี่ย (Pressure Loss Coefficient) ดังตาราง 4.7



รูป 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ในแต่ละช่วงของอุโมงค์ลม

ตาราง 4.7 แสดงค่าสมการแนวโน้มความดันสูญเสียกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียในแต่ละช่วงของอุโมงค์ลม

ลำดับที่	ช่วงของอุโมงค์ลม	สมการแนวโน้ม, $R^2$	สปส.สมการแนวโน้มเฉลี่ย	สปส.ความดันสูญเสียเฉลี่ย
1	ช่วงปรับสภาพการไหล	$\Delta p_1 = 0.1398V_T^2, R^2 = 0.99, n = 6$	0.1398	0.2485
2	ช่วงทำงาน	$\Delta p_2 = 0.1793V_T^2, R^2 = 0.99, n = 6$	0.1793	0.3187
3	ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล	$\Delta p_3 = 0.2746V_T^2, R^2 = 0.99, n = 6$	0.2746	0.4882

### 4.3 วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ที่กล่าวมาในหัวข้อ 4.2.1 – 4.2.3 จะวิจารณ์ผลได้ดังนี้

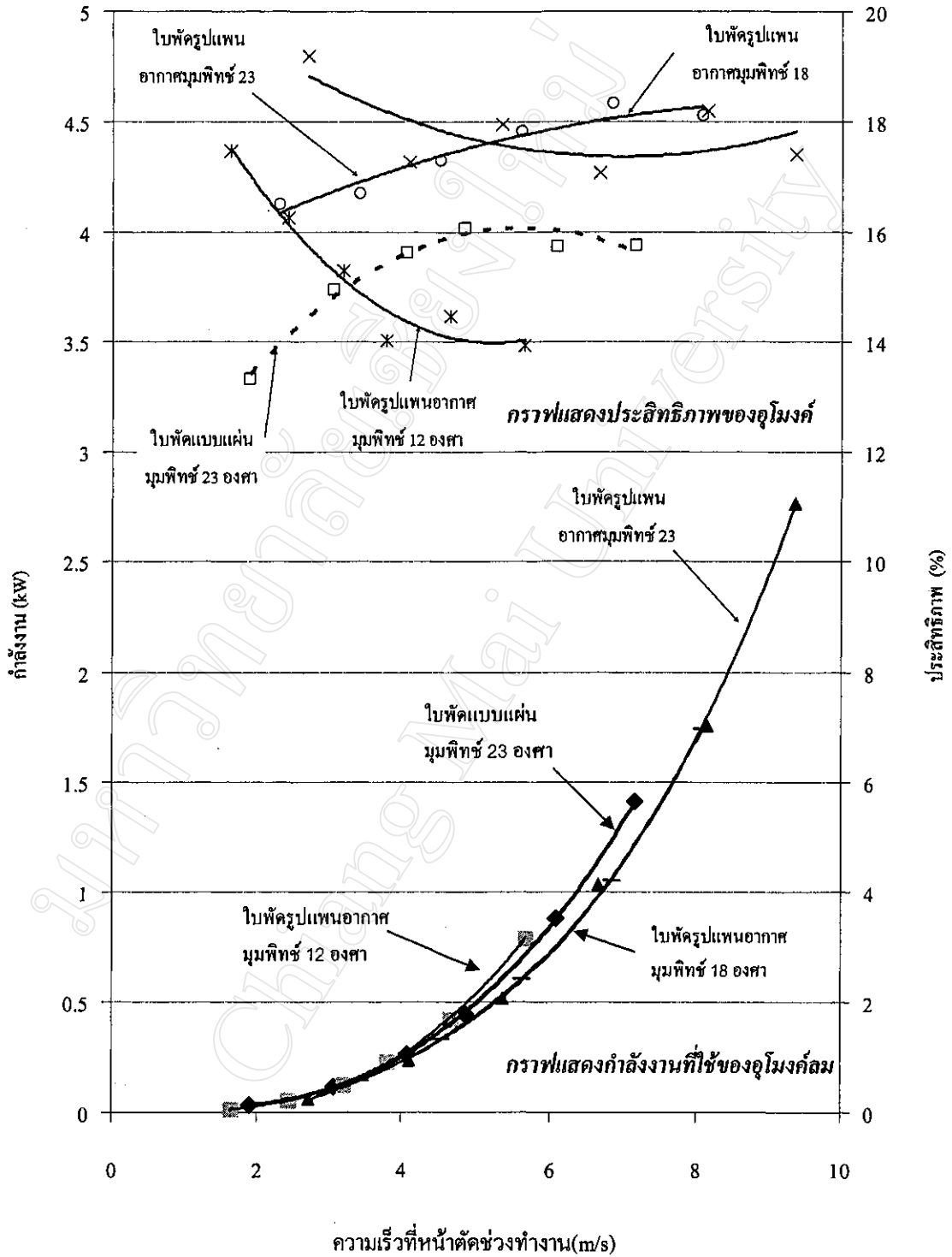
#### 4.3.1 วิจารณ์ผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของอุโมงค์คัลม

จากผลการวิเคราะห์สมรรถนะของอุโมงค์คัลมในหัวข้อ 4.2.1 นำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างกำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์คัลม และ ประสิทธิภาพของอุโมงค์คัลม กับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์คัลม ดังแสดงในรูป 4.14 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์คัลมแปรผันตามความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์คัลมมีลักษณะเป็นแบบพหุนาม โดยใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทช์ 18 และ 23 องศาจะใช้กำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์คัลมน้อยกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นที่มุมพิทช์ 23 องศา ที่ตลอดช่วงความเร็ว และในส่วนของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทช์ 12 องศา จะใช้กำลังงานที่ป้อนให้กับอุโมงค์คัลมมากกว่าว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นที่มุมพิทช์ 23 องศา ที่ความเร็วตั้งแต่ 3.2 เมตรต่อวินาที ลักษณะแนวโน้มของความเร็วมีค่าแตกต่างกันมากขึ้นที่ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานสูงขึ้น คือตั้งแต่ 4 เมตรต่อวินาที และมีแนวโน้มใกล้เคียงกันที่ความเร็วต่ำ คือในช่วงความเร็วตั้งแต่ 0 – 4 เมตรต่อวินาที สำหรับความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของอุโมงค์คัลมแปรผันตามความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์คัลมมีลักษณะเป็นแบบพหุนามเมียร์ 2 โดยประสิทธิภาพของอุโมงค์คัลมที่ใช้ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศมีประสิทธิภาพเฉลี่ย เท่ากับ 16.11% 18.16 % 19.00 % ที่มุมพิทช์ 12 18 และ 23 องศา สูงกว่าที่ใช้ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นเรียบซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.24 % สำหรับที่มุมพิทช์ 12 องศา มีประสิทธิภาพของอุโมงค์คัลมสูงกว่าแบบแผ่นเรียบในช่วงความเร็ว 3.2 เมตรต่อวินาที และจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่า เมื่อความเร็วสูงกว่า 3.2 เมตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาจากค่ามุมพิทช์ ในหัวข้อ 3.1.2 พบว่าค่ามุมปะทะลัพท์ของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทช์ 18 และ 23 องศา มีค่าอยู่ระหว่าง 3.77 – 8.7 องศา ตลอดความยาวรัศมีของใบพัด ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลทางอากาศพลศาสตร์ภาคตัดรูปแพนอากาศ N.A.C.A. 0012-B พบว่ามีค่าอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้าน 18-21 ซึ่งเป็นช่วงสูงสุดของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ ในส่วนใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศมุมพิทช์ 12 องศา มีค่ามุมปะทะลัพท์อยู่ระหว่าง 0.9 – 2.86 องศาตลอดความยาวรัศมีของใบพัด พบว่ามีค่าอัตราส่วนแรงยกต่อแรงต้านอยู่ในช่วง 0 -12 ซึ่งเป็นช่วงต่ำสุดของใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ

ในส่วนขอความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทซ์ 18 และ 23 องศา สามารถทำความเร็วได้ 8.08 และ 9.36 เมตรต่อวินาทีที่ความเร็วรอบ 1,470.53 รอบต่อนาที และ 1,453.60 รอบต่อนาทีซึ่งสูงกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นที่มีความเร็วเท่ากับ 7.18 เมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบ 729.46 รอบต่อนาที สำหรับใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศมุมพิทซ์ 12 องศา มีความเร็วสูงสุดเท่ากับ 5.70 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าต่ำกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น เนื่องจากใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศสามารถทำความเร็วรอบได้สูงกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น และความยาวคอर्डของใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นมากกว่าใบพัดหน้าตัดแบบรูปแพนอากาศ เท่ากับ 8 เซนติเมตร ทำให้ค่าโซลิตีสูงกว่าซึ่งมีผลทำให้แรงบิดของใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นสูงกว่า และความเร็วที่ได้ต่ำกว่า

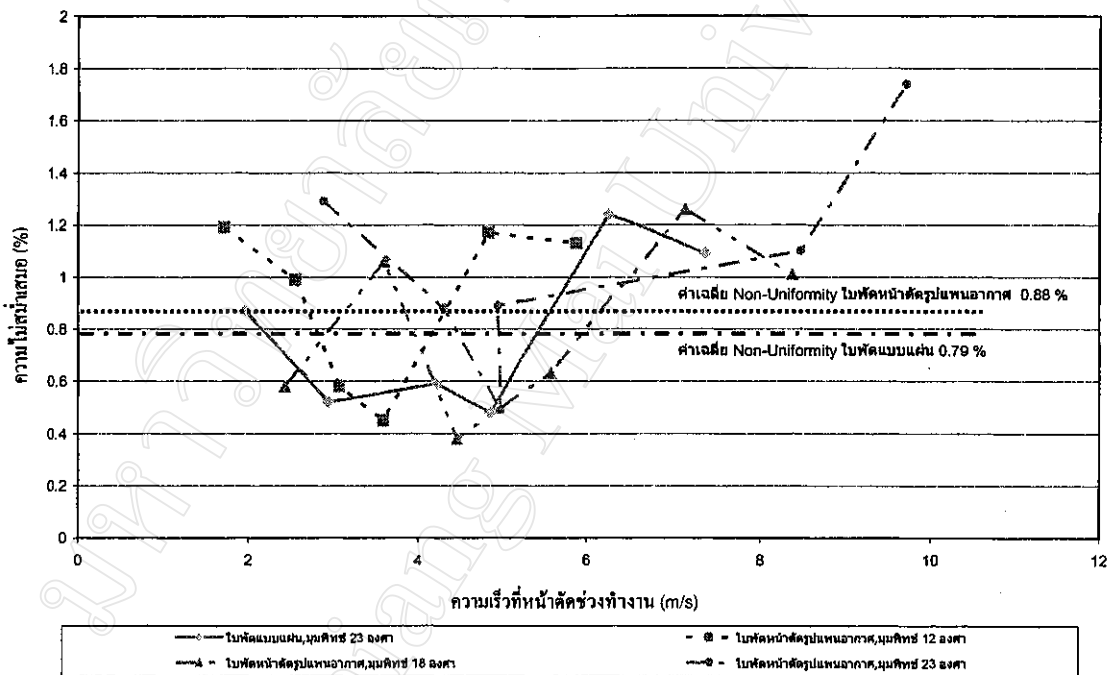
ค่าสัมประสิทธิ์กำลังของอุโมงค์ลมที่ใช้ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศที่มุมพิทซ์ 18 และ 23 องศา มีค่าต่ำกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นในช่วง 5.13 – 5.70 และ 4.9 – 5.40 และที่มุมพิทซ์ 12 องศา มีค่าใกล้เคียงในเชิงต่ำกว่าใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น ก็อยู่ในช่วง 5.81 – 6.77 ส่วนใบพัดหน้าตัดแบบแผ่นมีค่าเท่ากับ 6.22 – 7.39



รูป 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานกับกำลังงานและประสิทธิภาพอุโมงค์ลม

#### 4.3.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบและการวิเคราะห์การกระจายความเร็วในอุโมงค์ลม หน้าตัดใช้งานพบว่า ความเร็วอากาศ ณ หน้าตัดช่วงทำงานของอุโมงค์ลมที่ใช้ใบพัดแบบแผ่น มีค่าความไม่สม่ำเสมอเฉลี่ยใกล้เคียงมากกับที่ใช้ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ โดยมีความแตกต่างกันเพียง 0.09 % ดังรูป 4.15 ซึ่งหมายความว่าหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพอุโมงค์ลม มีความสม่ำเสมอของความเร็วอากาศที่กระจายบนหน้าตัดทำงานเหมือนเดิม



รูป 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความไม่สม่ำเสมอกับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน

จากผลการวิเคราะห์การกระจายความเร็วอากาศในอุโมงค์ลมแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้บนหน้าตัดทำงานมีขนาด 420 x 720 ตารางมิลลิเมตร โดยมีขอบเขตห่างจากผนังด้านบนและด้านล่าง 190 มิลลิเมตร และห่างจากผนังด้านซ้ายและด้านขวา 240 มิลลิเมตร เนื่องจากในขอบเขตพื้นที่ใช้งานต้องมีการกระจายความเร็วอากาศที่สม่ำเสมอ ซึ่งนอกขอบเขตใช้งานดังกล่าวอากาศจะมีความเร็วเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากผนัง



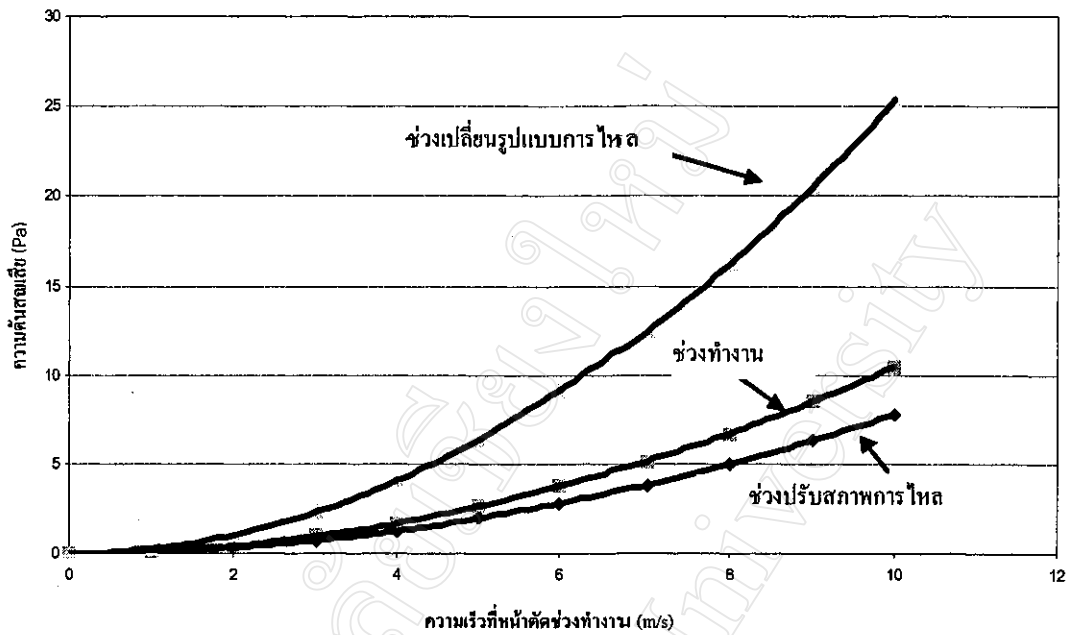
#### 4.3.3 วิจารณ์ผลการทดสอบความดันสูญเสียภายในอุโมงค์ลม

จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อ 4.2.3 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.96 – 0.98 โดยแนวโน้มของสัมประสิทธิ์ของสมการแนวโน้มมีค่าสูงขึ้น ในแต่ละช่วงของอุโมงค์ลมตามลำดับ โดยเฉพาะในช่วงปรับสภาพการไหล และช่วงทำงานของอุโมงค์ลมจะมีค่าความแตกต่างมาก ตั้งแต่ 0.0941 – 1.661 และ 0.1387 – 0.2055 แต่ในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลมีค่าความแตกต่างใกล้เคียงกัน คือ 0.2618 – 0.2816 และ ที่ความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานสูงขึ้นไปมีแนวโน้ม ทำให้ค่าความดันสูญเสียเพิ่มขึ้น ในลักษณะโพลีโนเมียลดีกรี 2 เทียบกับค่าคงที่ และเมื่อพิจารณาว่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียในแต่ละส่วนของอุโมงค์ตั้งแต่ปากทางเข้าแบบระฆังจนถึงทางออกของชุดเปลี่ยนรูปแบบการไหล โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงปรับสภาพการไหล ช่วงทำงาน และช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล ดังตาราง 4.8 พบว่าในช่วงปรับสภาพการไหลมีค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียสูงสุดซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากปากทางเข้าแบบระฆังและชุดรังผึ้ง และช่วงทำงานมีค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียต่ำสุด ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานที่ผิวภายในของอุโมงค์ลมหลังจากชุดรังผึ้งจนถึงปากทางเข้าของช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล

ตาราง 4.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลมตั้งแต่ช่วงปรับสภาพการไหลถึงช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล

ลำดับที่	ช่วงของอุโมงค์ลม	สปส.ความดันสูญเสียเฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์
1	ช่วงปรับสภาพการไหล	0.2485	50.9
2	ช่วงทำงาน	0.0700	14.3
3	ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล	0.1700	34.8
	รวม	0.4882	100

จากสมการ (3.15), (3.17) และ (3.19) สามารถหาสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียและความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานทางทฤษฎีและค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย ดังรูป 4.16 และตาราง 4.9



รูป 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสถุณย์กับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานทางทฤษฎี

ตาราง 4.9 แสดงค่าสมการแนวโน้มความดันสถุณย์กับความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงาน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าสัมประสิทธิ์ความดันสถุณย์ในแต่ละช่วงของอุโมงค์ลมทางทฤษฎี

ลำดับที่	ช่วงของอุโมงค์ลม	สมการแนวโน้ม, $R^2$	สปส.สมการแนวโน้มเฉลี่ย	สปส.ความดันสถุณย์เฉลี่ย
1	ช่วงปรับสภาพการไหล	$\Delta p_1 = 0.0776V_T^2, R^2 = 0.99, n = 6$	0.0776	0.1380
2	ช่วงทำงาน	$\Delta p_2 = 0.1046V_T^2, R^2 = 0.99, n = 6$	0.1080	0.1920
3	ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล	$\Delta p_3 = 0.2530V_T^2, R^2 = 0.99, n = 6$	0.2530	0.4498

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบและทางทฤษฎีมาเปรียบเทียบดังรูป 4.17 พบว่าค่าความดันสถุณย์ที่ได้จากการทดสอบจะมีค่ามากกว่าความดันสถุณย์ที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยค่าความดันสถุณย์ในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล ใกล้เคียงกับทฤษฎีมากที่สุด และจากตาราง 4.7 และ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์สมการแนวโน้มที่ได้จากการทดสอบเทียบกับที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี พบว่าค่าความแตกต่างกันมากที่สุดอยู่ในช่วงทำงานซึ่งเท่ากับ 0.075 และมีค่าความแตกต่างน้อยที่สุด อยู่ในช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหลเท่ากับ 0.022 และในช่วงปรับสภาพการไหลเท่ากับ 0.062

ดังนั้นในการปรับค่าสมการทางคณิตศาสตร์ทางทฤษฎีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันสูญเสียและความเร็วที่หน้าตัดช่วงทำงานทางทฤษฎีเท่ากับค่าในทางปฏิบัติหรือจากผลการทดสอบ โดยการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ความดันสูญเสีย สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

ช่วงปรับสภาพการไหล

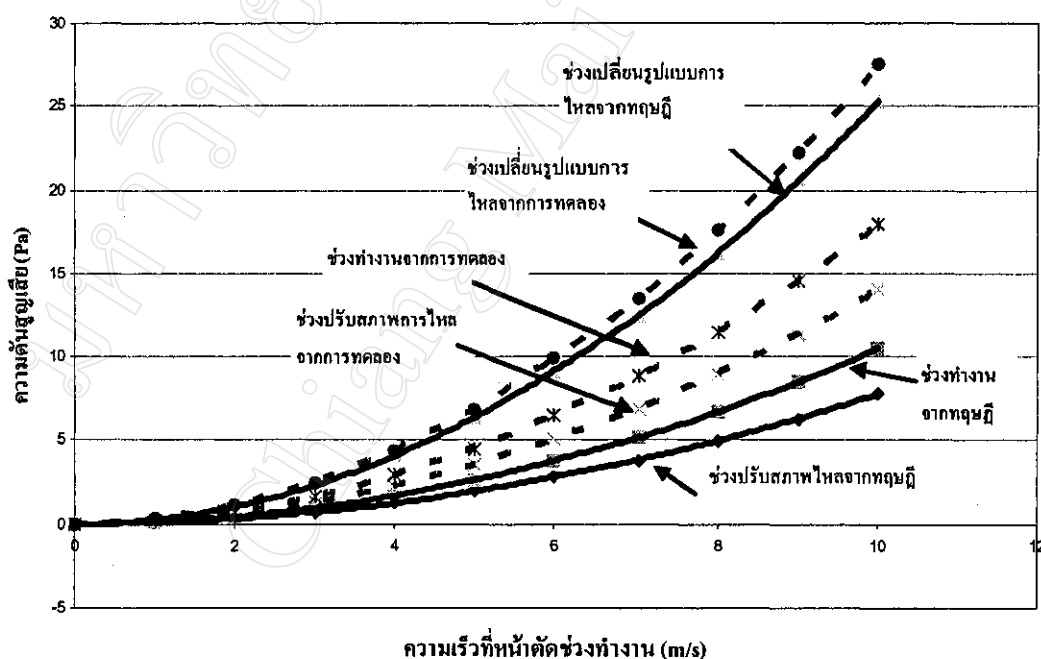
$$\Delta p_1 = \Delta p_b + \Delta p_{h1} + 0.062V_T^2$$

ช่วงทำงาน

$$\Delta p_2 = \Delta p_b + \Delta p_{h1} + \Delta p_f + 0.075V_T^2$$

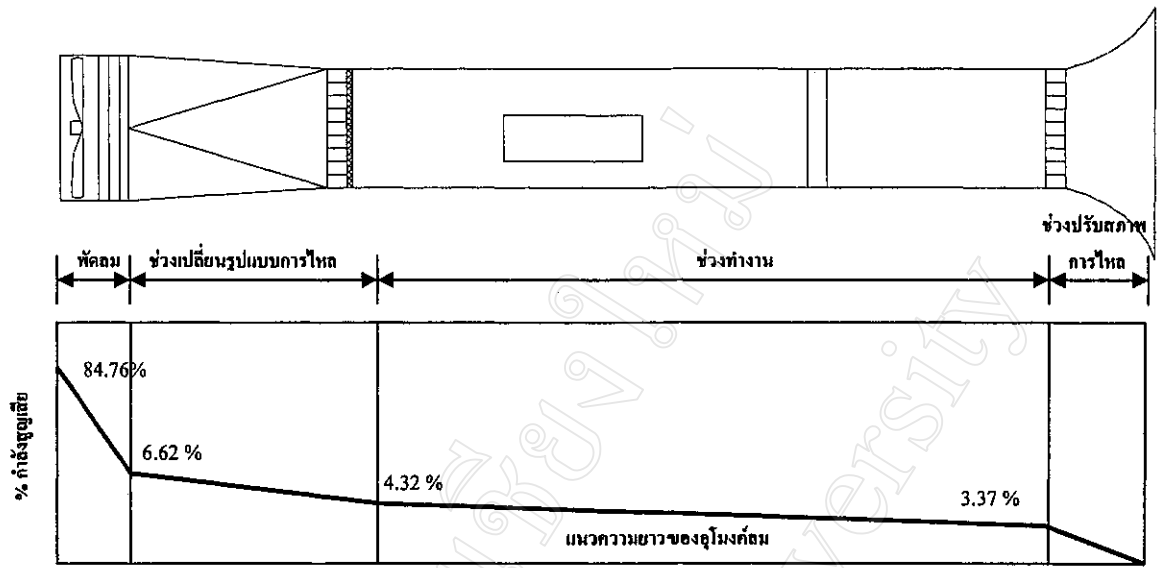
ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล

$$\Delta p_3 = \Delta p_b + \Delta p_{h1} + \Delta p_{h2} + \Delta p_w + \Delta p_i + 0.022V_T^2$$

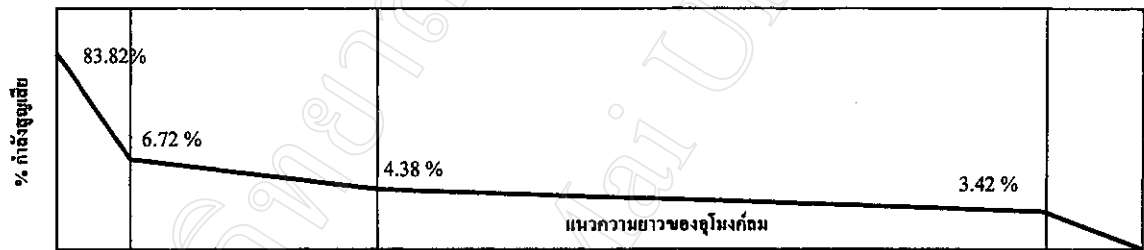


รูป 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าความดันสูญเสียจากการทดลองกับทฤษฎี

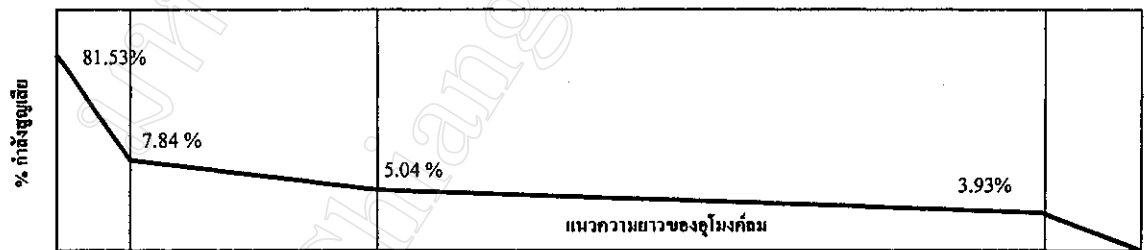
ความดันสูญเสียในแต่ละส่วนของอุโมงค์ลมตามความสัมพันธ์ในตาราง 4.9 สามารถคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังสูญเสียเทียบกับกำลังที่ป้อนเข้าให้อุโมงค์ลมได้ดังรูป 4.18 พบว่ากำลังงานสูญเสียเฉลี่ยในช่วงปรับสภาพการไหลเท่ากับ 3.75% ช่วงทำงาน 1.04% ช่วงเปลี่ยนรูปแบบการไหล 2.52% โดยมีค่ามากที่สุดในช่วงของพัดลมและท่ออ่อน 75.5%



(ก) ใบพัดหน้าตัดแบบแผ่น มุมพิทช์ 23 องศา



(ข) ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 12 องศา



(ค) ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 18 องศา



(ง) ใบพัดหน้าตัดรูปแพนอากาศ มุมพิทช์ 23 องศา

รูป 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์กำลังสูญเสียในส่วนต่างๆ ของอุโมงค์ลม