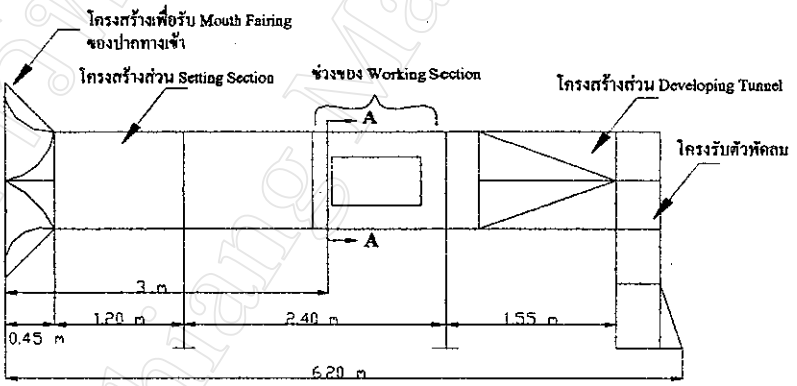
ภาคผนวก ก

การทดสอบความเร็วลมที่พัดเข้าหาชุดแท่นทดสอบในอุโมงค์ลมแบบเปิดความเร็วต่ำ

อุโมงค์ลมที่ใช้การทดสอบนี้จะมีขนาดหน้าตัดของห้องทดสอบ 0.9×1.2 เมตร คงที่ตลอด โดยใช้มอเตอร์ 3 เฟส 3.7 กิโลวัตต์ เป็นแหล่งต้นกำลังที่ใช้ขับชุดใบพัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหน้าตัดคือ 1 เมตร ประกอบด้วยใบพัดแบบแบนทั้งหมด 6 ใบ และได้ทำการแก้ไขการควงของกระแสลมตลอดช่วง Working Section ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดจากการควงด้วยการพิจารณาจากเส้นไหมยาว 0.06 เมตร หลายๆเส้นที่แปะติดในอุโมงค์ลม (สัมพันธ์ ไชยเทพ 2527)

ในการทดสอบนี้ สามารถเปลี่ยนขนาดของความเร็วลมด้วยเครื่องปรับรอบมอเตอร์แบบเปลี่ยนความถี่เพื่อช่วยในการเปลี่ยนรอบการหมุนของชุดใบพัดอุโมงค์ลม ซึ่งผลของความเร็วลมภายในห้องทดสอบจากการเปลี่ยนความถี่ในช่วง 5 ถึง 30 เฮิร์ท (Hz) จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

ก1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความถี่



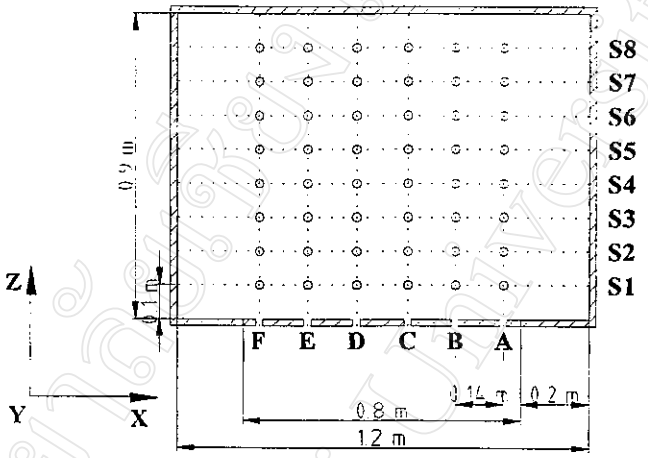
รูปที่ ก1 แสดงลักษณะโดยทั่วไปและตำแหน่งรอยตัด A-A ของอุโมงค์ลม

ทำการทดสอบหาความเร็วลมบนภาคตัด A-A ดังแสดงตำแหน่งในรูปที่ ก1 ซึ่งตำแหน่งของภาคตัด A-A จะอยู่ระหว่างปากทางเข้าและชุดทดสอบโรเตอร์คือ มีระยะก่อนหน้าชุดทดสอบประมาณ 0.45 เมตร และมีระยะห่างจากปากทางเข้าของอุโมงค์ลมประมาณ 3 เมตร สำหรับความเร็วลมเฉลี่ยตลอดภาคตัด A-A จะสมมติเป็นความเร็วลม v ที่พัดเข้าหาโรเตอร์ โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

ก1.1 ออกแบบภาคตัด A-A สำหรับวัดความเร็วลมขณะที่กระแสลมมีทิศทางพุ่งเข้าระนาบ XZ ดังแสดงในรูปที่ ก2 โดยแบ่งภาคตัดออกเป็นช่องเล็กๆ แต่ละช่องมีพื้นที่ 0.1 × 0.14 เมตร ซึ่งจะทำให้มีตำแหน่งวัดทั้งหมด 48 ตำแหน่ง

ก1.2 ตรวจเช็คการทำงานของตู้ควบคุมเครื่องปรับรอบมอเตอร์และเครื่องวัดความเร็วลม จากนั้นนำแท่งวัดของเครื่องวัดความเร็วลมสอดเข้าที่ตำแหน่ง A โดยให้ปลายที่เป็นจุดอ่านความเร็วอยู่ที่ตำแหน่ง AS1

ก1.3 ตั้งความถี่เริ่มต้นให้กับเครื่องปรับรอบไว้ที่ 5 เฮิร์ท (Hz) และทำการเปิดเครื่องเพื่อให้มอเตอร์ทำงาน



รูปที่ ก2 แสดงตำแหน่งสำหรับวัดความเร็วลมบนหน้าตัด A-A

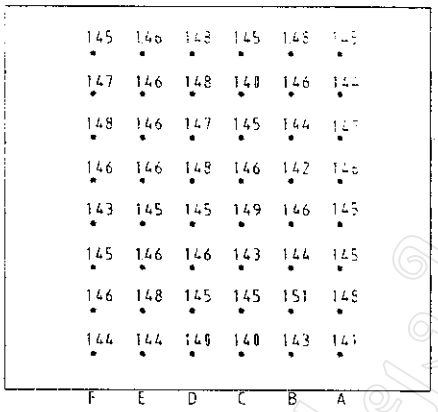
ก1.4 ทำการบันทึกค่าของความเร็วลมเมื่อค่าความเร็วที่อ่านได้เริ่มมีค่าสม่ำเสมอโดยจะตั้งให้เครื่องวัดทำการอ่านและบันทึกค่าลงในคอมพิวเตอร์ทุกๆ 5 วินาที เป็นจำนวน 3 ค่า

ก1.5 เปลี่ยนตำแหน่งวัดใหม่เริ่มทำการวัดตามแนวแกน A ที่ตำแหน่ง AS2 เรื่อยไปจนถึง AS8 จากนั้นจึงเลื่อนตำแหน่งไปวัดตามแนวแกน B ซึ่งทำการวัดเช่นเดียวกับแนวแกน A จนกระทั่งสิ้นสุดที่แนวแกน F โดยจะทำการเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับที่ AS1

ก1.6 ตั้งความถี่ให้กับเครื่องปรับรอบใหม่โดยเพิ่มเป็น 7 10 13 15 17 20 23 25 27 และ 30 เฮิร์ทตามลำดับ และทำการทดสอบเช่นเดียวกับที่ 5 เฮิร์ท

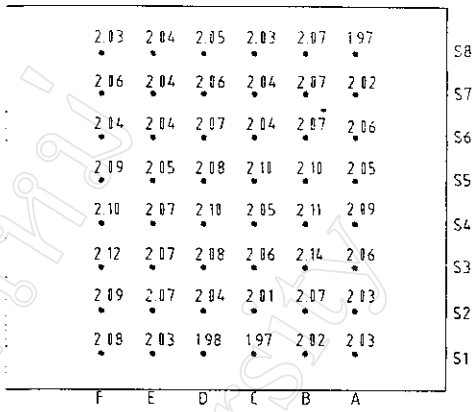
ก1.7 เมื่อทำการทดสอบเสร็จให้รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ โดยเริ่มแรกสุดให้หาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมจากการทำซ้ำตั้งแต่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 ของทุกๆ ความถี่

หลังจากดำเนินการทดสอบตั้งแต่หัวข้อ ก1.1 ถึง ก1.7 เสร็จสิ้น จะได้ผลของความเร็วลมตั้งแต่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 ดังแสดงในรูปที่ ก3 โดยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติด้วยวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, STDEV) และสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of Variation, COV หรือสัดส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ย)



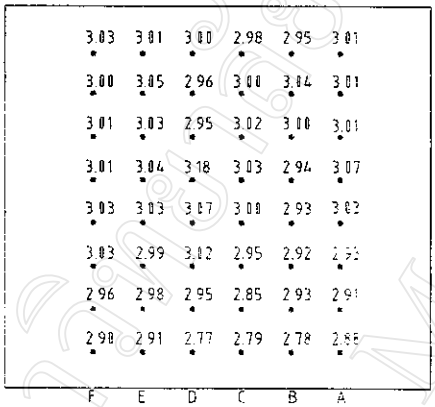
5 Hz, v = 1.45 m/s

STDEV = 0.02, COV = 1.56



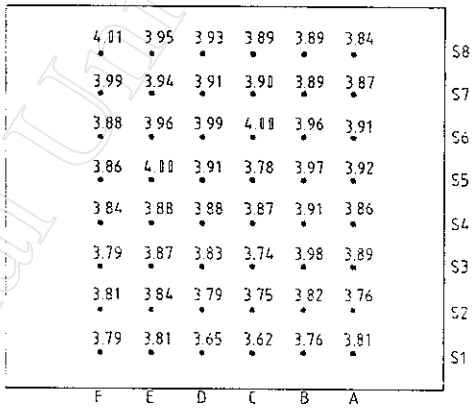
7 Hz, v = 2.06 m/s

STDEV = 0.04, COV = 1.79



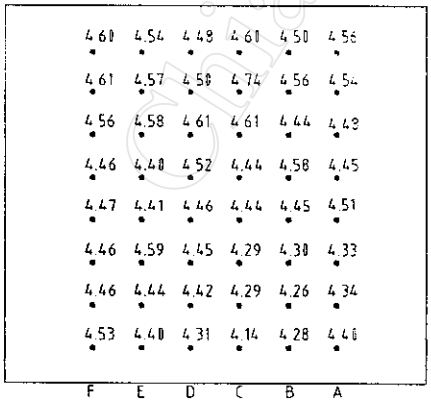
10 Hz, v = 2.98 m/s

STDEV = 0.08, COV = 2.56



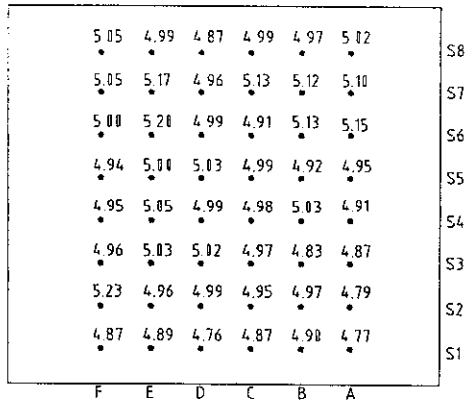
13 Hz, v = 3.87 m/s

STDEV = 0.09, COV = 2.27



15 Hz, v = 4.47 m/s

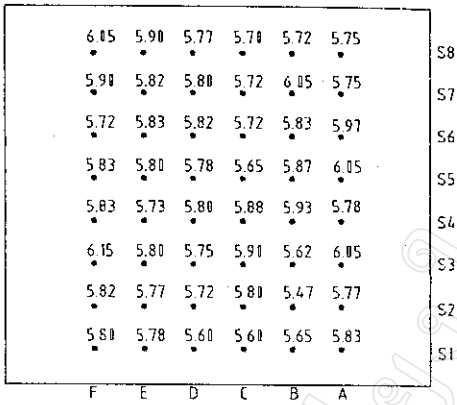
STDEV = 0.12, COV = 2.59



17 Hz, v = 4.98 m/s

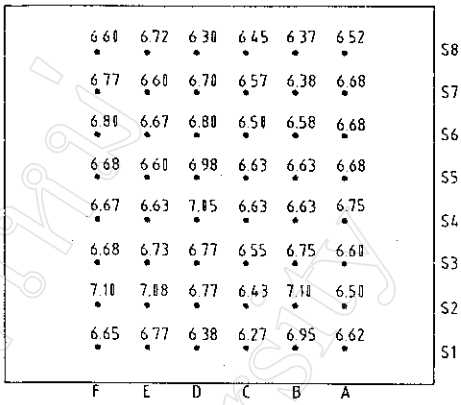
STDEV = 0.10, COV = 2.09

รูปที่ ก3 แสดงผลของความเร็วลมที่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 บนภาคตัด A-A



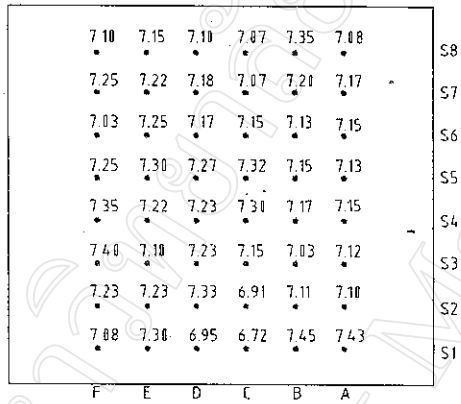
20 Hz, v = 5.80 m/s

STDEV = 0.13, COV = 2.24



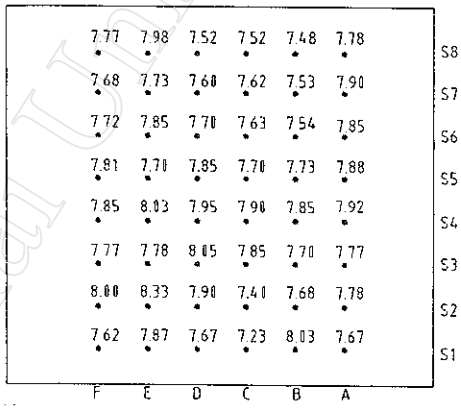
23 Hz, v = 6.67 m/s

STDEV = 0.19, COV = 2.90



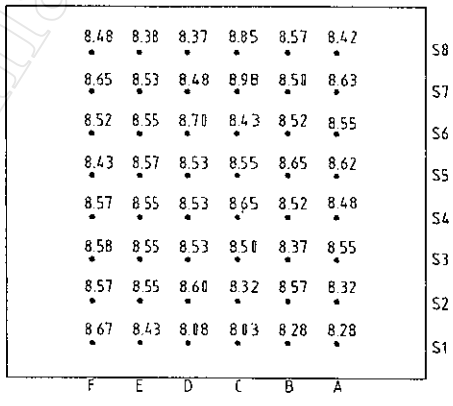
25 Hz, v = 7.18 m/s

STDEV = 0.13, COV = 1.86



27 Hz, v = 7.76 m/s

STDEV = 0.19, COV = 2.45



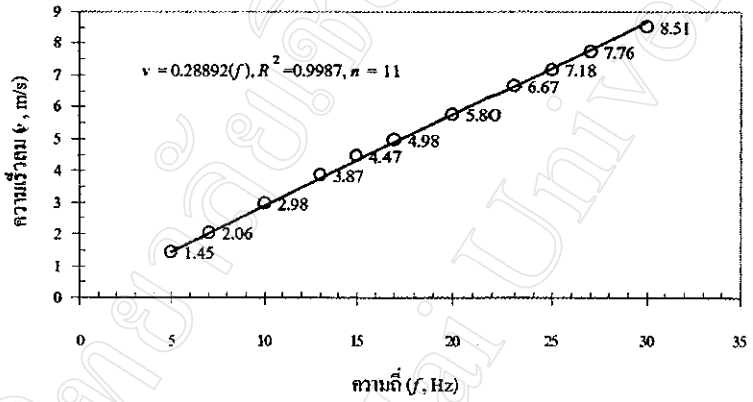
30 Hz, v = 8.51 m/s

STDEV = 0.16, COV = 1.88

รูปที่ ก3 (ต่อ) แสดงผลของความเร็วลมที่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 บนภาคตัด A-A

จากรูปที่ ก3 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมเฉลี่ย (v) กับความถี่ ซึ่งความเร็วลมเฉลี่ยที่ว่านี้จะหมายถึง ความเร็วลมเฉลี่ยตลอดภาคตัดทำงาน A-A หรือค่าเฉลี่ยจากความเร็วลมที่ตำแหน่ง AS1 ถึง FS8 จะมีความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ ก4

จากรูปที่ ก4 พบว่าความเร็วลมเฉลี่ยที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด A-A จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 0 ถึง 9 เมตรต่อวินาที โดยแปรผันเชิงเส้นตรงในช่วงความถี่ 5 ถึง 30 เฮิร์ท จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนาม (Polynomial Regression) สามารถหาค่าความชัน ได้คือ 0.2889 ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.9987$ จากจำนวนข้อมูลที่นำมาสร้างสมการทั้งหมด 11 ค่า



รูปที่ ก4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมเฉลี่ยและความถี่ที่ป้อนให้เครื่องปรับรอบมอเตอร์

ก2 การกระจายของกระแสลมตลอดภาคตัดทำงาน A-A

การกระจายของกระแสลมที่เกิดขึ้นบนภาคตัด A-A ในอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบในช่วงความเร็วลม 1 ถึง 9 เมตรต่อวินาที จากการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งได้จัดรวบรวมแสดงในตาราง ก1 จะพบว่าการกระจายของความเร็วลมที่เกิดขึ้นตลอดภาคตัด A-A ในขณะที่อุโมงค์ลมทำงานจะมีค่าไม่สูงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากค่า STDEV ของแต่ละขนาดความเร็วจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วเฉลี่ย สำหรับผลของการกระจายเมื่อปรับขนาดความเร็วให้เปลี่ยนไปจะพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันจะสังเกตได้จากค่า COV ที่มีค่าสม่ำเสมอเมื่อความเร็วเปลี่ยนไป ดังนั้นอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบนี้จึงสามารถสร้างกระแสลมความเร็วไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที ให้มีการกระจายของความเร็วตลอดภาคตัด A-A ก่อนเข้าสู่ชุดโรเตอร์ได้อย่างสม่ำเสมอถึงแม้ความเร็วจะเปลี่ยนไปโดยมีค่า COV 2.19 โดยเฉลี่ย

ตาราง ก1 แสดงการกระจายของกระแสลมจากค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร COV และ STDEV

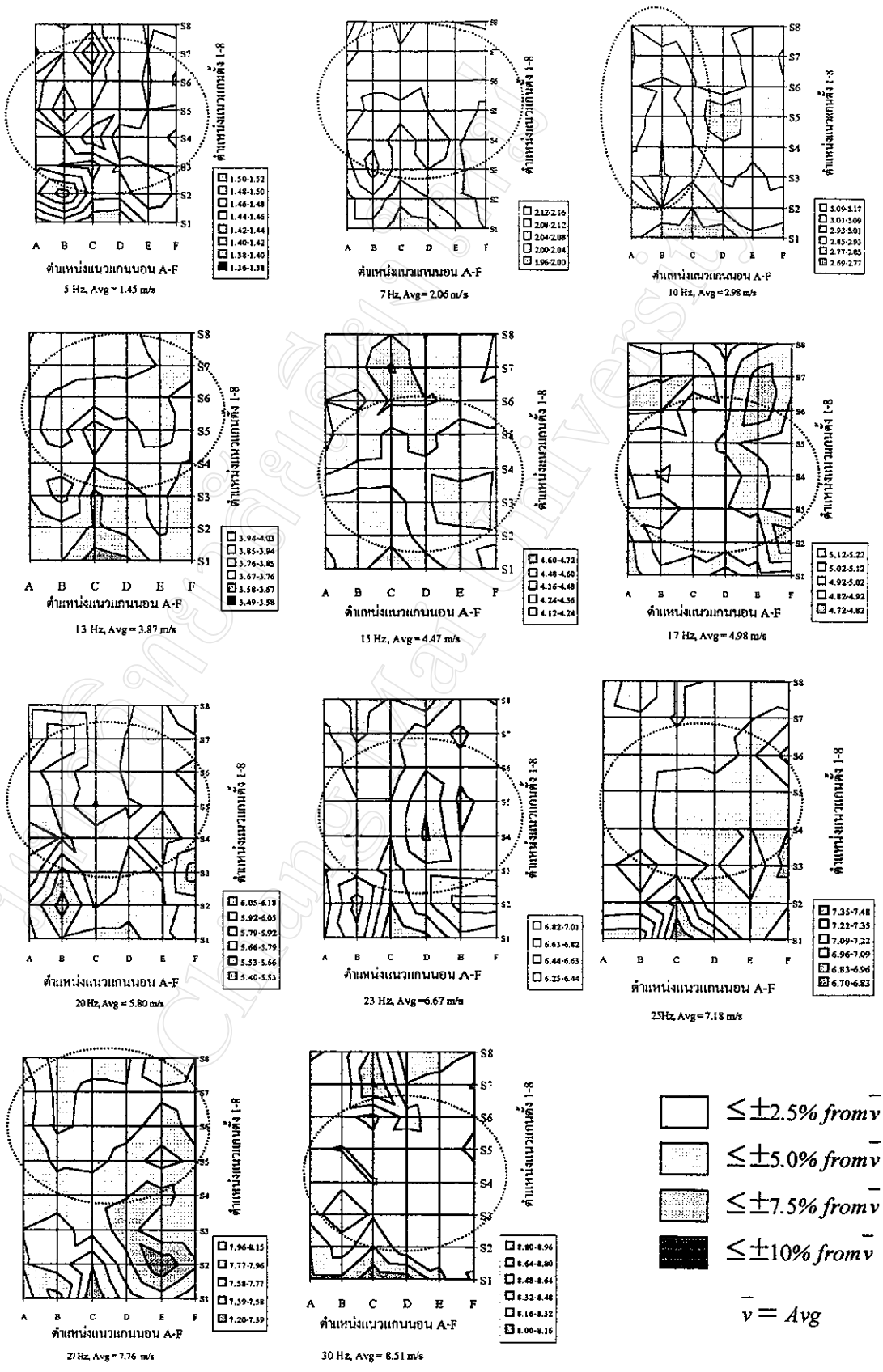
v (m/s)	1.45	2.06	2.98	3.87	4.47	4.98	5.80	6.67	7.18	7.76	8.51	ค่าเฉลี่ย
STDEV	0.02	0.04	0.08	0.09	0.12	0.10	0.13	0.19	0.13	0.19	0.16	0.11
%COV	1.56	1.73	2.56	2.27	2.59	2.09	2.24	2.90	1.86	2.45	1.88	2.19

และเมื่อแสดงการกระจายของความเร็วลมตลอดภาคตัด A-A ด้วยพื้นที่แรเงาของผลต่างความเข้มสีดังแสดงในรูปที่ ก5 และในแต่ละความเข้มสีจะบอกให้ทราบถึงช่วงความคลาดเคลื่อนจากความเร็วเฉลี่ยของแต่ละความเร็วโดยประมาณ

จากรูปสามารถบอกได้ว่าเมื่อรอบการหมุนของชุดใบพัดเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสลมที่ไหลผ่านบริเวณด้านบนและด้านล่างใกล้ผนังอุโมงค์ลมจะมีความเร็วลมที่คลาดเคลื่อนจากความเร็วเฉลี่ยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับบริเวณอื่นๆของหน้าตัด A-A เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน ± 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับบริเวณพื้นที่ที่มีการกระจายของกระแสลมใกล้เคียงความเร็วเฉลี่ยด้วยความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 5 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในพื้นที่ของกรอบวงรีที่แสดงด้วยเส้นประโดยบริเวณนี้จะกระจายเฉลี่ยอยู่บนพื้นที่ในแนวแกนนอนที่ตำแหน่ง A ถึง F และแนวแกนตั้งที่ตำแหน่ง S3 ถึง S4 ดังนั้นการทดสอบควรจะติดตั้งชุดทดสอบให้มีตำแหน่งอยู่ภายในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวนี้ ส่วนตำแหน่งที่ใช้วัดความเร็วลมในขณะทดสอบเพื่อใช้อ้างอิงให้เป็นความเร็วลม v ของการทดสอบใดๆ คือ ES3 เพราะนอกจากความเร็วลมที่เกิดขึ้นจะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วลมเฉลี่ยโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 5 เปอร์เซ็นต์ แล้วระยะของตำแหน่งที่วัดก็ไม่สูงหรือต่ำเกินไปคือมีระยะสูงจากผนังอุโมงค์ลมด้านล่าง 0.3 เมตร และมีแนวการวางของแท่งวัดที่ไม่ขวางทางกระแสลมที่พัดเข้าหาโรเตอร์เนื่องจากอยู่เยื้องมาทางด้านซ้ายของโรเตอร์เมื่อมองจากปากทางเข้าของอุโมงค์ลม

ก3 ช่วงของความเร็วที่ใช้ในการทดสอบชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร

จากการลองทดสอบชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรในอุโมงค์ลมโดยปรับเพลาโรเตอร์ไว้ที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศากับแนวแกนตั้งและปรับมุมพิทช์ของปีกที่ตำแหน่งศูนย์องศาทดสอบโดยการค่อยๆเพิ่มความเร็วลมขึ้นและในการเพิ่มความเร็วจะดำเนินการเช่นเดียวกับที่ทดสอบบนภาคตัด A-A คือ ปรับความถี่เริ่มต้นที่ 5 เฮิร์ท และเพิ่มจนกระทั่งถึง 30 เฮิร์ต ในขณะทดสอบได้สังเกตการทำงานของโรเตอร์ซึ่งจะพบว่า โรเตอร์สามารถเริ่มทำงานเมื่อมีความเร็วลมประมาณ 4 เมตรต่อวินาทีพัดเข้าหา หรือปรับความถี่ในช่วง 13 ถึง 15 เฮิร์ท และเมื่อเพิ่มความถี่ขึ้นจนกระทั่งมีความถี่ 27 เฮิร์ทหรือความเร็วประมาณ 8 เมตรต่อวินาที ชุดใบพัดของอุโมงค์ลมขณะหมุนจะมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงที่ซึ่งเมื่อกลับไปพิจารณาที่รูป ก5 จะเห็นได้ว่าผลจากการสั่นของชุดใบพัดที่ความถี่นี้จะทำให้การกระจายของกระแสลมที่มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงมีเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้กำหนดขอบเขตของการทดสอบให้ไม่เกิน 25 เฮิร์ท โดยที่ประมาณช่วงของความเร็วลมที่ใช้ในการทดสอบได้ว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 4 ถึง 8 เมตรต่อวินาทีหรือที่ความถี่ 15 ถึง 25 เฮิร์ท



รูปที่ ก5 แสดงพื้นที่แรงเงาของการกระจายความเร็วลมบนหน้าตัด A-A

ภาคผนวก ข

ปีกและการตรวจสอบดุลยภาพของโรเตอร์

ข1 ลักษณะของปีกที่ใช้ทดสอบ

ชุดโรเตอร์ออโต้ไจโรที่ต้องการสร้างจะประกอบด้วยปีก 2 ใบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.86 เมตร ปีกที่ใช้ในการทดสอบจะกำหนดให้มุมพิทช์ คอร์ด และภาคตัดปีกแบบสมมาตร NACA 0015 คงที่ตลอดความยาวปีก โดยที่ขนาดของคอร์ดสามารถประมาณได้จากสมการ (Lysen, 1982)

$$\frac{8\pi R}{Bc\lambda C_l'} = 3 \qquad \text{.....(ข1)}$$

โดยที่ R คือ รัศมีโรเตอร์ B คือ จำนวนปีก c คือ คอร์ดของปีก λ คือ อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก และ C_l' คือ ความชันของความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและมุมปะทะ

สำหรับความชัน C_l' ของภาคตัดปีก NACA 0015 สามารถหาได้จากกราฟในคู่มือของ Rice (Rice, 1971) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งผลที่ได้คือ 4.2971 เรเดียน$^{-1}$ (พิจารณาจากช่วง $-8^0 \le \alpha \le 16^0$) ในส่วนของอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกสามารถพิจารณาจากตาราง ข1

จากตารางได้ประมาณ λ ที่ 7 ดังนั้นเมื่อแทนตัวแปรที่ทราบค่าทั้งหมดลงในสมการ (ข1) จะทำให้ทราบความยาวคอร์ดที่เหมาะสมในการสร้างปีกคือ 0.05988 เมตร หรือประมาณ 0.06 เมตร

ตาราง ข1 การเลือกออกแบบอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกและจำนวนใบของปีก

อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก	จำนวนใบของปีก
1	6 - 20
2	4 - 12
3	3 - 6
4	2 - 4
5 - 8	2 - 3
8 - 15	1 - 2

ที่มา : Lysen (1982)

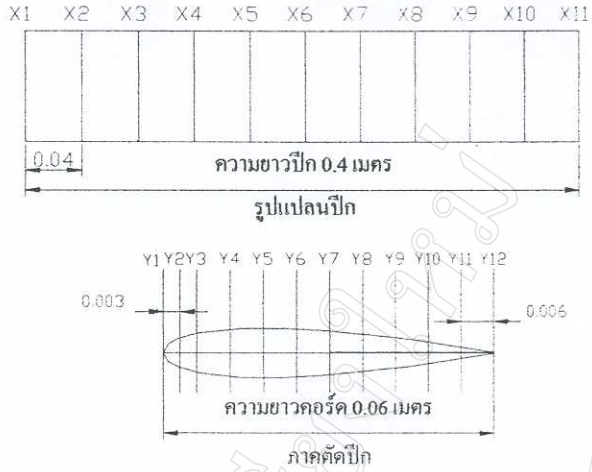
หลังจากทราบขนาดของคอร์ด (0.06 เมตร) รัศมีปีก (มีค่า 0.375 เมตร ซึ่งได้จากนำรัศมีของโรเตอร์หักออกจากรัศมีของดุมโรเตอร์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.11 เมตร) และภาคตัดปีก (NACA 0015) แล้วจึงได้ดำเนินการจัดสร้างแม่พิมพ์ปีกซึ่งมีขนาดคอร์ด 0.06 เมตร และความยาวประมาณ 0.50 เมตร จำนวน 2 ชิ้น ที่ซึ่งจะนำมาประกบกันเพื่อขึ้นรูปปีกดังแสดงในรูปที่ ข1 แต่ก่อนอื่นต้องทำการทดสอบความสม่ำเสมอของภาคตัดปีกที่ได้จากแม่พิมพ์ด้วยการขึ้นรูปปีกตัวอย่างจำนวน 3 ใบ แต่ละใบจะมีขนาดคอร์ดและความยาวประมาณ 0.06×0.40 เมตร โดยมีรายละเอียดของการทดสอบดังแสดงต่อไปนี้

รูปที่ ข1 แสดงการขึ้นรูปของปีกด้วยการประกบแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้น

ข1.1 แบ่งปีกออกเป็นใบละ 10 ชิ้น แต่ละชิ้นจะมีสองภาคตัดปีก ดังนั้นจำนวนภาคตัดปีกที่จะนำมาวัดโดยไม่คิดภาคตัดปีกที่ซ้ำกันของแต่ละใบจะได้ทั้งหมด 11 ภาคตัดปีกต่อหนึ่งปีก ซึ่งจะแทนด้วย X1 ถึง X11 และในแต่ละภาคตัดปีกจะวัดความหนา 12 ตำแหน่งคือ Y1 ถึง Y12 ดังแสดงในรูปที่ ข2

ข1.2 ทำการวัดความหนาในแต่ละภาคตัดปีก เมื่อชิ้นไหนได้ทำการวัดแล้วให้นำมาแยกออกเพื่อกันการปะปนดังแสดงในรูปที่ ข3

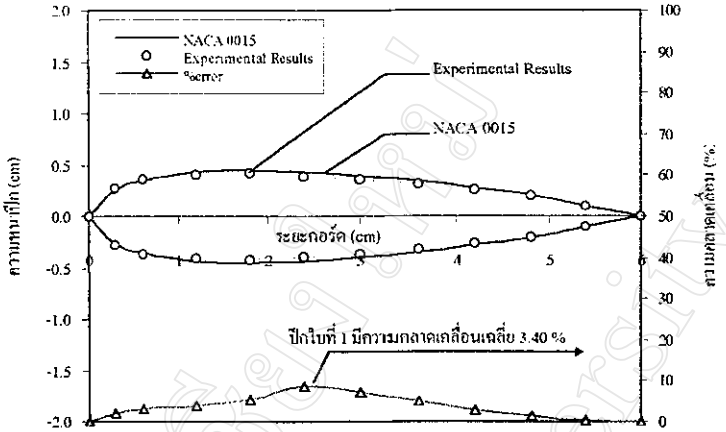
ข1.3 หลังจากได้วัดความหนาครบทั้งสามปีกแล้วให้รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยจะนำความหนาที่ได้วัดตั้งแต่ X1 ถึง X11 ของแต่ละใบมาคิดค่าเฉลี่ยแล้วเปรียบเทียบกับความหนาของภาคตัดปีก NACA 0015 ของ Rice (1971) ดังแสดงในรูปที่ ข4



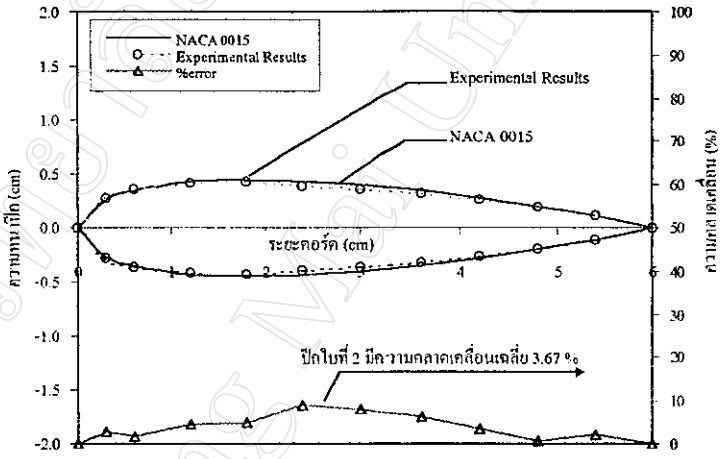
รูปที่ ข2 รูปแสดงการตัดปีกและตำแหน่งสำหรับวัดความหนาของภาคตัดปีกที่สร้างขึ้น

รูปที่ ข3 แสดงชิ้นส่วนของปีกและภาคตัดของปีกที่ได้จากแม่พิมพ์

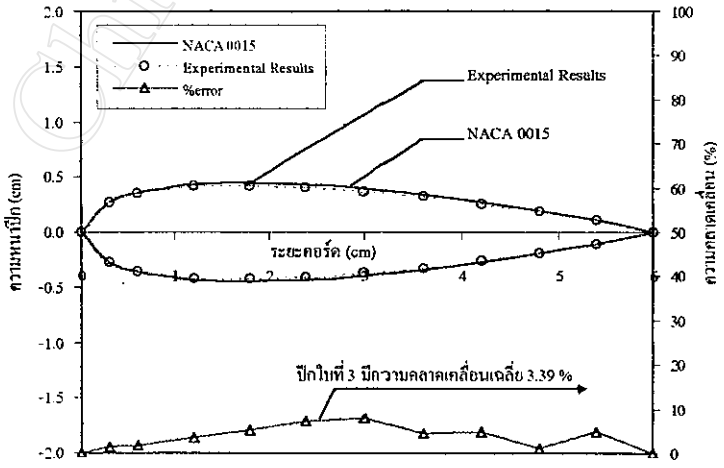
จากรูปที่ ข4 เป็นการแสดงผลของการวัดความหนาที่ได้จากปีกทั้ง 3 ใบ ซึ่งจะพบว่าภาคตัดปีกเฉลี่ยตลอดความยาวปีกทั้งสามใบที่สร้างขึ้น (Experimental Results) ซึ่งแทนสัญลักษณ์ด้วยวงกลมและมีเส้นประลากผ่านจะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับภาคตัดปีก NACA 0015 ซึ่งแทนสัญลักษณ์ด้วยเส้นโค้งต่อเนื่องโดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ที่ช่วงบริเวณ 1/3 ถึง 1/2 ของระยะคอร์ด และเมื่อคิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของภาคตัดปีกตลอดความยาวปีกของใบที่ 1 2 และ 3 คือ 3.40 3.67 และ 3.39 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ทั้งนี้ยังเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนของทั้งสามใบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นผลของการขึ้นรูปของปีกชิ้นต่อๆไปจึงประมาณได้ว่ามีความคลาดเคลื่อนจากภาคตัดปีก NACA 0015 ไม่เกิน 3.7 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย



ภาคตัดปีกใบที่ 1 เทียบกับภาคตัดปีก NACA 0015



ภาคตัดปีกใบที่ 2 เทียบกับภาคตัดปีก NACA 0015



ภาคตัดปีกใบที่ 3 เทียบกับภาคตัดปีก NACA 0015

รูปที่ ข4 แสดงภาคตัดปีกที่สร้างขึ้นเทียบกับภาคตัดปีก NACA 0015

ข1.4 สำหรับปีกที่ใช้ในการทดสอบจะถูกเคลือบผิวด้วยพลาสติกพีวีซีที่มีความหนาไม่เกิน 100 ไมครอนสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งปีกเพื่อลดผลกระทบจากความขรุขระของพื้นผิวปีก สำหรับผลกระทบจากความหนาที่เพิ่มขึ้นของพลาสติกพีวีซีที่เคลือบโดยการประมาณความหนาของพลาสติกมีค่า 100 ไมครอน จะทำให้มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของภาคตัดปีกตลอดความยาวปีกของใบที่ 1 2 และ 3 คือ 3.86 3.63 และ 2.89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน 3.9 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่เคลือบด้วยพลาสติกพีวีซีดังนั้นจะถือว่าไม่มีผลกระทบจากความหนาของการเคลือบด้วยพลาสติกพีวีซี

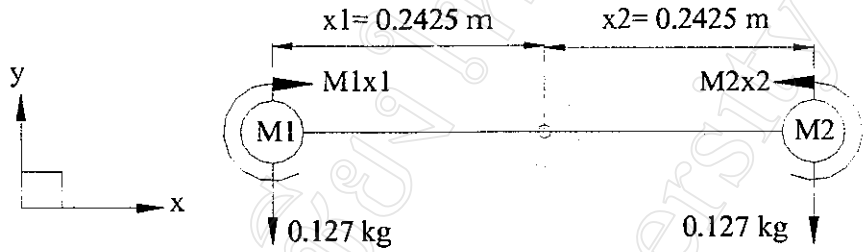
ข2 การทดสอบดุลยภาพของโรเตอร์ออโต้ไจโร

หลังจากที่จัดเตรียมปีกและดุมโรเตอร์พร้อมเสร็จ จะทำการชั่งน้ำหนักของปีกจำนวน 2 ใบ ที่มีขนาดคอร์ด × ความยาว คือ 0.06 × 0.375 เมตร ซึ่งผลจากการชั่งพบว่า ปีกใบที่หนึ่งและสองมีน้ำหนัก 0.080 และ 0.083 กิโลกรัมตามลำดับ ส่วนดุมโรเตอร์ (ดังแสดงในรูปที่ 3.3) จะมีน้ำหนัก 0.088 กรัม เมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันจะมีน้ำหนักรวมคือ 0.251 กิโลกรัม สำหรับการตรวจสอบดุลยภาพจะพิจารณาทางด้านสแตติคโดยอาศัยหลักการสมดุลของมวลซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

ข2.1 ตรวจสอบดุลยภาพด้านสแตติคด้วยการนำโรเตอร์วางลงบนเครื่องชั่งดิจิตอล 2 เครื่องที่มีความไม่แน่นอน ±1 กรัม โดยให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวลของปีกทั้งสองใบเป็นจุดรับแรงดังแสดงในรูปที่ ข5 ซึ่งมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของดุมโรเตอร์ (x1) 0.2425 เมตร จากนั้นอาศัยหลักการของโมเมนต์ (Moment) โดยให้จุดศูนย์กลางของดุมโรเตอร์เป็นจุดศูนย์ถ่วงของระบบ

รูปที่ ข5 การตรวจสอบดุลยภาพของชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรด้านสแตติค

ข2.2 จากหลักของโมเมนต์ดังแสดงในรูปที่ ข6 จะพบว่าเมื่อเพิ่มมวลถ่วงโดยใช้มวล 0.003 กิโลกรัม เสริมที่ปลายปีกใบที่ 1 (M1) จะทำให้โมเมนต์ทั้งสองทิศทางเท่ากันโดยระยะห่างระหว่างมวลทั้งสองกับจุดศูนย์กลางของดุมโรเตอร์ยังคงที่ และมวลทั้งสองมีค่า 0.127 กิโลกรัม



รูปที่ ข6 แสดงการใช้หลักของโมเมนต์ในการคิดดุลยภาพของชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

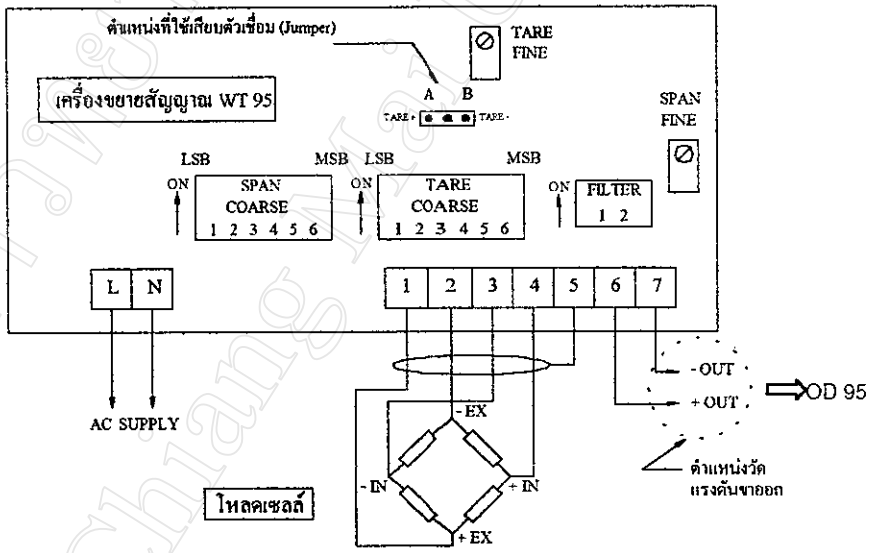
ภาคผนวก ค

การทดสอบสัญญาณของชุดวัดแรง

ค1 การติดตั้งชุดวัดแรง

ชุดวัดแรงจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญได้แก่ โหลดเซลล์ เครื่องขยายและรับสัญญาณ WT 95 และ OD 95 และคอมพิวเตอร์ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสามจะถูกติดตั้งเข้าด้วยกันโดยมีแผนผังการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.4

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์พร้อมเสร็จจะทำการปรับเทียบเครื่องขยายและรับสัญญาณ WT 95 และ OD 95 เข้ากับขนาดโหลดสูงสุดของโหลดเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบคือ 196.2 นิวตัน หรือ 20 กิโลกรัมโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ ค1 แสดงแผนผังการทำงานของชุดวัดแรง

ก. ในการตั้งค่าโหลดสูงสุดที่ 196.2 นิวตัน จะเริ่มจากทำการตั้งค่าสวิทช์ Span Coarse ดังแสดงในรูปที่ ค1 จากค่า Amplifier Sensitivity ที่คำนวณได้จากสมการ (ค1) คือ (คู่มือ Wisco)

$$Amp.Sens. = \frac{\text{โหลดสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบ} \times Load.Cell.Sen(mV/V)}{\text{จำนวนโหลดเซลล์} \times Nor\,min\,al.Load\,\text{ของโหลดเซลล์}} \quad \text{.....(ค1)}$$

โดยที่ ค่า *Load.Cell.Sen* ของโหลดเซลล์ที่ใช้คือ 2 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์ (mV/V)

ค่า *Nor min al.Load* ของโหลดเซลล์ที่ใช้คือ 981 นิวตัน (N) หรือ 100 กิโลกรัม (kg)

เมื่อแทนตัวแปรที่ทราบค่าลงในสมการ (ค1) จะได้ค่า *Amp.Sens* คือ 0.400 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์ (mV/V) จากนั้นนำค่าที่ได้นี้ไปเทียบในตาราง ค1 (ดูได้ในท้ายภาคผนวก ค.) จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกับ 0.394 ดังนั้นให้ตั้งค่าสวิทซ์ของ Span Coarse ให้สวิทซ์ตัวที่ 1 ถึง 6 เป็น ON

ข. หลังจากตั้งค่าสวิทซ์ของ Span Coarse แล้วให้ทำการเสียบตัวเชื่อม (Jumper) ที่ตำแหน่ง B เพราะวัดสัญญาณแรงดันขาออกที่ขั้ว 6 และ 7 ได้ค่าน้อยกว่า 0 โวลต์ (V) (การเสียบตัวเชื่อมจะพิจารณาจากสัญญาณของขั้ว 6 และ 7 ที่ส่งออกมาถ้ามีค่ามากกว่า 0 โวลต์ เสียบตัวเชื่อมที่ A แต่ถ้าน้อยกว่า 0 โวลต์ เสียบตัวเชื่อมที่ B) และปรับสวิทซ์ Tare Coarse เป็นขั้นตอน (Step) แบบ Binary ตามตาราง ค2 จนกระทั่งได้ค่าแรงดันขาออกมีค่าใกล้เคียงศูนย์และปรับปุ่ม Tare Fine เพื่อให้สัญญาณเป็น 0 โวลต์

ค. จากนั้นสามารถหักโหลดจากภายนอกที่กระทำอยู่บนโหลดเซลล์โดยการใส่น้ำหนักมาตรฐานที่ทราบค่าโดยควรมีน้ำหนักมากกว่า 2/3 ของโหลดสูงสุดซึ่งก็คือ 147.15 นิวตัน หรือ 15 กิโลกรัม และให้ปรับปุ่ม Span Fine ให้ได้ค่าแรงดันขาออก (*Output.Voltage*) คือ 7.5 โวลต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (ค2) ดังนี้ (คู่มือ Wisco)

$$Output.Voltage = \frac{น้ำหนักมาตรฐาน \times 10}{น้ำหนัก.Full.Scale} = \frac{15 \times 10}{20} = 7.5 \qquad \text{.....(ค2)}$$

การปรับสัญญาณของแรงดันขาออกที่ขั้ว 6 และ 7 ให้ใกล้เคียง 7.5 โวลต์จะถือว่าเป็นการตั้งค่าสัญญาณเริ่มต้นเป็นศูนย์หรือแรงเป็นศูนย์นิวตัน (N) ซึ่งจะแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

ค2 การทดสอบสัญญาณจากชุดวัดแรง

จากค่าความไม่แน่นอนของโหลดเซลล์คือ 0.015 เปอร์เซ็นต์ และความไม่แน่นอนจากการขยายสัญญาณของเครื่องขยายและรับสัญญาณ WT 95 และ OD 95 คือ < 0.1 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นความไม่แน่นอนรวม (ε_a) ของสัญญาณในชุดวัดแรงคำนวณได้จากสมการดังนี้ (Dally *et al.*, 1993)

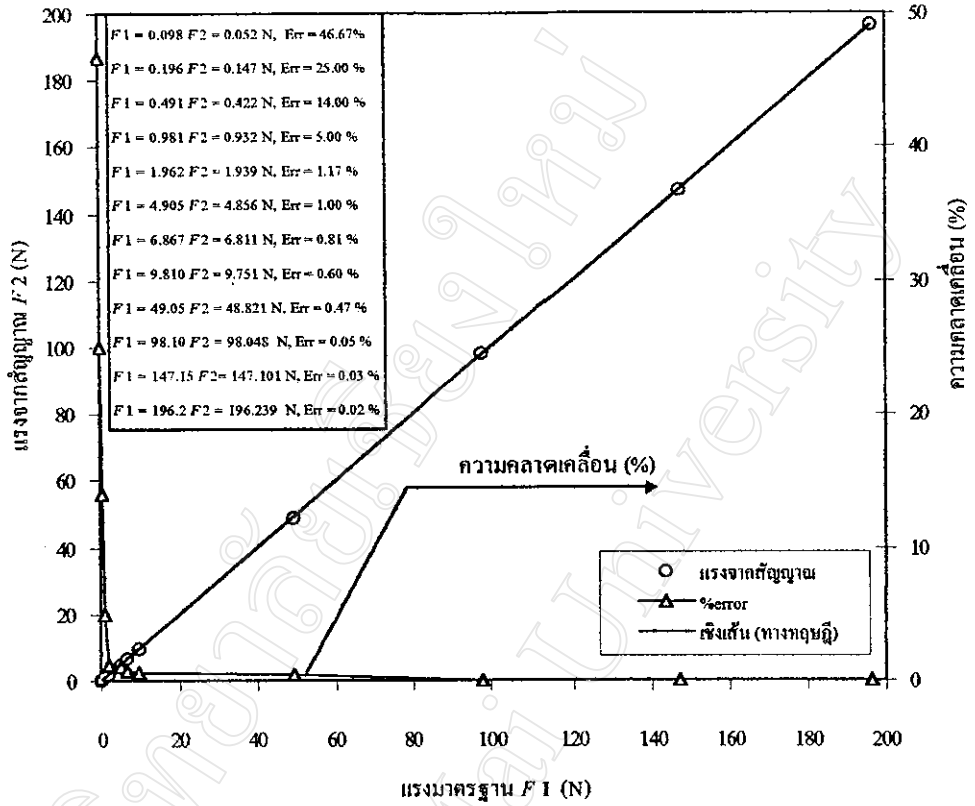
$$\varepsilon_a = \sqrt{\varepsilon_T^2 + \varepsilon_{SC}^2 + \varepsilon_A^2 + \varepsilon_R^2} \qquad \text{.....(ค3)}$$

โดยที่ ε_T คือ ความไม่แน่นอนของโหลดเซลล์ (0.015 %)

ε_{SC} คือ ความไม่แน่นอนจากสภาวะสัญญาณ (Signal Condition) สมมติให้เป็นศูนย์

ε_A คือ ความไม่แน่นอนจากการขยายสัญญาณ (Amplifier) (< 0.1 %)

ε_R คือ ความไม่แน่นอนในการบันทึก (Recorder) สมมติให้เป็นศูนย์



รูปที่ ค2 การแสดงผลของชุดวัดแรงที่ใช้ในการทดสอบ

เมื่อแทนค่าความไม่แน่นอนที่ทราบค่าลงในสมการ (ค3) จะได้ความไม่แน่นอนรวมของชุดวัดแรงในการทดสอบคือ < 0.101 เปอร์เซ็นต์ของโหลดสูงสุด สำหรับโหลดสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบนี้คือ 196.2 นิวตัน จะทำให้ชุดวัดแรงมีความไม่แน่นอนของแรงที่อ่านได้คือ น้อยกว่า 0.1982 นิวตัน (< 0.1982 N) ซึ่งไม่สามารถกำหนดค่าความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการอ่านคงที่ที่ 0.1982 นิวตันได้ ดังนั้นจึงได้ทดสอบสัญญาณของชุดวัดแรงนี้โดยเพิ่มน้ำหนักมาตรฐานในช่วง 0 ถึง 196.2 นิวตัน และผลที่ได้จากการทดสอบจะถูกแสดงในรูปที่ ค2 จากรูปจะพบว่าความคลาดเคลื่อนมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อขนาดของแรงที่กระทำเปลี่ยนไปโดยที่ค่าเริ่มต้นของแรงที่ชุดวัดแรงสามารถอ่านได้จากการทดสอบนี้คือ 0.052 นิวตัน เมื่อมีแรงมาตรฐาน 0.098 นิวตัน มากระทำแต่ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มีค่าสูงมากคือ 46.67 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นเมื่อแรงที่อ่านได้เพิ่มขึ้นเป็น 0.1962 นิวตัน ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนจะน้อยกว่าหนึ่งเมื่อแรงมีค่ามากกว่า 4.9 นิวตัน จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถระบุความไม่แน่นอนของแรงที่อ่านได้แต่เมื่อแรงที่อ่านได้มีค่าสูงขึ้นจะมีความคลาดเคลื่อนลดลง ดังนั้นชุดวัดแรงนี้จึงได้ถูกประกอบเข้ากับคานทดแรงที่ได้ออกแบบไว้เพื่อเป็นชุดคานทดแรงสำหรับใช้วัดและทดแรงยกในแนวแกนเพลาของโรเตอร์ออโต้ไจโรดังจะกล่าวถึงต่อไปในภาคผนวก ง

ตาราง ค1 สำหรับการตั้งค่าสวิทซ์ Span Coarse

Sense.	Span Coarse						Sense.	Span Coarse						Sense.	Span Coarse					
mV/V	1	2	3	4	5	6	mV/V	1	2	3	4	5	6	mV/V	1	2	3	4	5	6
3.030							0.912		X	X		X		0.544	X	X		X		X
2.754	X						0.884	X	X	X		X		0.532			X	X		X
2.514		X					0.85				X	X		0.524	X		X	X		X
2.320	X	X					0.828	X			X	X		0.514		X	X	X		X
2.130			X				0.804		X		X	X		0.506	X	X	X	X		X
1.990	X		X				0.784	X	X		X	X		0.496					X	X
1.860		X	X				0.76			X	X	X		0.488	X				X	X
1.754	X	X	X				0.742	X		X	X	X		0.48		X			X	X
1.624				X			0.724		X	X	X	X		0.472	X	X			X	X
1.542	X			X			0.706	X	X	X	X	X		0.464			X		X	X
1.462		X		X			0.688						X	0.458	X		X		X	X
1.396	X	X		X			0.672	X					X	0.45		X	X		X	X
1.324			X	X			0.658		X				X	0.444	X	X	X		X	X
1.628	X		X	X			0.644	X	X				X	0.434				X	X	X
1.214		X	X	X			0.628			X			X	0.428	X			X	X	X
1.168	X	X	X	X			0.614	X		X			X	0.422		X		X	X	X
1.214					X		0.602		X	X			X	0.416	X	X		X	X	X
1.084	X				X		0.59	X	X	X			X	0.41			X	X	X	X
1.044		X			X		0.574				X		X	0.404	X		X	X	X	X
1.010	X	X			X		0.564	X			X		X	0.398		X	X	X	X	X
0.972			X		X		0.554		X		X		X	0.394	X	X	X	X	X	X
0.942	X		X		X															

ตาราง ค2 สำหรับการตั้งค่าสวิทซ์ Tare Coarse

%Tare	Tare Coarse						%Tare	Tare Coarse						%Tare	Tare Coarse					
	1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
0							176		X	X		X		334	X	X		X		X
8	X						184	X	X	X		X		352			X	X		X
16		X					192				X	X		360	X		X	X		X
24	X	X					200	X			X	X		368		X	X	X		X
32			X				208		X		X	X		376	X	X	X	X		X
40	X		X				216	X	X		X	X		384					X	X
48		X	X				224			X	X	X		392	X				X	X
56	X	X	X				232	X		X	X	X		400		X			X	X
64				X			240		X	X	X	X		408	X	X			X	X
72	X			X			248	X	X	X	X	X		416			X		X	X
80		X		X			256						X	424	X		X		X	X
88	X	X		X			264	X					X	432		X	X		X	X
96			X	X			272		X				X	440	X	X	X		X	X
104	X		X	X			280	X	X				X	448				X	X	X
112		X	X	X			288			X			X	456	X			X	X	X
120	X	X	X	X			296	X		X			X	464		X		X	X	X
128					X		304		X	X			X	472	X	X		X	X	X
136	X				X		312	X	X	X			X	480			X	X	X	X
144		X			X		320				X		X	488	X		X	X	X	X
152	X	X			X		328	X			X		X	496		X	X	X	X	X
160			X		X		336		X		X		X	504	X	X	X	X	X	X
168	X		X		X															

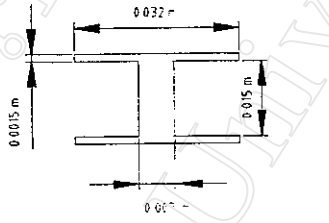
X = ON

ภาคผนวก ง

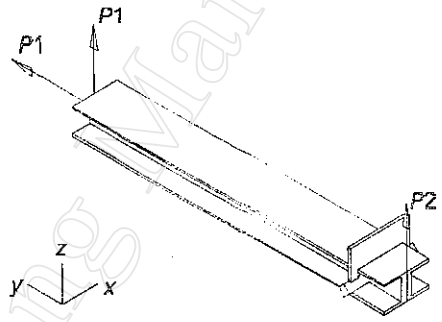
คานทดแรงและการทดสอบการทดแรงของคาน

ง1 คานทดแรง

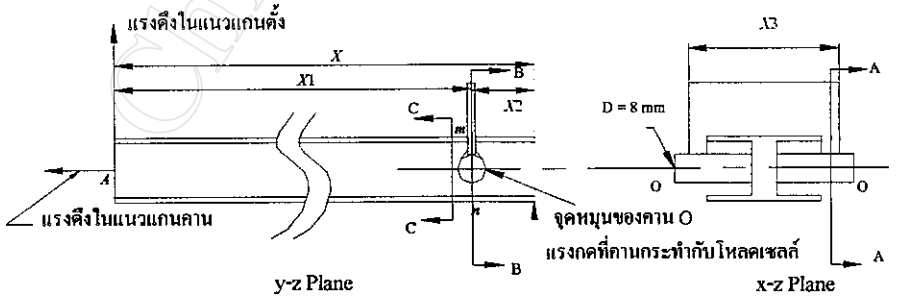
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดแรงเพื่อให้แรงยกที่อ่านได้จากโหลดเซลล์มีค่าสูงขึ้น คุณสมบัติของคานที่ต้องการคือ มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงเพียงพอกับโหลดที่มากระทำกับคาน และไม่มีผลกระทบต่อการทดแรงเนื่องจากการแอ่น

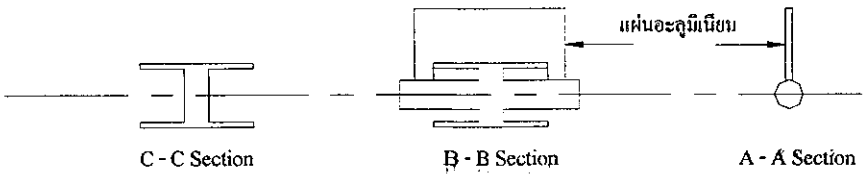


หน้าตัดแบบตัวไอของคาน



ลักษณะคานทดแรง x-y-z Plane





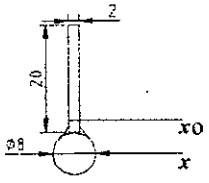
รูปที่ ง1 แสดงลักษณะทั่วไปของคาน

คานสำหรับการทดสอบจะใช้แท่งอะลูมิเนียมขนาดความยาว X คือ 0.782 เมตร ที่มีหน้าตัดแบบตัวไอเป็นโครงสร้างของคาน เพราะมีน้ำหนักที่เบาเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ โดยแบ่งความยาว X ออกเป็นสองส่วน คือ ความยาว $X1$ และ $X2$ มีขนาด 0.765 และ 0.017 เมตร ตามลำดับ ซึ่งความยาว $X1$ เป็นระยะที่คิดจากจุดหมุน O ของคานไปจนถึงจุด A ที่รับแรงดึง $P1$ ส่วนความยาว $X2$ เป็นระยะที่คิดจากจุดหมุน O ของคานไปจนถึงจุดที่คานกระทำกับโหลดเซลล์ด้วยแรงกระทำ $P2$ ดังแสดงในรูปที่ ง1 เพื่อที่คานสามารถทดแรงได้ 45 เท่า (45:1) สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญของอะลูมิเนียมจะถูกแสดงในตาราง ง1

ตาราง ง1 แสดงคุณสมบัติของอะลูมิเนียม (อภิวันท์ พลชัย 2531)

ชนิด	มวล	ส.ป.ส การขยายตัว	ค่าจำกัดสัดส่วน		ความเค้นสุดยอด		ค่าโมดูลัส		%การยืดจากเดิม
	(kg/m^3)	[$\mu m/(mC^*)$]	σ_{PL} (Mpa)		σ_U (Mpa)		(Gpa)		50 mm
			ดึง	เฉือน	ดึง	เฉือน	ดึง	เฉือน	
Aluminum, cast	2650	23.1	60	-	90	70	70	30	20

จากรูปเมื่อพิจารณาคานในระนาบ y-z จะพบว่าตำแหน่ง O คือ จุดหมุนของคานและเมื่อพิจารณาในระนาบ x-z จะพบว่าที่จุดหมุน O คือ แกนเพลา O-O มีความยาวตลอด ($X3$) 0.05 เมตร ที่เชื่อมติดกับคานซึ่งมีภาคตัด A-A ดังแสดงในรูปที่ ง2 ปลายทั้งสองของเพลา O-O จะประกอบเข้ากับตลับลูกปืนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของวงในคือ 0.008 เมตร มีลักษณะถูกยึดแบบธรรมดาที่ขอบโดยเพลา O-O สามารถหมุนรอบแกนได้เพียงอย่างเดียว สำหรับการคำนวณหาค่าโมเมนต์อินเนอร์เชีย (I) ของภาคตัด A-A จะเริ่มจากหาจุดศูนย์ถ่วง xo ของพื้นที่ภาคตัดโดยที่ตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วง xo จะมีระยะห่างจากตำแหน่ง x เท่ากับ 6.204×10^{-3} เมตร ซึ่งมีรูปแบบของการคำนวณดังนี้



รูปที่ ง2 ภาคตัด A-A ของเพลา O-O

$$xo = \frac{(0.002 \times 0.02) \times (0.004 + 0.01)}{\left(\pi 0.004^2 + [0.002 \times 0.02]\right)} = 6.2039 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

หลังจากที่ทราบตำแหน่งของ xo แล้วคำนวณหาโมเมนต์อินเนอร์เชียที่ตำแหน่งนี้ ผลคือ

$$I_{xo} = \left(\frac{0.002 \times 0.02^3}{12} + 4 \times 10^{-5} \left[7.7961 \times 10^{-3} \right]^2 \right) + \left(\frac{\pi 0.004^4}{4} + 5.0265 \times 10^{-5} \left[6.2039 \times 10^{-3} \right]^2 \right)$$

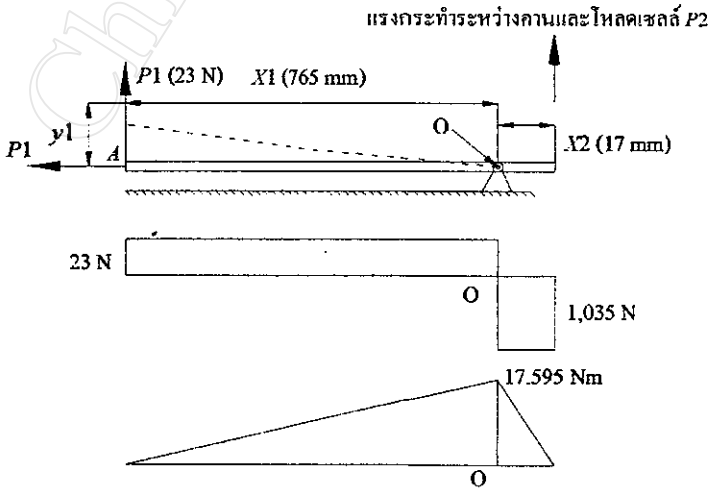
ได้ค่าโมเมนต์อินเนอร์เชียคือ 5.9002 × 10^{-9} เมตร^4 เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาระยะแอ่น $y1$ จากสมการ (ง1)

$$y1 = \frac{P(X3)^3}{48EI} \qquad \text{.....(ง1)}$$

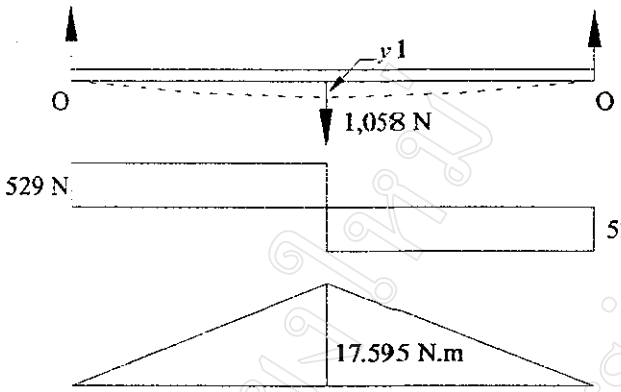
โดยที่แรง P คือ แรงสูงสุดที่กระทำกับเพลา O-O ซึ่งหาได้โดยกำหนดให้แรงยก $P1$ คือ แรงยกสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อแฟคเตอร์การไหล a มีค่า 0.25 ความหนาแน่น ρ คือ 1.226 กิโลกรัมต่อเมตร^3 (จากการแทนค่าความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ลงในสมการ (4.1)) ความเร็วลม v คือ 8 เมตรต่อวินาที และรัศมีโรเตอร์ R คือ 0.43 เมตร โดยแทนค่าเหล่านี้ลงในสมการ (ง2) ผลลัพธ์ที่ได้คือ แรงยก $P1$ สูงสุดที่จะเกิดขึ้นในการทดสอบมีค่าไม่เกิน 23 นิวตัน

$$P1 = 4a(1-a)\frac{1}{2}\rho v^2 \pi R^2 \qquad \text{.....(ง2)}$$

จากนั้นสร้างกราฟของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของคานทดแรงเนื่องจากถูกแรง $P1$ กระทำที่ตำแหน่ง A ของปลายคานด้านหนึ่งดังแสดงในรูปที่ ง3 จากรูปจะพบว่าเกิดแรงเฉือนสูงสุดและโมเมนต์ดัดสูงสุดกระทำที่จุดหมุน O คือ 1,058 นิวตัน และ 17.595 นิวตันเมตรตามลำดับ สำหรับแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นแรงสูงสุด (P) กระทำที่ตำแหน่งตรงกลางของเพลา O-O เมื่อพิจารณาคานที่ระนาบ x-z ดังแสดงในรูปที่ ง4 ระยะแอ่น $y1$ ที่เกิดขึ้นที่เพลา O-O คือ 5.1885 × 10^{-6} เมตรจากการแทนตัวแปรที่ทราบค่าลงในสมการ (ง1) โดยกำหนดค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของอะลูมิเนียม (E) คือ 70 GPa



รูปที่ ง3 แสดงรูปแบบของแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่กระทำกับคาน ในระนาบ y-z



รูปที่ ง4 แสดงแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่กระทำกับแกนเพลา O-O ในระนาบ x-z

จะพบว่าระยะแอ่นที่เกิดขึ้นที่เพลา O-O มีค่าน้อยมากและถ้าเชื่อมเข้ากับคานทดแรงระยะแอ่นที่เกิดขึ้นยิ่งจะมีค่าน้อยลง ดังนั้นจะถือว่าไม่เกิดผลกระทบจากการแอ่นที่เพลา O-O ต่อการทดแรง สำหรับความเสียหายของเพลา O-O จะพิจารณาจากโมเมนต์ดัดที่กระทำกับเพลา O-O คือ 17.595 นิวตันเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นดัดสูงสุดที่ส่วนบนของภาคตัด A-A ซึ่งมีค่า 55.58 MPa และความเค้นเฉือนสูงสุดซึ่งมีค่า 28.39 MPa โดยมีรูปแบบของการคำนวณคือ (Pytel and Singer, 1987)

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{PXc}{4I} = \frac{1{,}058 \times 0.05 \times 0.0178}{4 \times 5.9002 \times 10^{-9}} = 55.58 \text{ MPa} \qquad \text{.....(ง3)}$$

และ $$\tau = \frac{Va'\bar{y}}{It} = \frac{1{,}058 \times (0.002 \times 0.0178) \times \left(\frac{0.0178}{2}\right)}{5.9002 \times 10^{-9} \times 0.002} = 28.39 \text{ MPa} \qquad \text{.....(ง4)}$$

เมื่อเทียบผลของความเค้นดัดและเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นกับความเค้นในตาราง ง1 จะพบว่าเพลา O-O ที่มีภาคตัด A-A จะไม่เกิดความเสียหายเมื่อมีแรงยก 23 นิวตัน มากระทำที่ปลายคาน

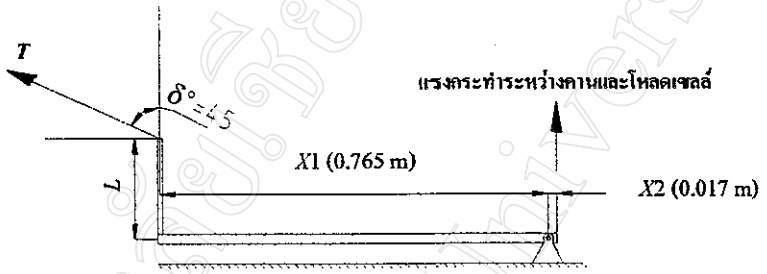
สำหรับการแอ่นที่เกิดขึ้นบนคานทดแรงเมื่อพิจารณาที่ระนาบ y-z ดังแสดงในรูปที่ ง3 จะพบว่าที่ปลายสุดของคานตรงตำแหน่ง A จะมีระยะแอ่นสูงสุด โดยระยะแอ่น $y2$ ที่ตำแหน่ง A หาได้จากสมการดังนี้คือ

$$y2 = \frac{P(X1)^3}{3EI} \qquad \text{.....(ง5)}$$

โดยแรง P คือ แรงยกสูงสุดที่เกิดขึ้นหรือ แรง $P1$ และ I คือ โมเมนต์อินเนอร์เชียของภาคตัด C-C ซึ่งมีค่า 8.5207×10^{-9} เมตร^4 ดังนั้นระยะแอ่นที่เกิดขึ้นคือ 4.476×10^{-3} เมตร

สำหรับความเสียหายของคานทดแรงจะเกิดขึ้นที่รอยตัด C-C ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้ตำแหน่ง O ดังแสดงในระนาบ y-z ของรูปที่ ง1 ดังนั้นสมมติให้พื้นที่ภาคตัด C-C ถูกแรงเฉือน 1,058 นิวตัน และโมเมนต์ดัด 17.595 นิวตันเมตรมากระทำ ค่าความเค้นดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นตรงส่วนบนของภาคตัด C-C จะมีค่า 18.59 MPa และความเค้นเฉือนสูงสุดจะมีค่า 10.52 MPa

เมื่อพิจารณาจากความเค้นดัดและเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นพบว่า จะไม่เกิดความเสียหายเมื่อมีแรงยก 23 นิวตัน มากระทำ



รูปที่ ง5 ลักษณะแรงกระทำที่จะเกิดขึ้นในขณะทำการทดสอบชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร

สำหรับผลกระทบจากระยะแอ่น $y2$ ที่ปลายคานทดแรง สามารถตรวจสอบด้วยค่าโมเมนต์ดัดของคานที่คิดระยะแอ่นเทียบกับค่าโมเมนต์ดัดที่ไม่ได้คิดระยะแอ่นของคาน

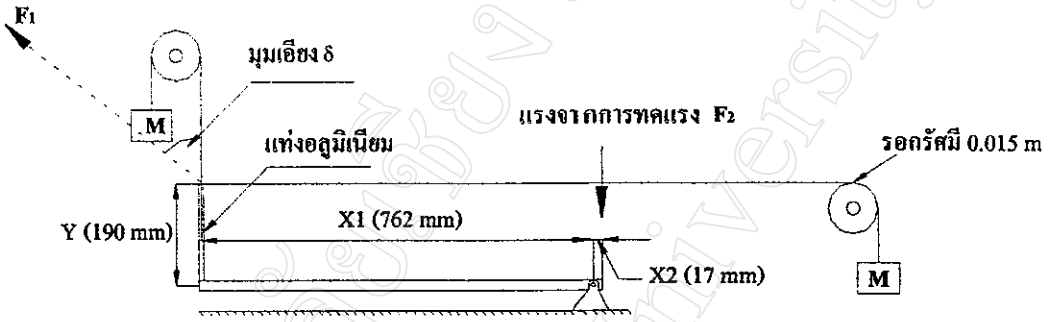
จากรูปที่ ง5 จะสมมติให้แรงยก T มีค่า 23 นิวตัน มีทิศทำมุมเอียงจากแนวแกนตั้ง 45 องศา กระทำกับแท่งอะลูมิเนียมความยาว L ซึ่งมีหน้าที่รับแรงยกจากเพลาโรเตอร์ในอุโมงค์ลมเพื่อผ่านต่อไปยังคานที่อยู่นอกอุโมงค์ลม สำหรับผลจากการแอ่นที่ปลายคานสูงสุดคือ 4.48 มิลลิเมตร จะได้ผลความคลาดเคลื่อนเนื่องจากโมเมนต์ทั้งสองเมื่อ L มีขนาดความยาว 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 เมตร ตามลำดับคือ

ความยาว L	โมเมนต์ดัดที่ไม่คิดการแอ่น	โมเมนต์ดัดที่คิดการแอ่น	ความคลาดเคลื่อน
(m)	(N.m)	(N.m)	(%)
0.1	10.5712	10.4984	0.69
0.2	8.9449	8.8720	0.81
0.3	7.3186	7.2457	1.00
0.4	5.6922	5.6193	1.28
0.5	4.0659	3.9930	1.79

จากผลความคลาดเคลื่อนที่ได้ ความยาวของแท่งอะลูมิเนียมไม่ควรเกิน 0.2 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการแอ่นตัวที่จะเกิดขึ้นของคาน สำหรับในการทดสอบได้ใช้แท่งอะลูมิเนียมขนาดความยาว 0.19 เมตร

ง2 การทดแรงที่ตำแหน่งมุมเอียง 0 15 30 และ 45 องศา ของคานทดแรง

หลังจากประกอบคานทดแรงเข้ากับชุดวัดแรงเสร็จแล้ว ให้ทำการทดสอบการทดแรงด้วยวิธีการเพิ่มแรงดึงจากน้ำหนักมาตรฐาน (M) ขึ้นทีละน้อยผ่านรอกที่มีขนาดรัศมี 0.015 เมตร เพื่อหาสมการการทดแรงของคานที่ซึ่งได้รวมผลของแรงเสียดทานและความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณของชุดวัดแรง



รูปที่ ง6 แสดงลักษณะการทดสอบคานเปล่า

โดยเริ่มทำการทดสอบจากคานเปล่าก่อนหรือคานที่ยังไม่ได้ประกอบเข้ากับชุดโรเตอร์ออโต้ไจโร ในการทดสอบคานเปล่าจะมีวิธีในการทดสอบคือ ให้มีแรงดึงในแนวแกนตั้งและในแนวแกนนอนผ่านแท่งอะลูมิเนียมที่เชื่อมต่อคานและเพลาโรเตอร์ที่มีความยาว L (0.19 เมตร) ตลอดแท่ง ดังแสดงในรูปที่ ง6

สำหรับผลจากการทดสอบด้วยแรงดึงในแนวแกนตั้ง (F_{1y}) พบว่าเส้นแนวโน้มของแรงจากการทดแรง (F_2) ที่เกิดขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธีการถดถอยแบบเชิงเส้นจะได้สมการเส้นตรงที่มีค่า $R^2 = 0.9873$ จากการทดสอบ F_{1y} ในช่วง 0 ถึง 5 นิวตัน ด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด 100 ค่า คือ

$$F_2 = 37.032 F_{1y} \qquad \text{.....(ง6)}$$

โดยที่ ค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ (ง6) เทียบกับการทดสอบคือ 7.88 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย และ F_2 และ F_{1y} มีหน่วยเป็นนิวตัน

ในการทดสอบด้วยแรงดึงในแนวแกนนอน (F_{1x}) จะได้สมการเส้นตรงการทดแรงที่มีค่า $R^2 = 0.9810$ จากการทดสอบ F_{1x} ในช่วง 0 ถึง 5 นิวตัน ด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด 50 ค่า คือ

$$F_2 = 5.480 F_{1x} \qquad \text{.....(ง7)}$$

โดยที่ ค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ (ง7) เทียบกับการทดสอบคือ 10.96 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย และ F_{1x} มีหน่วยเป็นนิวตัน

จากสมการ (ง6) และ (ง7) เมื่อมีแรง F_1 กระทำกับแท่งอะลูมิเนียมในทิศทำมุมเอียง δ กับแนวแกนตั้งดังแสดงในรูปที่ ง6 สมการการทดแรงจะมีรูปแบบดังต่อไปนี้

$$F_2 = 37.032F_{1y} - 5.480F_{1x} \qquad \text{.....(ง8)}$$

หรือ $$F_2 = 37.032F_1 \cos\delta - 5.480F_1 \sin\delta \qquad \text{.....(ง9)}$$

โดยที่ F_1 และ F_2 สามารถใช้ได้ทั้งในหน่วยนิวตันหรือกิโลกรัมแต่ต้องมีหน่วยเหมือนกัน

จากสมการการทดแรง (ง9) จะแสดงให้เห็นได้ว่าคานที่สร้างขึ้น (ในกรณีที่ยังไม่ติดตั้งกับชุดโรเตอร์) สามารถทดแรงเป็นเชิงเส้นตรงโดยมีค่าความชันคงที่ค่าหนึ่งขึ้นกับตำแหน่งการเอียงมุม δ ของแรงที่มากระทำกับแนวแกนตั้ง

หลังจากทดสอบคานเปล่าเสร็จแล้ว จึงประกอบชุดคานทดแรงเข้ากับชุดโรเตอร์ออโต้ไจโร ทำการทดสอบโดยการเพิ่มน้ำหนักมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ ง7 และปรับเพลาโรเตอร์ให้เอียงทำมุม δ (0 15 30 และ 45) องศากับแนวแกนตั้ง

จากผลการทดสอบคานเมื่อเพลาของโรเตอร์เอียงทำมุม 0 องศากับแนวแกนตั้ง พบว่าเส้นแนวโน้มที่เกิดขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนาม จะได้สมการพหุนามอันดับสามที่มีค่า $R^2 = 0.9979$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 20 ค่า ซึ่งจะมีรูปของสมการคือ

$$F_1 = 6\times10^{-6}F_2^{\,3} - 0.0011F_2^{\,2} + 0.0911F_2 \qquad \text{.....(ง10)}$$

โดยที่ ค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ (ง10) เทียบกับการทดสอบคือ 11.23 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

และ F_1 คือ แรงมาตรฐานหรือแรงยกที่ต้องการ ในหน่วยนิวตัน

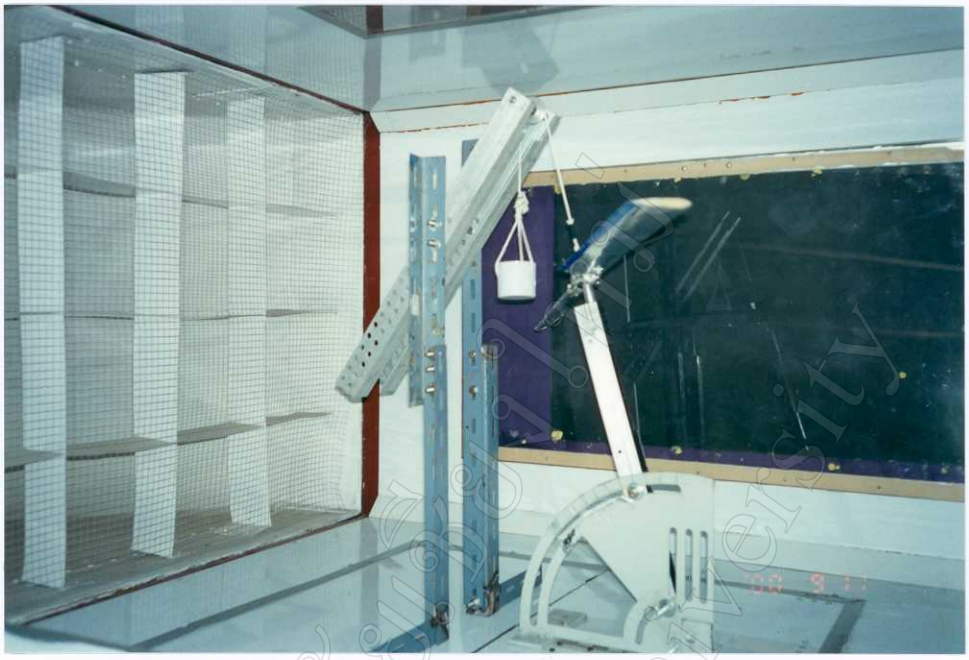
F_2 คือ แรงที่ได้จากการทดแรงมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le F_2 \le 90$ นิวตัน

จากผลการทดสอบคาน เมื่อเพลาของโรเตอร์เอียงทำมุม 15 องศากับแนวแกนตั้ง พบว่าเส้นแนวโน้มที่เกิดขึ้นจะได้สมการพหุนามอันดับสามที่มีค่า $R^2 = 0.9979$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 24 ค่า ซึ่งจะมีรูปของสมการคือ

$$F_1 = 1\times10^{-6}F_2^{\,3} - 0.0007F_2^{\,2} + 0.1049F_2 \qquad \text{.....(ง11)}$$

โดยที่ ค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ (ง11) เทียบกับการทดสอบคือ 10.08 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

F_2 คือ แรงที่ได้จากการทดแรงมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le F_2 \le 90$ นิวตัน



รูปที่ ง7 แสดงการทดสอบคานเมื่อติดตั้งเข้ากับชุดโรเตอร์ออโต้ไจโร

จากผลการทดสอบคานเมื่อเพลาของโรเตอร์เอียงทำมุม 30 องศากับแนวแกนตั้ง พบว่าเส้นแนวโน้มที่เกิดขึ้นจะได้สมการพหุนามอันดับสามที่มีค่า $R^2 = 0.9955$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 36 ค่า ซึ่งจะมีรูปของสมการคือ

$$F_1 = 4\times10^{-5} F_2^{\,3} - 0.005F_2^{\,2} + 0.2205F_2 \qquad \text{.....(ง12)}$$

โดยที่ ค่าความคลาดเคลื่อนจากสมการ (ง12) เทียบกับการทดสอบคือ 10.30 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

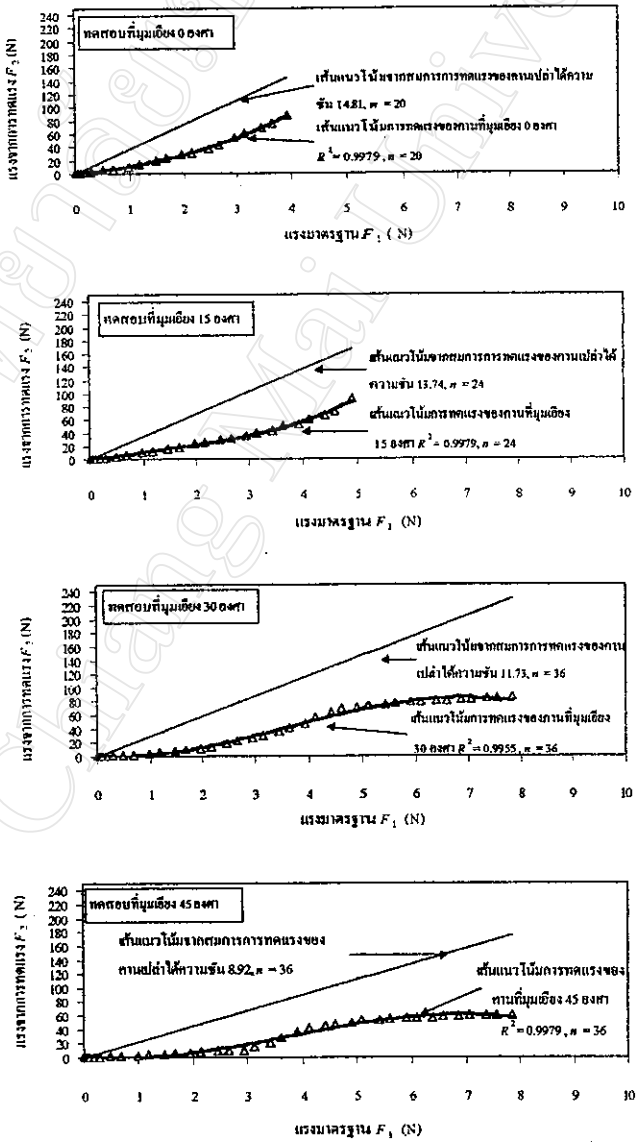
F_2 คือ แรงที่ได้จากการทดแรงมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le F_2 \le 90$ นิวตัน

จากผลการทดสอบคาน เมื่อเพลาของโรเตอร์เอียงทำมุม 45 องศากับแนวแกนตั้ง พบว่าสมการของเส้นแนวโน้มที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงมาตรฐานและแรงจากการทดแรงในหน่วยนิวตันจะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลของการทดสอบสูงมากคือ 51.28 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย แต่เมื่อสร้างเส้นแนวโน้มจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงมาตรฐานและแรงจากการทดแรงในหน่วยกิโลกรัม จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยลงมากคือเหลือเพียง 4.43 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ดังนั้นสมการพหุนามอันดับสามสำหรับการทดแรงที่มุมเอียง 45 องศาคือ

$$F_1 = 9.81\left(0.01311F_2'^{3} - 0.1213F_2'^{2} + 0.3752F_2'\right) \qquad \text{.....(ง13)}$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.9979$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 36 ค่า และ F_2' คือ แรงที่ได้จากการทดแรงมีค่าอยู่ในช่วง $0 \le F_2' \le 7$ กิโลกรัม

สำหรับผลลัพธ์ที่ได้การทดแรงที่มุมเอียง 0 15 30 และ 45 องศาจากสมการ (ง10) ถึง (ง13) ที่จัดให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ $F_2(F_1)$ เมื่อเทียบกับผลการทดแรงของคานเปล่าจากสมการ (ง9) จะถูกแสดงในรูปที่ ง8 จากรูปจะแสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงของการทดแรงหลังติดตั้งชุดคานทดแรงเข้ากับชุดโรเตอร์ออโต้ไจโร จะพบว่าเส้นแนวโน้มการทดแรงเปลี่ยนจากเส้นตรงเป็นเส้นโค้งกำลังสามเพราะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากชุดโรเตอร์ และเมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้นความสามารถในการทดแรงจะลดลงเพราะแรงปรกติที่เพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นโดยที่สมการ (ง10) ถึง (ง13) จะใช้สำหรับเปลี่ยนแรงที่อ่านได้จากชุดวัดแรงให้เป็นแรงยกในแนวแกนเพลาของโรเตอร์ออโต้ไจโร



รูปที่ ง8 แสดงแนวโน้มการทดแรงของคานที่ได้จากคานเปล่า และคานที่ติดตั้งชุดแท่นทดสอบเมื่อเพลาโรเตอร์เอียง 0 15 30 และ 45 องศา

ภาคผนวก จ

ตารางข้อมูล

ตาราง จ1 ข้อมูลจากการทดสอบการทดแรงของคานเปล่า

นน.มาตรฐาน	ในแนวแกน x			นน.มาตรฐาน	ในแนวแกน x			นน.มาตรฐาน	ในแนวแกน y		
M, g	M1, kg	M2, kg	Mxmean	M, g	M1, kg	M2, kg	Mxmean	M, g	M1, kg	M2, kg	Mymean
5	0.150	0.150	0.150	255	10.000	10.220	10.110	10	0.150	0.150	0.150
10	0.270	0.260	0.265	260	10.100	10.450	10.275	20	0.200	0.200	0.200
15	0.370	0.330	0.350	265	10.100	10.420	10.260	30	0.300	0.250	0.275
20	0.540	0.300	0.420	270	10.420	10.670	10.545	40	0.300	0.350	0.325
25	0.740	0.550	0.645	275	10.500	10.850	10.675	50	0.450	0.400	0.425
30	0.940	0.890	0.915	280	10.830	10.890	10.860	60	0.450	0.500	0.475
35	1.420	1.080	1.250	285	11.050	11.150	11.100	70	0.500	0.550	0.525
40	1.620	1.240	1.430	290	11.150	11.190	11.170	80	0.600	0.600	0.600
45	1.720	1.380	1.550	295	11.680	11.350	11.515	90	0.600	0.600	0.600
50	1.820	1.620	1.720	300	11.690	11.420	11.555	100	0.600	0.650	0.625
55	1.930	1.870	1.900	305	11.320	11.520	11.420	110	0.650	0.700	0.675
60	1.980	2.160	2.070	310	12.000	11.620	11.810	120	0.700	0.800	0.750
65	2.320	2.120	2.220	315	12.350	12.210	12.280	130	0.800	0.900	0.850
70	2.680	2.420	2.550	320	12.150	12.660	12.405	140	0.800	1.000	0.900
75	2.880	2.780	2.830	325	12.220	12.460	12.340	150	0.900	1.000	0.950
80	3.130	2.670	2.900	330	12.400	12.650	12.525	160	1.000	1.050	1.025
85	3.370	3.070	3.220	335	12.350	12.560	12.455	170	1.050	1.100	1.075
90	3.530	3.290	3.410	340	12.460	13.050	12.755	180	1.050	1.150	1.100
95	3.630	3.400	3.515	345	12.730	13.020	12.875	190	1.100	1.150	1.125
100	3.730	3.810	3.770	350	12.750	13.250	13.000	200	1.150	1.200	1.175
105	4.380	3.840	4.110	355	12.680	13.450	13.065	210	1.200	1.250	1.225
110	4.550	4.140	4.345	360	12.940	13.520	13.230	220	1.350	1.300	1.325
115	4.900	4.570	4.735	365	13.750	13.500	13.625	230	1.350	1.400	1.375
120	5.150	4.770	4.960	370	13.950	13.700	13.825	240	1.400	1.450	1.425
125	5.410	5.240	5.325	375	14.150	14.050	14.100	250	1.450	1.450	1.450
130	5.550	5.210	5.380	380	14.160	14.100	14.130	260	1.500	1.500	1.500
135	6.000	5.600	5.800	385	14.350	14.130	14.240	270	1.500	1.600	1.550
140	6.110	5.920	6.015	390	14.500	14.500	14.500	280	1.550	1.600	1.575
145	6.210	6.350	6.280	395	14.450	14.700	14.575	290	1.650	1.600	1.625
150	6.310	6.660	6.485	400	15.000	14.640	14.820	300	1.650	1.700	1.675
155	6.550	6.890	6.720	405	15.020	14.820	14.920	310	1.750	1.750	1.750
160	6.700	6.980	6.840	410	14.800	15.070	14.935	320	1.800	1.800	1.800
165	6.750	6.950	6.850	415	15.100	15.100	15.100	330	1.800	1.800	1.800
170	6.950	7.150	7.050	420	15.150	15.140	15.145	340	1.900	1.900	1.900
175	7.290	7.330	7.310	425	15.460	15.200	15.330	350	1.950	1.950	1.950
180	7.380	7.390	7.385	430	15.550	15.290	15.420	360	1.950	2.000	1.975
185	7.740	7.580	7.660	435	15.600	15.440	15.520	370	2.050	2.100	2.075
190	8.140	7.870	8.005	440	15.750	15.650	15.700	380	2.050	2.100	2.075
195	8.150	7.950	8.050	445	15.800	15.920	15.860	390	2.100	2.150	2.125
200	8.420	8.060	8.240	450	15.980	16.100	16.040	400	2.150	2.200	2.175
205	8.650	8.250	8.450	455	16.000	16.220	16.110	410	2.200	2.250	2.225
210	8.900	8.470	8.685	460	16.150	16.420	16.285	420	2.300	2.300	2.300
215	9.100	8.620	8.860	465	16.250	16.480	16.365	430	2.350	2.350	2.350
220	9.210	8.680	8.945	470	16.620	16.560	16.590	440	2.350	2.350	2.350
225	9.350	8.970	9.160	475	16.840	16.610	16.725	450	2.400	2.400	2.400
230	9.550	9.130	9.340	480	16.980	16.530	16.755	460	2.400	2.400	2.400
235	9.700	9.260	9.480	485	17.050	16.850	16.950	470	2.450	2.450	2.450
240	10.050	9.390	9.720	490	17.160	16.950	17.055	480	2.450	2.450	2.450
245	9.800	9.700	9.750	495	17.280	17.000	17.140	490	2.500	2.500	2.500
250	9.900	10.000	9.950	500	17.360	17.150	17.255	500	2.500	2.500	2.500

ตาราง จ2 ข้อมูลจากการทดสอบการทดแรงของคานที่ติดตั้งเข้ากับชุดทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร

มุมเอียง 0 องศา			มุมเอียง 15 องศา			มุมเอียง 30 องศา			มุมเอียง 45 องศา		
นน.มาตรฐาน, N	คานเปล่า, N	คานและชุดทดสอบ, N	นน.มาตรฐาน, N	คานเปล่า, N	คานและชุดทดสอบ, N	นน.มาตรฐาน, N	คานเปล่า, N	คานและชุดทดสอบ, N	นน.มาตรฐาน, N	คานเปล่า, N	คานและชุดทดสอบ, N
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.049	1.817	0.196	0.049	1.685	0.196	0.049	1.439	0.098	0.049	1.094	0.098
0.098	3.633	0.491	0.098	3.370	0.687	0.098	2.878	0.196	0.098	2.189	0.196
0.196	7.266	1.504	0.196	6.740	1.406	0.196	5.755	0.589	0.196	4.378	0.491
0.294	10.899	2.354	0.294	10.110	1.929	0.294	8.633	1.020	0.294	6.566	0.687
0.491	18.165	5.003	0.491	16.851	4.382	0.491	14.388	1.766	0.491	10.944	1.226
0.687	25.431	6.082	0.687	23.591	5.690	0.687	20.143	2.551	0.687	15.322	1.923
0.981	36.331	10.284	0.981	33.701	9.352	0.981	28.775	4.120	0.981	21.888	2.796
1.177	43.597	14.215	1.177	40.442	11.118	1.177	34.530	5.301	1.177	26.266	3.483
1.472	54.496	19.116	1.472	50.552	14.715	1.472	43.163	7.112	1.472	32.832	4.415
1.668	61.762	23.060	1.668	57.292	17.069	1.668	48.918	9.745	1.668	37.210	5.346
1.962	72.661	29.525	1.962	67.403	23.969	1.962	57.550	11.903	1.962	43.776	6.426
2.158	79.927	31.948	2.158	74.143	25.571	2.158	63.305	13.194	2.158	48.154	7.407
2.453	90.827	36.820	2.453	84.253	28.940	2.453	71.938	19.424	2.453	54.721	8.780
2.649	98.093	41.856	2.649	90.993	31.784	2.649	77.693	23.348	2.649	59.098	9.398
2.943	108.992	53.693	2.943	101.104	35.447	2.943	86.326	26.683	2.943	65.665	9.924
3.139	116.258	60.724	3.139	107.844	38.946	3.139	92.081	30.902	3.139	70.042	15.107
3.434	127.157	69.586	3.434	117.954	42.020	3.434	100.713	35.159	3.434	76.609	21.353
3.630	134.423	75.570	3.630	124.695	49.933	3.630	106.468	40.712	3.630	80.986	28.220
3.924	145.322	87.342	3.924	134.805	53.219	3.924	115.101	47.088	3.924	87.553	36.199
			4.120	141.545	60.266	4.120	120.856	55.721	4.120	91.930	41.660
			4.415	151.656	67.231	4.415	129.488	63.765	4.415	98.497	45.126
			4.611	158.396	73.183	4.611	135.244	68.768	4.611	102.875	47.677
			4.905	168.506	92.149	4.905	143.876	71.848	4.905	109.441	49.671
						5.101	149.631	73.150	5.101	113.819	51.993
						5.396	158.264	75.341	5.396	120.385	53.236
						5.592	164.019	77.205	5.592	124.763	54.544
						5.886	172.651	78.513	5.886	131.329	55.525
						6.082	178.406	79.199	6.082	135.707	56.375
						6.377	187.039	80.736	6.377	142.273	57.323
						6.573	192.794	81.194	6.573	146.651	57.879
						6.867	201.427	82.012	6.867	153.217	58.664
						7.063	207.182	82.731	7.063	157.595	59.416
						7.358	215.814	84.104	7.358	164.162	59.906
						7.554	221.569	84.464	7.554	168.539	60.233
						7.848	230.202	85.576	7.848	175.106	60.724

ตาราง จ3 ข้อมูลความดันบรรยากาศตลอดการทดสอบ

มุมเอียง	ครั้งที่	ความดัน	
องศา	n	mmHg	N/m^2
0	1	740.2	98685.2
	2	740.5	98725.2
	3	739.8	98631.9
	4	740.5	98725.2
15	1	742.4	98978.5
	2	740.5	98725.2
	3	742.5	98991.9
	4	739.8	98631.9
30	1	742.1	98938.5
	2	742.5	98991.9
	3	740.6	98738.5
	4	743.5	99125.2
45	1	740.8	98765.2
	2	741.5	98858.5
	3	740.3	98698.5
	4	742.5	98991.9
ค่าเฉลี่ย		741.6	98869.6

ตาราง จ4 ข้อมูลสรุปอุณหภูมิตลอดการทดสอบ

มุมเอียง	มุมพิทช์	อุณหภูมิ (Degree)					มุมเอียง	มุมพิทช์	อุณหภูมิ (Degree)				
deg	deg	บรรยากาศ		ในอุโมงค์ลม		ค่าเฉลี่ย	deg	deg	บรรยากาศ		ในอุโมงค์ลม		ค่าเฉลี่ย
		ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	C			ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	C
0	0	27.5	27.5	28.1	28.1	27.8	30	0	25.7	25.7	26.1	26.1	25.9
	0	27.5	27.4	28.0	28.0	27.7		2	27.5	27.9	28.4	28.4	28.0
	0	27.4	27.4	28.0	27.9	27.7		6	26.7	26.7	27.0	26.9	26.8
	0	27.2	27.5	27.9	27.9	27.6		10	25.6	25.6	26.3	26.2	25.9
	0	27.4	27.5	27.9	28.0	27.7		15	25.3	26.0	26.3	26.2	25.9
15	0	28.5	28.6	29.1	29.1	28.8		30	26.1	26.2	26.4	26.4	26.2
	2	27.6	27.7	28.0	28.1	27.8		0	24.9	25.7	25.9	26.3	25.7
	6	27.4	27.5	28.1	28.0	27.7		2	25.5	25.7	25.8	26.0	25.7
	10	27.7	27.5	27.9	28.0	27.8		6	26.1	26.3	26.3	26.1	26.2
	15	25.3	25.6	26.1	26.2	25.8		10	25.4	25.6	26.2	26.1	25.8
	0	27.7	28.1	28.3	28.3	28.1		15	25.7	26.2	26.3	26.2	26.1
	2	27.1	27.2	28.1	28.1	27.6		30	26.0	26.2	26.4	26.4	26.2
	6	27.4	27.7	28.0	28.0	27.8	45	0	27.7	27.8	28.4	28.3	28.0
	10	26.9	27.4	27.3	27.7	27.3		2	28.1	28.2	28.7	28.6	28.4
	15	25.8	25.7	26.1	26.1	25.9		6	28.5	28.5	29.1	29.1	28.8
	0	27.7	28.1	28.3	28.3	28.1		10	27.6	27.6	28.3	27.9	27.8
	2	26.7	27.2	27.6	27.6	27.3		15	26.1	26.9	26.6	26.9	26.6
	6	27.3	27.5	28.1	28.1	27.7		30	25.8	26.4	26.6	26.7	26.4
	10	26.0	26.9	27.3	27.3	26.9		45	25.5	26.2	26.0	26.5	26.0
	15	25.9	25.9	26.1	26.2	26.0		0	27.7	27.7	28.4	28.6	28.1
	0	27.1	27.7	28.3	28.4	27.8		2	28.2	28.2	28.9	28.6	28.4
	2	27.5	27.5	28.0	28.4	27.8		6	28.3	28.5	28.8	29.0	28.6
	6	26.8	27.5	27.7	27.9	27.4		10	27.0	27.3	27.7	27.7	27.4
	10	26.5	27.2	27.4	27.3	27.1		15	26.0	26.4	26.7	26.7	26.4
	15	26.1	25.8	26.2	26.1	26.0		30	25.6	26.3	26.8	26.8	26.4
	0	27.7	27.7	28.2	28.2	27.9		45	25.7	25.9	26.3	26.4	26.1
	2	27.4	27.5	28.1	28.2	27.8		0	27.7	27.6	28.4	28.2	27.9
	6	26.5	27.4	27.7	27.7	27.3		2	28.1	28.1	28.6	28.6	28.3
	10	25.7	26.7	26.7	27.2	26.6		6	28.5	28.5	29.2	29.3	28.9
	15	25.8	26.1	26.3	26.0	26.0		10	26.1	26.9	26.4	26.7	26.5
30	0	29.4	29.3	29.9	29.9	29.6		15	26.2	26.5	26.8	26.8	26.6
	2	28.1	28.3	28.8	28.7	28.4		30	26.4	26.4	26.7	26.8	26.6
	6	26.6	27.3	27.6	27.6	27.3		45	26.4	26.7	26.3	26.8	26.5
	10	26.7	26.8	27.1	27.1	26.9		0	27.4	27.5	28.5	28.3	27.9
	15	25.5	26.0	25.9	26.4	25.9		2	28.4	28.2	28.8	28.6	28.5
	30	25.8	26.0	25.8	26.3	26.0		6	28.5	28.7	29.3	29.2	28.9
	0	28.8	28.5	28.6	28.4	28.6		10	26.6	26.8	27.0	27.0	26.8
	2	28.0	28.3	28.2	28.0	28.1		15	26.4	26.5	26.8	26.8	26.6
	10	26.6	26.3	26.6	26.4	26.4		30	26.3	26.3	26.8	26.6	26.5
	15	26.2	26.2	26.3	26.2	26.2		45	26.4	26.5	26.6	26.4	26.5
	30	26.0	26.2	26.4	26.3	26.2		0	26.9	26.4	27.1	26.7	26.8
	0	25.7	25.3	26.3	26.5	25.9		2	28.3	28.2	28.5	28.6	28.4
	2	27.8	28.4	28.5	28.7	28.3		6	28.5	28.4	29.2	29.1	28.8
	6	26.7	26.8	27.0	27.3	26.9		10	27.3	26.9	27.2	27.3	27.2
	10	25.5	25.6	26.2	26.1	25.8		15	26.5	26.5	26.9	26.8	26.7
	15	25.9	26.3	26.2	26.2	26.1		30	25.7	26.4	26.7	26.7	26.4
	30	25.4	25.8	26.3	26.3	25.9		45	25.6	26.2	26.6	26.5	26.2
												Average	27.1

ตาราง จ5 สรุปข้อมูลแรงยกจากการทดสอบ (ER) และ จากการคำนวณด้วย BE และ TL

วิธี	มุมเอียง	1500			1700			2000			2300			2500		
	0	V	w/	T	V	w/	T	V	w/	T	V	w/	T	V	w/	T
	องศา	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N
ER	ค่าเฉลี่ย	4.60	0	-0.32	5.19	0	0.71	6.10	0	0.07	6.97	0	0.66	7.52	0	-0.01
	STDEV	0.05	0	0.89	0.09	0	0.39	0.10	0	0.64	0.08	0	0.33	0.09	0	0.60
BE	ค่าเฉลี่ย	4.60	0	0.00	5.19	0	0.00	6.10	0	0.00	6.97	0	0.00	7.52	0	0.00
TL	ค่าเฉลี่ย	4.60	0	0.00	5.19	0	0.00	6.10	0	0.00	6.97	0	0.00	7.52	0	0.00

วิธี	มุมเอียง	มุมพิทช์ 15 องศา			มุมพิทช์ 10 องศา			มุมพิทช์ 6 องศา			มุมพิทช์ 2 องศา			มุมพิทช์ 0 องศา		
	15	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T
	องศา	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N
ER	ค่าเฉลี่ย	4.56	40	2.59	4.53	108	12.74	4.50	159	17.77	4.47	240	34.00	4.44	312	39.88
	STDEV	0.04	1	0.52	0.04	1	1.19	0.04	1	0.75	0.04	2	1.27	0.06	3	2.28
	ค่าเฉลี่ย	5.18	48	3.48	5.11	122	16.25	5.09	179	22.26	5.07	276	43.17	4.73	367	44.13
	STDEV	0.09	0	0.93	0.07	4	0.88	0.04	3	0.39	0.04	1	2.56	0.10	3	3.69
	ค่าเฉลี่ย	6.02	53	4.41	6.00	142	21.45	5.96	224	33.67	5.93	338	57.77	5.90	428	70.24
	STDEV	0.05	1	0.80	0.10	1	1.02	0.08	2	2.87	0.05	2	1.56	0.04	8	5.51
	ค่าเฉลี่ย	6.77	62	6.35	6.79	175	26.91	6.82	266	41.99	6.81	394	79.60	6.73	503	89.12
	STDEV	0.15	1	1.71	0.14	3	2.47	0.04	1	3.17	0.04	9	4.95	0.04	4	2.80
	ค่าเฉลี่ย	7.35	72	8.32	7.24	184	31.07	7.36	283	52.70	7.34	421	90.00	7.27	541	105.97
	STDEV	0.15	1	4.55	0.15	3	3.33	0.07	2	1.44	0.04	3	4.38	0.05	4	6.87
BE	v1	4.56	40	2.51	4.53	108	12.95	4.50	159	20.98	4.47	240	36.68	4.44	312	40.39
	v2	5.18	48	4.02	5.11	122	16.47	5.09	179	26.85	5.07	276	47.09	4.73	367	43.18
	v3	6.02	53	4.45	6.00	142	22.73	5.96	224	36.51	5.93	338	65.08	5.90	428	70.26
	v4	6.77	62	6.38	6.79	175	28.81	6.82	266	47.43	6.81	394	86.09	6.73	503	89.83
	v5	7.35	72	9.50	7.24	184	32.88	7.36	283	55.42	7.34	421	99.83	7.27	541	105.11
TL	v1	4.56	40	2.86	4.53	108	12.25	4.50	159	19.68	4.47	240	34.02	4.44	312	39.46
	v2	5.18	48	4.36	5.11	122	15.58	5.09	179	25.19	5.07	276	43.94	4.73	367	43.29
	v3	6.02	53	5.07	6.00	142	21.47	5.96	224	34.41	5.93	338	60.84	5.90	428	69.14
	v4	6.77	62	7.18	6.79	175	27.39	6.82	266	44.84	6.81	394	80.53	6.73	503	89.07
	v5	7.35	72	9.86	7.24	184	31.22	7.36	283	52.33	7.34	421	93.36	7.27	541	104.11

วิธี	มุมเอียง	มุมพิทช์ 30 องศา			มุมพิทช์ 15 องศา			มุมพิทช์ 10 องศา			มุมพิทช์ 6 องศา			มุมพิทช์ 2 องศา			มุมพิทช์ 0 องศา		
	30	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T
	degree	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N
ER	ค่าเฉลี่ย	4.57	62	17.10	4.59	172	35.19	4.52	258	47.55	4.53	377	68.04	4.46	569	117.85	4.40	683	139.95
	STDEV	0.04	0	1.04	0.05	1	1.64	0.08	1	2.91	0.07	2	1.12	0.07	2	2.32	0.08	9	4.24
	ค่าเฉลี่ย	5.15	87	18.47	5.20	203	36.53	5.20	293	51.31	5.17	443	90.85	4.99	660	144.06	4.93	768	167.93
	STDEV	0.07	1	2.07	0.06	3	1.19	0.06	4	3.18	0.05	6	3.22	0.08	3	4.68	0.10	4	6.05
	ค่าเฉลี่ย	6.03	102	25.64	5.99	239	50.14	6.01	355	80.21	6.00	530	106.69	5.92	772	210.91	5.91	890	255.87
	STDEV	0.09	1	2.17	0.09	2	6.40	0.09	3	3.50	0.07	3	4.01	0.09	3	9.18	0.06	8	13.91
	ค่าเฉลี่ย	6.81	112	24.62	6.83	276	71.59	6.58	401	91.10	6.76	590	135.49	6.73	896	303.77	6.70	1053	316.10
	STDEV	0.12	1	3.21	0.11	3	5.81	0.09	3	4.22	0.08	7	2.90	0.05	5	1.79	0.06	2	2.63
	ค่าเฉลี่ย	7.33	127	35.94	7.32	293	77.85	7.33	443	111.84	7.25	619	167.31	7.25	958	331.40	7.31	1111	339.94
	STDEV	0.13	1	1.69	0.09	2	4.88	0.09	2	4.75	0.09	3	2.64	0.08	2	0.64	0.10	4	1.85
BE	v1	4.57	62	17.64	4.59	172	35.91	4.52	258	49.34	4.53	377	78.52	4.46	569	142.09	4.40	683	139.37
	v2	5.15	87	19.64	5.20	203	44.33	5.20	293	66.02	5.17	443	100.75	4.99	660	178.35	4.93	768	174.34
	v3	6.03	102	26.89	5.99	239	57.42	6.01	355	84.45	6.00	530	133.23	5.92	772	250.79	5.91	890	258.47
	v4	6.81	112	35.20	6.83	276	73.52	6.58	401	97.77	6.76	590	170.41	6.73	896	324.55	6.70	1053	319.06
	v5	7.33	127	38.76	7.32	293	85.43	7.33	443	122.52	7.25	619	198.51	7.25	958	376.47	7.31	1111	392.34
TL	v1	4.57	62	16.86	4.59	172	34.38	4.52	258	47.45	4.53	377	74.85	4.46	569	133.68	4.40	683	140.78
	v2	5.15	87	18.89	5.20	203	42.71	5.20	293	63.37	5.17	443	96.33	4.99	660	168.02	4.93	768	176.33
	v3	6.03	102	25.91	5.99	239	55.55	6.01	355	81.66	6.00	530	127.82	5.92	772	236.13	5.91	890	258.48
	v4	6.81	112	33.80	6.83	276	71.31	6.58	401	95.09	6.76	590	163.26	6.73	896	305.83	6.70	1053	323.74
	v5	7.33	127	37.41	7.32	293	82.69	7.33	443	118.97	7.25	619	189.73	7.25	958	354.65	7.31	1111	393.49

ตาราง จ5 (ต่อ) สรุปข้อมูลแรงยกจากการทดสอบ (ER) และจากการคำนวณด้วย BE และ TL

วิธี	มุมปีกแบน	มุมพิทช์ 45 องศา			มุมพิทช์ 30 องศา			มุมพิทช์ 15 องศา			มุมพิทช์ 10 องศา			มุมพิทช์ 6 องศา			มุมพิทช์ 2 องศา			มุมพิทช์ 0 องศา		
	45	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T	V	w	T
	degree	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N	m/s	rpm	10^{-3}N
ER	ค่าเฉลี่ย	4.38	68	13.89	4.40	129	22.43	4.42	294	48.50	4.48	410	84.69	4.48	541	144.16	4.44	776	226.37	4.38	876	276.17
	STDEV	0.09	1	0.33	0.10	1	1.18	0.07	3	5.17	0.08	4	5.72	0.04	3	3.46	0.09	4	5.37	0.08	8	16.75
	ค่าเฉลี่ย	4.98	74	17.09	4.96	145	32.29	5.14	338	68.73	5.16	453	100.73	5.08	608	169.22	5.10	890	360.63	4.92	987	373.91
	STDEV	0.16	0	1.16	0.10	3	6.38	0.04	1	3.13	0.07	2	6.24	0.04	2	4.38	0.04	3	4.99	0.12	5	0.14
	ค่าเฉลี่ย	5.82	84	22.33	5.77	170	45.19	5.88	398	90.43	5.97	543	133.50	5.96	735	218.16	5.94	1093	443.40	5.67	1226	491.66
	STDEV	0.19	1	1.19	0.12	3	4.42	0.11	4	2.38	0.08	5	10.26	0.05	4	10.02	0.04	4	3.59	0.19	6	36.41
	ค่าเฉลี่ย	6.67	113	29.48	6.63	197	55.14	6.64	436	114.83	6.68	623	170.45	6.90	843	343.40	6.70	1216	528.87	6.57	1389	624.62
	STDEV	0.08	1	1.21	0.11	2	6.88	0.10	15	3.01	0.16	3	1.95	0.07	2	3.77	0.08	6	10.91	0.09	4	24.21
	ค่าเฉลี่ย	7.28	124	33.96	7.21	214	62.10	7.28	488	120.99	7.09	679	184.17	7.10	877	361.50	7.27	1440	607.24	7.04	1544	691.34
	STDEV	0.11	1	2.77	0.10	2	5.88	0.09	12	7.61	0.17	3	5.75	0.19	6	3.08	0.10	6	27.58	0.23	3	23.53
BE	v1	4.38	68	13.27	4.40	129	25.91	4.42	294	49.26	4.48	410	85.25	4.48	541	152.72	4.44	776	281.33	4.38	876	298.18
	v2	4.98	74	18.25	4.96	145	33.11	5.14	338	68.53	5.16	453	119.99	5.08	608	197.30	5.10	890	371.13	4.92	987	375.59
	v3	5.82	84	25.82	5.77	170	44.12	5.88	398	83.20	5.97	543	152.85	5.96	735	267.04	5.94	1093	505.78	5.67	1226	472.41
	v4	6.67	113	26.06	6.63	197	57.25	6.64	436	114.76	6.68	623	183.74	6.90	843	359.91	6.79	1216	655.78	6.57	1389	646.49
	v5	7.28	124	30.66	7.21	214	67.86	7.28	488	130.97	7.09	679	197.09	7.10	877	378.59	7.27	1440	760.09	7.04	1544	718.58
TL	v1	4.38	68	13.08	4.40	129	25.55	4.42	294	49.78	4.48	410	83.92	4.48	541	145.95	4.44	776	264.37	4.38	876	292.98
	v2	4.98	74	17.85	4.96	145	32.62	5.14	338	68.91	5.16	453	116.99	5.08	608	188.38	5.10	890	348.74	4.92	987	369.32
	v3	5.82	84	25.14	5.77	170	43.57	5.88	398	84.78	5.97	543	150.23	5.96	735	255.77	5.94	1093	476.23	5.67	1226	474.36
	v4	6.67	113	26.32	6.63	197	56.69	6.64	436	115.33	6.68	623	181.77	6.90	843	344.37	6.79	1216	616.89	6.57	1389	644.63
	v5	7.28	124	31.03	7.21	214	67.17	7.28	488	132.83	7.09	679	196.54	7.10	877	362.68	7.27	1440	717.67	7.04	1544	725.02

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ภาคผนวก ฉ
ข้อมูลของโปรแกรมและการใช้งาน

ฉ1 โปรแกรมคำนวณหาค่าแรงยกบนโรเตอร์ออโต้ไจโร โดยใช้ทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์และการสูญเสียที่ปลายปีก

การเขียนเป็นโปรแกรมจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ โปรแกรมหลัก และ โปรแกรมย่อย และเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นจึงได้เขียนคำอธิบายประกอบโปรแกรม

โปรแกรมหลัก

```
Public Sub Calculate_Click()              'เริ่มเข้าสู่การคำนวณ
Call     Caution                          'คำเตือน
If Stop1 = 1 Then                         'ใช้ในกรณีคำนวณต่อเนื่องและต้องการสร้างชื่อแฟ้มข้อมูลใหม่
         Stop1 = 0
         Exit Sub
End If
If cal = 1 Then                           'กรณีที่เลือกไม่บันทึกลงฐานข้อมูลค่า cal = 1
         GoTo Z
Else     Call     Database                'เปิดฐานข้อมูล
End If
Z:       '-----------------------------------------------------------------------------------------
Call     CheckParameters                  'ตรวจสอบการป้อนค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
If Chp = 1 Then                           'หยุดการคำนวณเมื่อตัวแปรยังเติมไม่ครบ
         Chp = 0
         Exit Sub
End If
'ประกาศตัวแปรจากข้อมูลด้วยสัญลักษณ์
ax = Val(AxialIF.Text)                    ' แฟคเตอร์การไหลในแนวแกน a
bro = Val(RotatIF.Text)                   ' แฟคเตอร์การไหลในระนาบการหมุน b
v = Val(velo.Text)                        ' ความเร็วลม v มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)
```

```
delta = Val(del.Text)                    'มุมเอียง δ มีหน่วยเป็น องศา (degree)
ram = Val(Tip.Text)                      'ความเร็วรอบ ω รอบต่อนาที (rpm)
bet = Val(beta.Text)                     'มุมพิทช์ β มีหน่วยเป็น องศา (degree)
bd = Val(Blade.Text)                     'จำนวนปีก B มีหน่วยเป็น ใบ (blade)
c = Val(chord.Text)                      'คอร์ด c มีหน่วยเป็น เมตร (m)
PP = Val(Pressure.Text)          'ความดันบรรยากาศ P มีหน่วยเป็น มม.ปรอท (mm.Hg)
Temp1 = Val(Temperature.Text)            'อุณหภูมิเฉลี่ย T มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)
r1 = Val(Rst.Text):                      'รัศมีดุมปีก r1 มีหน่วยเป็น เมตร (m)
r2 = Val(rad.Text)                       'รัศมีโรเตอร์ r2 มีหน่วยเป็น เมตร (m)
NN = Val(NoIntegral.Text)                'จำนวนการแบ่งของภาคตัดย่อยๆ ของปีก
NoSeta = Val(NoSeta.Text)                'มุมการหมุน θ มีหน่วยเป็น องศา (degree)
Call     CheckTips               'ตรวจสอบว่ามีการเลือก "การสูญเสียที่ปลายปีก" หรือไม่
If Chp = 1 Then                  'หยุดระบบเพื่อทำการเลือกทฤษฎีการคำนวณ BE หรือ TL หาก
        Chp = 0                  ยังไม่ได้เลือก
        Exit Sub
End If
Run.Show                                 'แสดงสไลเดอร์บาร์ (Slider Bar)
'เข้าสู่ขั้นตอนการอินติเกรด โดยวิธี ซิมป์สัน 1/3 แบบหลายช่วง (Integral of A Multiple-Segment
Simpson' 1/3)
h = (r2 - r1) / NN
Call     CoeffEquation           'คำนวณหาสมการ C_l(α) และ C_d(C_l) จากวิธีการ
If Rsquar < 0.8 Or Rsquar2 < 0.8 Then    ประยุกต์การถดถอยเชิงเส้นกับข้อมูลไม่เชิงเส้น
        MsgBox " ค่าส.ป.ส แรงยก/แรงต้าน และมุมปะทะไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดให้
        ป้อนข้อมูลใหม่",
        vbOKOnly, "ข้อผิดพลาด"   'คำเตือนเมื่อสมการความสัมพันธ์ ส.ป.ส แรงยก/ต้าน
        Run.Hide                 ไม่สามารถใช้ได้ซึ่งกำหนดด้วย R^2 < 0.8
        Newton1.Hide
        AddCoeff.Show
        Exit Sub
End If
```

```
If delta <> 0 Then                          ' ตรวจสอบมุมเอียงหากเป็น 0 ให้เปลี่ยนเป็นค่าน้อยๆ
        delta = delta                       คือ 10^-10 เพื่อความต่อเนื่องในการคำนวณ
Else:   delta = 10 ^ -10
End If
Wr = ram
If ram <> 0 Then
        Tips = (ram * r2 / (v * sin1(Val(delta)))) * 2 * pi / 60
Else:   ram = 10 ^ -15              'ตรวจสอบความเร็วรอบหากเป็น 0 ให้เปลี่ยนเป็น 10^-15
        Tips = (ram * r2 / (v * sin1(Val(delta)))) * 2 * pi / 60
End If
density = 1.226 * 288 * PP / (760 * (Temp1 + 273.15))
Call    ListData1                       'แสดงรายละเอียดบนหน้าจอในส่วนที่ 1
Table.TaDelta = delta:      Table.TaBeta = bet:     Table.TaV = v
Table.TaRPM = Wr:           Table.TaTips = Tips     'บันทึกค่าลงในตารางฐานข้อมูล
If Tipsl1 <> 0 Then
        List1.AddItem "     " & "การคำนวณโดย     " & " " & "คิดการสูญเสียที่ปลายปีก(TL)"
Else:   List1.AddItem "     " & "การคำนวณโดย     " & " " & "เบลดอิลิเมนท์(BE)"
End If
If Tipsll1 <> 0 Then
        Call    ListData2               'แสดงรายละเอียดบนหน้าจอในส่วนที่ 2
Else:   Call    ListData3               'แสดงรายละเอียดบนหน้าจอในส่วนที่ 3
End If
Call    ListData4                       'แสดงรายละเอียดบนหน้าจอในส่วนที่ 4
seta = 0: setang = 0:   Thr = 0:            sumThr = 0:
ID = 0: ID2 = 0:        NNSeta = Val(NoSeta):  NNseta2 = Val(360)
For seta = 0 To NNseta2 Step NNSeta     'เริ่มวน Loop จากมุมการหมุนที่ตำแหน่ง 0 องศา
ro = r2
rr = r1:  rrod(0) = rr                  'ค่ารัศมีเริ่มต้น r(i=0)
        rro = rr                        'rro = r1
        Call    Iteration       ' เรียกใช้โปรแกรมการคำนวณหาแรงยกบนภาคตัดย่อยๆของปีก
```

```
If setSeta >= 50 Then                ' ตรวจสอบการวนซ้ำโดยถ้ามากกว่า 50 ซ้ำจะแสดงผลผิดพลาด
        MsgBox " มุมการหมุน =" & " " & seta & " " & " องศา " & " " & " ที่รัศมี " & " " & rro
        & " " & "เมตร" & " " & " ลู่ออก" & " " & " โดยมีมุมปะทะ" & "  " & alfa & " " & "
        องศา", vbOKOnly, "ข้อผิดพลาด"
        GoTo   step2:                ' ข้ามไปคำนวณที่มุมการหมุนใหม่
Else: Ta = dTr: dTrd(0) = dTr: ad(0) = a: bd2(0) = b: alfad(0) = alfa: ramdad(0) = ramda
End If
rr = r2: rrod(NN) = rr               'ค่ารัศมีสุดท้าย r(i=n)
        rro = rr                     'rro = r2
        Call     Iteration
If setSeta >= 50 Then
        MsgBox " มุมการหมุน =" & " " & seta & " " & " องศา " & " " & " ที่รัศมี " & " " & rro &
        " " & "เมตร" & " " & " ลู่ออก" & " " & " โดยมีมุมปะทะ" & "  " & alfa & " " & " องศา",
        vbOKOnly, "ข้อผิดพลาด"
        GoTo step2:
Else: Tb = dTr: dTrd(NN) = dTr: ad(NN) = a: bd2(NN) = b: alfad(NN) = alfa: ramdad(NN) =
    ramda
End If
rr = r1 + h                          'Loop สำหรับหาค่าแรงยกที่รัศมี r(i=1,3,5,...., n-1)
        rro = rr
        ii = 1:   sum1h = 0
        Do While ii <= NN - 1
                Call     Iteration
                If setSeta >= 50 Then
                        MsgBox " มุมการหมุน =" & " " & seta & " " & " องศา " & " " & " ที่
                        รัศมี " & " " & rro & " " & "เมตร" & " " & " ลู่ออก" & " " & " โดยมีมุม
                        ปะทะ" & "  " & alfa & " " & " องศา", vbOKOnly, "ข้อผิดพลาด"
                GoTo   step2:
                Else: rrod(ii) = rro: T1h = dTr: dTrd(ii) = dTr: ad(ii) = a: bd2(ii) = b: alfad(ii) =
                    alfa: ramdad(ii) = ramda
```

```
            End If
        sum1h = sum1h + T1h
        rro = rro + 2 * h
        ii = ii + 2
        Loop                                    'สิ้นสุด Loop
rr = r1 + 2 * h                                 'Loop สำหรับหาค่าแรงยกที่รัศมี r(i=2,4,6,...., n-2)
        rro = rr
        ii = 2: sum2h = 0
        Do While ii <= NN - 2
            Call    Iteration
            If setSeta >= 50 Then
                MsgBox " มุมการหมุน =" & " " & seta & " " & " องศา " & " " & " ที่
                รัศมี " & " " & rro & " " & "เมตร" & " " & " ลู่ออก" & " " & " โดยมีมุม
                ปะทะ" & "  " & alfa & " " & " องศา", vbOKOnly, "ข้อผิดพลาด"
            GoTo    step2:
            Else: rrod(ii) = rro: T2h = dTr: dTrd(ii) = dTr: ad(ii) = a: bd2(ii) = b: alfad(ii) =
                alfa: ramdad(ii) = ramda
            End If
        sum2h = sum2h + T2h:   rro = rro + 2 * h:   ii = ii + 2
        Loop                                    'สิ้นสุด Loop
Thr = (h / 3) * (Ta + Tb + 4 * sum1h + 2 * sum2h) 'คำนวณหาแรงยกบนภาคตัดย่อยๆของปีก
setang = setang + 1:        sumThr = sumThr + Thr
List1.AddItem "มุมการหมุนที่ " & " " & seta & " " & " องศา" & " " & " ให้แรงยก " & " " & _
            Val(Thr ) & " " & "นิวตัน"
CCl = 0
Call    Run1
Call    Record2                                 'ทำการบันทึกข้อมูลลงบนฐานข้อมูลชุดที่ 2
step2:
For i = 0 To NN Step 1
        Call    Record1                         'ทำการบันทึกข้อมูลลงบนฐานข้อมูลชุดที่ 1 โดยเรียบ
```

```
Next i                                  เรียงลำดับให้เริ่มจากรัศมีดุมไปจนถึงรัศมีปลายปีก
Next seta                               'กลับไปวน Loop ของมุมการหมุน θ ใหม่
Thr1 = Val(sumThr / setang)             'คำนวณหาแรงยกบนโรเตอร์
TotalThrust = Val(Thr1)
Call     Record3                        'ทำการบันทึกข้อมูลลงบนฐานข้อมูลชุดที่ 3
Thrust.Caption = Val(TotalThrust)       'แสดงค่าแรงยกในหน่วยนิวตันบนหน้าจอ
CoeffThrust2 = Val(Thr1) / (0.5 * density * (v * sin1(Val(delta))) ^ 2 _
                * (pi * (r2 ^ 2 - r1 ^ 2)))  'แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกบนโรเตอร์
Call     Record4                        'ทำการบันทึกข้อมูลลงบนฐานข้อมูลชุดที่ 4
Thrust1.Caption = Val(CoeffThrust2)     'แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยกในหน่วยนิวตันบนหน้าจอ
Div = Abs(Val(NNseta2 / NNSeta) - Val(setang) + 1)      'จำนวนที่ลู่ออก
Converge = Val(setang)                  'จำนวนที่ลู่เข้า
Percent = Val(setang / (Div + setang)) * 100'เปอร์เซ็นต์ของการลู่เข้า
Call     Record5                        'ทำการบันทึกข้อมูลลงบนฐานข้อมูลชุดที่ 5
Call     ListData5                      'แสดงรายละเอียดบนหน้าจอในส่วนที่ 5
Run.Hide: Newton1.Show
If cal <> 1 Then
        dbsThrust.Close
End If
If cal = 1 Then
        cal = 2
Else: cal = 2
End If
MsgBox "การทำงานได้เสร็จสิ้น" & " " & "Thrust =" & " " & Val(TotalThrust) & _
        " " & " N" & " " & " Tip Speed Ratio = " & " " & Val(Tips) & " " & _
        " %Converge Around Rotating Plane = " & " " & Val(Percent) & _
        " %" & "    " & "Coeff.Thrust = " & " " & Val(CoeffThrust2) & " " _
        , vbOKOnly, " การทำงานของโปรแกรม"  ' แสดงรายละเอียดผลที่ได้บนหน้าจอ
End Sub
```

โปรแกรมย่อย

โปรแกรมย่อยที่ได้เขียนขึ้นแยกออกได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนที่ใช้สำหรับการคำนวณ ส่วนที่สองสำหรับเป็นตัวเก็บข้อมูลและแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

โปรแกรมย่อยสำหรับคำนวณ

(1) โปรแกรมการประยุกต์การถดถอยเชิงเส้นกับข้อมูลไม่เชิงเส้น ใช้สำหรับหาสมการ $C_l(\alpha)$ และ $C_d\left(C_l^2\right)$

```
Public Function CoeffEquation()          ' เริ่มการทำงาน
sumxx = 0:  sumyy = 0:  sumxx2 = 0:  sumxy = 0      ' สำหรับ ส.ป.ส แรงยกและมุมปะทะ
sumyy2 = 0:sumzz = 0:  sumyy22 = 0: sumyz = 0       ' สำหรับสัมประสิทธิ์แรงต้านและแรงยก
For i = 1 To N                           ' เริ่มการวน Loop สำหรับคำนวณหาค่า α ,Cl
        sumxx = sumxx + xx(i, 1)                    ' ผลรวมของ α
        sumyy = sumyy + yy(i, 2)                    ' ผลรวมของ Cl
        sumxx2 = sumxx2 + (xx(i, 1)) ^ 2            ' ผลรวมของ α^2
        sumxy = sumxy + (xx(i, 1) * yy(i, 2))       ' ผลรวมของ αCl
        sumyy2 = sumyy2 + (yy(i, 2)) ^ 2            ' ผลรวมของ Cl^2
        sumzz = sumzz + zz(i, 2)                    ' ผลรวมของ Cd
        sumyy22 = sumyy22 + (yy(i, 2)) ^ 4          ' ผลรวมของ (Cl^2)^2
        sumyz = sumyz + ((yy(i, 2)) ^ 2 * zz(i, 2))' ผลรวมของ Cl^2 Cd
Next i
det = N * sumxx2 - (sumxx) ^ 2
a0 = (sumyy * sumxx2 - sumxy * sumxx) / det      ' ค่าคงที่ α0
a1 = (N * sumxy - sumxx * sumyy) / det           ' ค่าคงที่ k1
det2 = N * sumyy22 - (sumyy2) ^ 2
a2 = (sumzz * sumyy22 - sumyz * sumyy2) / det2   ' ค่าคงที่ Cd0
a3 = (N * sumyz - sumyy2 * sumzz) / det2         ' ค่าคงที่ k2
meanyy = sumyy / N                               ' ค่าเฉลี่ย Cl จากข้อมูลจริง
sumyyy1 = 0: sumyyy2 = 0
meanzz = sumzz / N                               ' ค่าเฉลี่ย Cd จากข้อมูลจริง
sumyyz1 = 0: sumyyz2 = 0
```

```
For i = 1 To N                                  'เริ่มการวน Loop สำหรับคำนวณหาค่า R^2
    yyy(i) = Val(a0) + Val(a1) * xx(i, 1)       'สมการ C_l = α_0 + k_1 α
    yyy1 = (yy(i, 2) - meanyy) ^ 2
    yyy2 = (yyy(i) - meanyy) ^ 2
    sumyyy1 = sumyyy1 + yyy1                    'sumyyy1 = Σ_{i=1}^{N} (C_l - C̄_l)^2
    sumyyy2 = sumyyy2 + yyy2                    'sumyyy2 = Σ_{i=1}^{N} (C'_l - C̄_l)^2
    yyz(i) = Val(a2) + Val(a3) * yy(i, 2) ^ 2   'สมการ C_d = C_d0 + k_2 (C_l^2)
    yyz1 = (zz(i, 2) - meanzz) ^ 2
    yyz2 = (yyz(i) - meanzz) ^ 2
    sumyyz1 = sumyyz1 + yyz1                    'sunyyz1 = Σ_{i=1}^{N} (C_d - C̄_d)^2
    sumyyz2 = sumyyz2 + yyz2                    'sumyyz2 = Σ_{i=1}^{N} (C'_d - C̄_d)^2
Next i
Rsquar = sumyyy2 / sumyyy1                      'ค่า R^2_{C_l}
Rsquar2 = sumyyz2 / sumyyz1                     'ค่า R^2_{C_d}
End Function                                    'จบการทำงานกลับเข้าสู่โปรแกรมหลัก
```

(2) โปรแกรมการคำนวณหาค่าแรงยกบนภาคตัดย่อยๆ ของปีก

```
Public Function Iteration()                     'เริ่มกระบวนการคำนวณ
ald = ax:    bld = bro                          'กำหนดค่าแฟคเตอร์ a,b เริ่มต้น
iter = 0:    Loopi = 0
'เลือกวิธีการคำนวณด้วยทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์หรือการสูญเสียที่ปลายปีก
If Tipsl1 <> 0 Then
    Exp1 = Exp(-0.5 * bd * (1 - rro / ro) * (1 + Tips ^ 2) ^ (0.5))
    If Exp1 <> 1 Then
        FLS = 2 * arccos1(Val(Exp1)) / 180      'สำหรับคิดการสูญเสียที่ปลายปีก
    Else:    FLS = 0
    End If
```

```
Else:    FLS = 1                                    ' สำหรับคำนวณด้วยทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์
End If
'เข้าสู่ Loop การทำงานเพื่อหาค่าแฟคเตอร์การไหลภายใน a และ b
Mue =  v * cos1(Val(delta)) / (ram * rro * 2 * pi / 60)
Loop1:                                              ' การทำงานใน Loop 1
Do                                                  'เริ่มทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธีของนิวตัน-ราฟสัน
        al = ald: bl = bld                          ' รับค่าแฟคเตอร์ a,b เริ่มต้น
        ramda = (rro / r2) * Tips
        Fee = arctan1((1 - al) / (((1 + bl) + Mue * sin1(Val(seta))) * ramda))
        alfa = Fee - bet
        If Tipsll1 <> 0 Then                        ' คำนวณหาค่า Cl,Cd
                Cl = a1 * alfa + a0
                Cd = a3 * (Cl) ^ 2 + a2
        Else:
        If alfa >= -8 And alfa <= 16 Then           ' ในส่วนนี้เป็นโปรแกรมเสริมโดยวิธีการ
                xxx = alfa                            ประมาณค่าในช่วงด้วยเส้นโค้งกำลังสาม
                Call     Interpolation
        Else
                Cl = a1 * alfa + a0
                Cd = a3 * (Cl) ^ 2 + a2
        End If
        End If
        SolDT = bd * c / (2 * pi * rro)
        If delta <> 10 ^ -10 Then
                delta = delta
        Else: delta = 0: a = 0: b = 2
        GoTo Extra1:
        End If
        Fa = ((1 - al) ^ 2 * SolDT * Cl * cos1(Val(Fee)) * (1 + (Cd / Cl) * tan1(Val(Fee))) / _
             (sin1(Val(Fee))) ^ 2) - (4 * al * FLS * (1 - (al * FLS)))        ' สมการ fa
```

```
Fb = ((1 - al) ^ 2 * SolDT * Cl * (1 - (Cd / Cl) * (1 / tan1(Val(Fee)))) / sin1(Val(Fee))) –
     _(4 * bl * FLS * (1 - al * FLS) * ramda)          ' สมการ f_b
' เริ่มการหาอนุพันธ์ด้วยสมการผลต่างการแบ่งย่อยแบบตรงกลาง
DelA = 0.00000001                                      ' กำหนดค่าเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น h_a
DelB = 0.00000001                                      ' กำหนดค่าเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต้น h_b
'-------------------------------------------------------------------------------------------------
al1 = al + DelA                                        ' คิดอนุพันธ์ด้วยแฟคเตอร์ a
Fee1 = arctan1((1 - al1) / (((1 + bl) + Mue * sin1(Val(seta))) * ramda))
alfa1 = Fee1 - bet
If Tipsll1 <> 0 Then
    Cl1 = a1 * alfa1 + a0
    Cd1 = a3 * (Cl1) ^ 2 + a2
Else:
    If alfa1 >= -8 And alfa1 <= 16 Then
        xxx = alfa1
        Call     Interpolation
        Cl1 = Cl: Cd1 = Cd
    Else
        Cl1 = a1 * alfa1 + a0
        Cd1 = a3 * (Cl1) ^ 2 + a2
    End If
End If
F1p = ((1 - al1) ^ 2 * SolDT * Cl1 * cos1(Val(Fee1)) * (1 + (Cd1 / Cl1) * tan1(Val
    (Fee1))) / (sin1(Val(Fee1))) ^ 2) - (4 * al1 * FLS * (1 - (al1 * FLS)))
                                                       ' คือสมการ f_a(a+h,b)
F2p = ((1 - al1) ^ 2 * SolDT * Cl1 * (1 - (Cd1 / Cl1) * (1 / tan1(Val(Fee1)))) /
    sin1(Val(Fee1))) - (4 * bl * FLS * (1 - al1 * FLS) * ramda)
                                                       ' คือสมการ f_b(a+h,b)
'-------------------------------------------------------------------------------------------------
al11 = al - DelA
```

```
Fee11 = arctan1((1 - al11) / (((1 + bl) + Mue * sin1(Val(seta))) * ramda))
alfa11 = Fee11 - bet
If Tipsll1 <> 0 Then
        Cl11 = a1 * alfa11 + a0
        Cd11 = a3 * (Cl11) ^ 2 + a2
Else:
        If alfa11 >= -8 And alfa11 <= 16 Then
                xxx = alfa11
                Call     Interpolation
                Cl11 = Cl: Cd11 = Cd
        Else
                Cl11 = a1 * alfa11 + a0
                Cd11 = a3 * (Cl11) ^ 2 + a2
        End If
End If
F1m = ((1 - al11) ^ 2 * SolDT * Cl11 * cos1(Val(Fee11)) * (1 + (Cd11 / Cl11) * _
      tan1(Val(Fee11))) / (sin1(Val(Fee11))) ^ 2) - (4 * al11 * FLS * (1 - (al11 * _
      FLS)))                          ' คือสมการ f_a(a-h,b)
F2m = ((1 - al11) ^ 2 * SolDT * Cl11 * (1 - (Cd11 / Cl11) * (1 / tan1(Val(Fee11)))) _
      / sin1(Val(Fee11))) - (4 * bl * FLS * (1 - al11 * FLS) * ramda)
                                      ' คือสมการ f_b(a-h,b)
'-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
bl1 = bl + DelB
Fee2 = arctan1((1 - al) / (((1 + bl1) + Mue * sin1(Val(seta))) * ramda))
alfa2 = Fee2 - bet
If Tipsll1 <> 0 Then
        Cl2 = a1 * alfa2 + a0
        Cd2 = a3 * (Cl2) ^ 2 + a2
Else:
        If alfa2 >= -8 And alfa2 <= 16 Then
```

```
            xxx = alfa2
            Call      Interpolation
            Cl2 = Cl: Cd2 = Cd
        Else
            Cl2 = a1 * alfa2 + a0
            Cd2 = a3 * (Cl2) ^ 2 + a2
        End If
    End If
    F1pp = ((1 - al) ^ 2 * SolDT * Cl2 * cos1(Val(Fee2)) * (1 + (Cd2 / Cl2) * _
        tan1(Val(Fee2))) / (sin1(Val(Fee2))) ^ 2) - (4 * al * FLS * (1 - (al * FLS)))
                                        'คือสมการ f_a(a,b+h)
    F2pp = ((1 - al) ^ 2 * SolDT * Cl2 * (1 - (Cd2 / Cl2) * (1 / tan1(Val(Fee2)))) _
        / sin1(Val(Fee2))) - (4 * bl1 * FLS * (1 - al * FLS) * ramda)
                                        'คือสมการ f_b(a,b+h)
'-------------------------------------------------------------------------------------------------------
    bl11 = bl – DelB
    Fee22 = arctan1((1 - al) / (((1 + bl11) + Mue * sin1(Val(seta))) * ramda))
    alfa22 = Fee22 - bet
    If Tipsll1 <> 0 Then
        Cl22 = a1 * alfa22 + a0
        Cd22 = a3 * (Cl22) ^ 2 + a2
    Else:
        If alfa22 >= -8 And alfa22 <= 16 Then
            xxx = alfa22
            Call      Interpolation
            Cl22 = Cl: Cd22 = Cd
        Else
            Cl22 = a1 * alfa22 + a0
            Cd22 = a3 * (Cl22) ^ 2 + a2
        End If
```

```
        End If
        F1mm = ((1 - al) ^ 2 * SolDT * Cl22 * cos1(Val(Fee22)) * (1 + (Cd22 / Cl22) _
               * tan1(Val(Fee22))) / (sin1(Val(Fee22))) ^ 2) - (4 * al * FLS * (1 - (al * FLS)))
                                                    'คือสมการ f_a(a,b-h)
        F2mm = ((1 - al) ^ 2 * SolDT * Cl22 * (1 - (Cd22 / Cl22) * (1 / tan1(Val(Fee22)))) _
               / sin1(Val(Fee22))) - (4 * bl11 * FLS * (1 - al * FLS) * ramda)
                                                    'คือสมการ f_b(a,b-h)
'-------------------------------------------------------------------------------------------------------
        F1a = (F1p - F1m) / (2 * DelA)              'คือค่าอนุพันธ์ ∂f_a/∂a
        F2a = (F2p - F2m) / (2 * DelA)              'คือค่าอนุพันธ์ ∂f_b/∂a
        F1b = (F1pp - F1mm) / (2 * DelB)            'คือค่าอนุพันธ์ ∂f_a/∂b
        F2b = (F2pp - F2mm) / (2 * DelB)            'คือค่าอนุพันธ์ ∂f_b/∂b
        jacob = (F1a * F2b) - (F2a * F1b)           'ค่ายาโคเบียน J
        DiffA = (((-Fa) * F2b) - ((-Fb) * F1b)) / jacob     'ค่ายาโคเบียน Δa
        DiffB = (((-Fb) * F1a) - ((-Fa) * F2a)) / jacob     'ค่ายาโคเบียน Δb
        ar = al + DiffA:  ald = ar                  'คือค่า a'
        br = bl + DiffB:  bld = br                  'คือค่า b'
        iter = iter + 1                             'จำนวนการวน Loop
Loop Until Abs((ar - al) * 100 / ar) <= 10 ^ -6 And Abs((br - bl) * 100 / br) <= 10 ^ -6 Or iter >=
50
setSeta = iter
Extra:                                              'นำตัวแปรที่ได้มาคำนวณหาแรงยก dT/dr
a = ar: b = br
Fee = arctan1((1 - a) / (((1 + b) + Mue * sin1(Val(seta))) * ramda))
alfa = Fee - bet
If Tipsll1 <> 0 Then
        Cl = a1 * alfa + a0
```

```
        Cd = a3 * (Cl) ^ 2 + a2
Else:
        If alfa >= -8 And alfa <= 16 Then
                xxx = alfa
                Call     Interpolation
        Else
                Cl = a1 * alfa + a0
                Cd = a3 * (Cl) ^ 2 + a2
        End If
End If
Extra1:
dT = (1 - a) ^ 2 * (Cl * cos1(Val(Fee)) / (sin1(Val(Fee))) ^ 2) * ((Cd * tan1(Val(Fee)) / Cl) + 1) _
     * 0.5 * density * (v * sin1(Val(delta))) ^ 2 * SolDT * 2 * pi * rro
dTr = dT
ald = ax: bld = bro
iter = 0
If delta <> 0 Then                          'ตรวจสอบมุมเอียงหากเป็น 0 ให้เปลี่ยนเป็นค่า
    delta = delta                           น้อยๆ คือ 10^-10
Else: delta = 10 ^ -10
End If
End Function                                'จบการทำงานกลับเข้าสู่โปรแกรมหลัก
```

โปรแกรมย่อยสำหรับเป็นตัวเก็บข้อมูลและแสดงผลบนจอคอมพิวเตอร์

```
Public Sub Database()                       ' ใช้เมื่อกรณีที่ต้องการเปิดฐานข้อมูล
Set wksThrust = DBEngine.Workspaces(0)
Set dbsThrust = wksThrust.OpenDatabase(NF)
Set recThrust1 = dbsThrust.OpenRecordset("SetaThrust", dbOpenDynaset, dbInconsistent)
Set recThrust2 = dbsThrust.OpenRecordset("SetaThrust2", dbOpenDynaset, dbInconsistent)
End Sub
```

```
Public Sub Record1()
If cal <> 1 Then                                    'สร้างแฟ้มข้อมูลหรือไม่สร้างแฟ้มข้อมูล
'เก็บข้อมูลลงในตาราง ฉ2
        ID2 = ID2 + 1
        recThrust2.AddNew
        recThrust2.Fields("ID2") = ID2              'บอกจำนวนข้อมูลที่ทำการบันทึก
        recThrust2.Fields("v ,m/s") = v             'ความเร็วลมในหน่วยเมตรต่อวินาที
        recThrust2.Fields("RPM") = Wr               'จำนวนรอบการหมุนในหน่วยรอบต่อนาที
        recThrust2.Fields("AngSeta") = seta         'มุมในระนาบการหมุนตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา
        recThrust2.Fields("AngPitch") = bet         'มุมพิทช์ในหน่วยองศา
        recThrust2.Fields("AngDelta") = delta       'มุมเอียงของเพลาโรเตอร์ในหน่วยองศา
        recThrust2.Fields("r ,m") = rrod(i)         'ตำแหน่งของภาคตัดปีกในรูปของรัศมีตาม
                                                     ความยาวปีกมีหน่วยเมตร
        recThrust2.Fields("Thrust") = dTrd(i)       'แรงยกของภาคตัดย่อยๆของปีกในหน่วยนิวตัน
        recThrust2.Fields("Factor a") = ad(i)       'แฟคเตอร์การไหลภายในแนวแกน a
        recThrust2.Fields("Factor b") = bd2(i)      'แฟคเตอร์การไหลภายในระนาบการหมุน b
        recThrust2.Fields("AngAttack") = alfad(i) 'มุมปะทะในหน่วยองศา
        recThrust2.Fields("Tips") = ramdad(i)       'อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกของภาคตัดปีก
        recThrust2.Update                           ย่อยๆ
End If
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub Record2()
If cal <> 1 Then                                    'สร้างแฟ้มข้อมูลหรือไม่สร้างแฟ้มข้อมูล
'เก็บข้อมูลลงในตาราง ฉ1
        ID = ID + 1
        recThrust1.AddNew
        recThrust1.Fields("ID") = ID                'บอกจำนวนข้อมูลที่ทำการบันทึก
        recThrust1.Fields("AngSeta") = seta         'มุมในระนาบการหมุนตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา
        recThrust1.Fields("Thrust") = Thr           'แรงยกที่เกิดขึ้นในแต่ละมุมการหมุน seta
```

```
        recThrust1.Fields("CF") = CoeffThrust1   'ส.ป.ส แรงยกที่เกิดขึ้นในแต่ละมุมการหมุน
        recThrust1.Update                        seta
End If
End Sub
-----------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub Record3()
If cal <> 1 Then                                 'สร้างแฟ้มข้อมูลหรือไม่สร้างแฟ้มข้อมูล
'เก็บข้อมูลลงในตาราง ฉ1
        ID = ID + 1
        recThrust1.AddNew
        recThrust1.Fields("ID") = ID
        recThrust1.Fields("Thrust") = TotalThrust 'แรงยกของโรเตอร์ซึ่งเป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบ
                                                  สมรรถนะกับแรงยกที่ได้จากการทดสอบ
        recThrust1.Fields("Text") = "MeanThrust"'พิมพ์ตัวอักษร MeanThrust
        recThrust1.Update
End If
End Sub
-----------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub Record4()
If cal <> 1 Then                                 'สร้างแฟ้มข้อมูลหรือไม่สร้างแฟ้มข้อมูล
'เก็บข้อมูลลงในตาราง ฉ1
        ID = ID + 1
        recThrust1.AddNew
        recThrust1.Fields("ID") = ID
        recThrust1.Fields("Thrust") = CoeffThrust2       'ส.ป.ส แรงยกของโรเตอร์
        recThrust1.Fields("Text") = "Thrust Coefficient"
        recThrust1.Update
End If
End Sub
-----------------------------------------------------------------------------------------------------
```

```
Public Sub Record5()
If cal <> 1 Then                                    'สร้างแฟ้มข้อมูลหรือไม่สร้างแฟ้มข้อมูล
'เก็บข้อมูลลงในตาราง ฉ1
        ID = ID + 1
        recThrust1.AddNew
        recThrust1.Fields("ID") = ID
        recThrust1.Fields("Thrust") = Percent       'เปอร์เซ็นต์การลู่เข้าของการทำงานโปรแกรม
        recThrust1.Fields("Text") = "Percent of Converge at Azimuth Angle"
        recThrust1.Update
End If
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub ListData1()
Newton1.List1.AddItem "     " & "โรเตอร์เอียงทำมุม      " & " " & delta & "          " & "องศา"
Newton1.List1.AddItem "     " & "ปีกทำมุมพิทช์          " & "  " & bet & "          " & "องศา"
Newton1.List1.AddItem "     " & "อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก  " & " " & Val(Tips)
Newton1.List1.AddItem "      " & "ความเร็วที่พัดเข้าหาโรเตอร์   " & " " & Val(v) & "   " & "
เมตร/วินาที."
Newton1.List1.AddItem "    " & "ความเร็วรอบโรเตอร์   " & " " & Val(Wr) & "  " & "รอบ/นาที"
Newton1.List1.AddItem "     " & "ความยาวปีก         " & " " & Val(r2 - r1) & "       " & "เมตร"
Newton1.List1.AddItem "     " & "คอร์ด              " & " " & Val(c) & "          " & "เมตร"
Newton1.List1.AddItem "     " & "density      " & " " & Val(density) & "    " & "กิโลกรัม/ลบ.ม"
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub ListData2()
Newton1.List1.AddItem "       " & "หาสมการความสัมพันธ์โดย   " & " " & "สมการการถดถอย
เชิงเส้นแบบประยุกต์ "
Newton1.List1.AddItem "สมการที่ได้ " & " " & "Cl =" & " " & Val(a1) & " " & "alfa" & "  +  " &
Val(a0)
Newton1.List1.AddItem "R^2   =   " & " " & Val(Rsquar)
```

```
Newton1.List1.AddItem " " & " " & "Cd =" & " " & Val(a3) & " " & "Cl^2" & " + " & Val(a2)
Newton1.List1.AddItem "R^2  =  " & " " & Val(Rsquar2)
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Public Sub ListData3()
Newton1.List1.AddItem "    " & "หาสมการความสัมพันธ์โดย" & " " & "สมการการประมาณในช่วงเส้นโค้งกำลังสามร่วมกับสมการการถดถอย "
Newton1.List1.AddItem "สมการที่ได้ " & " " & "Cl =" & " " & Val(a1) & " " & "alfa" & " + " & Val(a0)
Newton1.List1.AddItem "R^2  =  " & " " & Val(Rsquar)
Newton1.List1.AddItem " " & " " & "Cd =" & " " & Val(a3) & " " & "Cl^2" & " + " & Val(a2)
Newton1.List1.AddItem "R^2  =  " & " " & Val(Rsquar2)
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Public Sub ListData4()
Newton1.List1.AddItem ""
Newton1.List1.AddItem "จากการคำนวณผลลัพท์ที่ได้คือ "
Newton1.List1.AddItem ""
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------------------

Public Sub ListData5()
Newton1.List1.AddItem ""
Newton1.List1.AddItem "แรงยกที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์  " & " " & Val(Thr1) & "  " & " นิวตัน"
Newton1.List1.AddItem "ส.ป.ส แรงยกที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์" & " " & Val(CoeffThrust2)
Newton1.List1.AddItem "จำนวนมุมที่สามารถลู่เข้าหาแรงยกเพื่อนำมาเฉลี่ย  " & " " & Val(Converge)
Newton1.List1.AddItem "จำนวนมุมที่ลู่ออกไม่สามารถหาแรงยกเพื่อนำมาเฉลี่ย  " & " " & Val(Div)
Newton1.List1.AddItem "คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการลู่เข้า " & " " & Val(Percent) & "  " & " เปอร์เซ็นต์"
```

```
Newton1.List1.AddItem "                    ----------                    "
Newton1.List1.AddItem ""
End Sub
-------------------------------------------------------------------------------------------------------

Public Sub Caution()
If cal = 2 Then
    If MsgBox("ต้องการเปิดแฟ้มข้อมูลใหม่ใช่หรือไม่", vbYesNo, "คำเตือน") = vbYes Then
        Stop1 = 1
        Dbase.Show
        Newton1.Hide
        Exit Sub
    End If
    If MsgBox("ต้องการเพิ่มข้อมูลเข้าไปในแฟ้มข้อมูลเดิมใช่หรือไม่", vbYesNo, "คำเตือน") _
        = vbYes Then
        GoTo   Y:
    End If
    If MsgBox("ต้องการลบหรือทับแฟ้มข้อมูลใช่หรือไม่", vbYesNo, "คำเตือน") = vbYes _
        Then
    If MsgBox(" ต้องลบแฟ้มข้อมูลออกจากฐานข้อมูลก่อนและพิมพ์ชื่อเดิมหรือชื่อใหม่", _
        vbYesNo, "คำเตือน: เมื่อต้องการลบหรือทับแฟ้มข้อมูล") = vbYes Then
        Stop1 = 1
        Dbase.Show:   Newton1.Hide
        Exit Sub
    End If
    End If
    If MsgBox("ต้องการคำนวณใหม่โดยไม่เปิดแฟ้มข้อมูลใช่หรือไม่", vbYesNo, "คำเตือน") _
        = vbYes Then
        cal = 1
        GoTo Y:
    End If
```

```
        MsgBox "ออกจากการคำนวณ", vbOKOnly, "คำเตือน"
        Stop1 = 1:  Exit Sub
End If
Y:
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub CheckParameters()
If Newton1.AxialIF = "" Or Newton1.RotatIF = "" Or Newton1.velo = "" Or Newton1.del = "" _
        Or Newton1.Tip = "" Or Newton1.rad = "" Or Newton1.beta = "" Or Newton1.Blade = _
        "" Or Newton1.chord = "" Or Newton1.Pressure = "" Or Newton1.Rst = "" _
        Or _Newton1.NoIntegral = "" Or Newton1.NoSeta = "" Then
        MsgBox " ยังเติมตัวแปรไม่ครบ กรุณาตรวจสอบใหม่อีกครั้ง", vbOKOnly, "คำเตือน"
        Chp = 1
End If
End Sub
---------------------------------------------------------------------------------------------------
Public Sub CheckTips()
If Tips1 = 1 Then ' ตรวจสอบว่ามีการเลือกTips หรือไม่
        Tips11 = 0
ElseIf Tips1 = 2 Then Tips11 = 1
Else: MsgBox " ยังไม่ได้เลือกการคำนวณ กรุณาตรวจสอบใหม่อีกครั้ง", vbOKOnly, "คำเตือน"
        Chp = 1
End If
If Tips11 = 1 Then 'สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกและแรงต้าน
        Tips111 = 0
ElseIf Tips11 = 2 Then
        Tips111 = 1
Else: MsgBox " ยังไม่ได้เลือกสมการความสัมพันธ์ส.ป.ส แรงยก แรงต้าน และมุมปะทะ กรุณา_
        ตรวจสอบใหม่อีกครั้ง", vbOKOnly, "คำเตือน"
        Chp = 1
```

```
End If
If AddCoeff.Text1 = "" Or AddCoeff.Text2 = "" Or AddCo <> 1 Or AddCo2 <> 2 Or AddCo3 _
        <> 3 Then
        MsgBox " ส.ป.ส แรงยก แรงต้าน และมุมปะทะ ยังไม่สมบูรณ์", vbOKOnly, "คำเตือน"
        Chp = 1
End If
End Sub
```

ฉ2 วิธีการใช้โปรแกรม ตัวอย่างประกอบ และข้อจำกัดของโปรแกรม

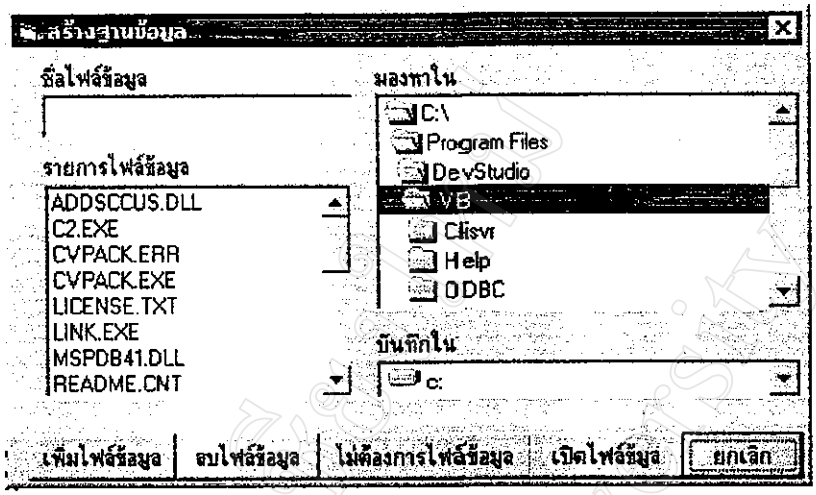
ฉ2.1 วิธีการใช้โปรแกรม

เมื่อเริ่มต้นเข้าสู่การทำงานจะพบกับรูปแบบเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ ฉ1 ที่ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้จากปุ่มสามปุ่มดังต่อไปนี้

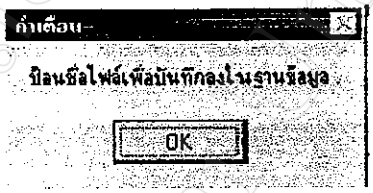
รูปที่ ฉ1 รูปแบบเริ่มต้นการเข้าสู่โปรแกรม

(1) ปุ่ม <u>เข้าสู่การคำนวณ</u> กดปุ่มนี้เมื่อพร้อมหรือต้องการที่จะเริ่มคำนวณ ซึ่งจะนำเข้าสู่รูปแบบสร้างฐานข้อมูลดังแสดงในรูปที่ ฉ2 โดยสามารถเลือกใช้งานได้จากปุ่ม 5 ปุ่ม ดังต่อไปนี้

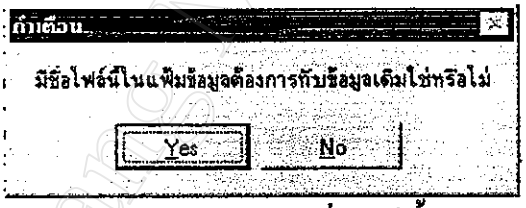
(1.1) ปุ่ม <u>เพิ่มไฟล์ข้อมูล</u> ใช้งานในกรณีที่ต้องการคำนวณพร้อมทั้งเก็บบันทึกข้อมูลขณะคำนวณลงในชื่อไฟล์และไดรฟ์ข้อมูลที่เลือกของข้อมูลนั้นๆ ด้วยการพิมพ์ชื่อไฟล์ลงในช่องที่กำหนดให้ แต่ถ้าไม่ได้กำหนดชื่อไฟล์จะมีการเตือนดังแสดงในรูปที่ ฉ3 และให้กดที่ปุ่ม **<u>OK</u>** เพื่อกลับไปกำหนดชื่อไฟล์ในรูปแบบสร้างฐานข้อมูล



รูปที่ ฉ2 รูปแบบของฐานข้อมูล

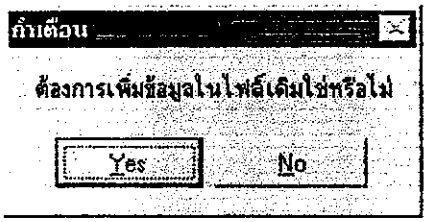


รูปที่ ฉ3 รูปแบบคำเตือนให้ป้อนชื่อไฟล์

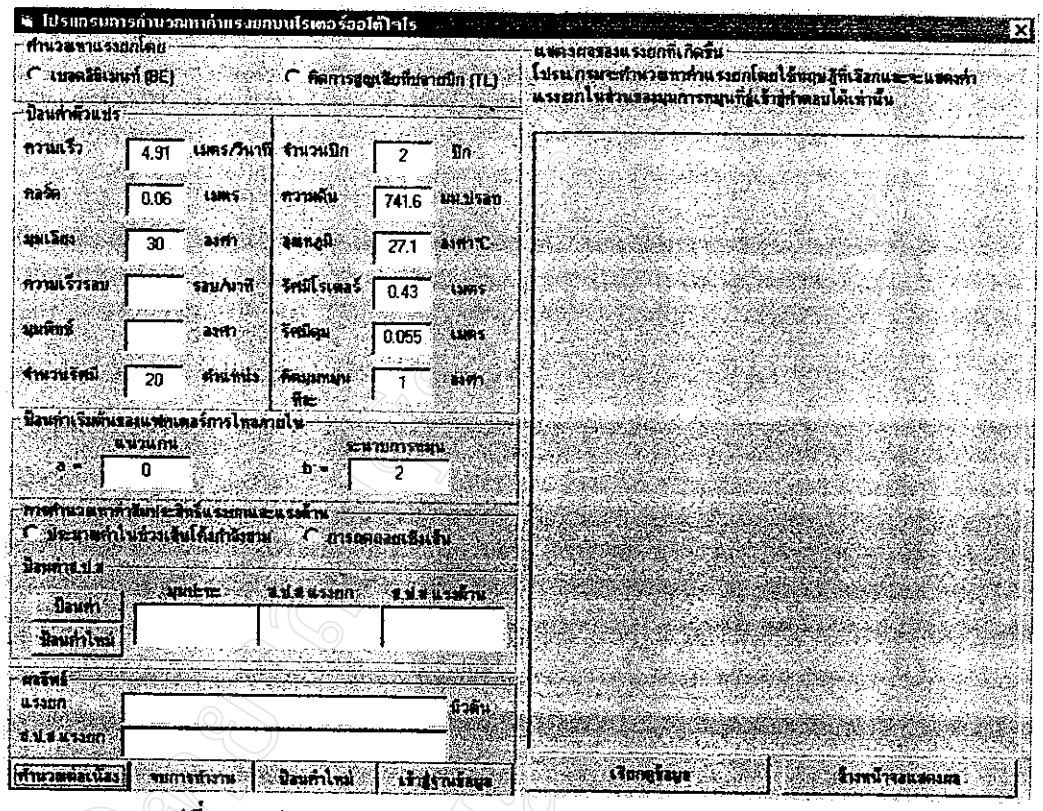


รูปที่ ฉ4 รูปแบบคำเตือนสำหรับมีชื่อไฟล์ซ้ำในแฟ้มข้อมูล

ถ้าหากชื่อไฟล์ที่พิมพ์มีซ้ำในแฟ้มข้อมูลจะมีการเตือนดังแสดงในรูปที่ ฉ4 โดยที่เมื่อกดที่ปุ่ม **No** จะปรากฏรูปแบบดังแสดงในรูปที่ ฉ5 แต่ถ้ากดที่ปุ่ม **Yes** จะแทนที่ข้อมูลไฟล์เดิมด้วยข้อมูลใหม่และเข้าสู่รูปแบบของการคำนวณดังแสดงในรูปที่ ฉ6 สำหรับรูปที่ ฉ5 เมื่อต้องการเพิ่มข้อมูลในไฟล์เดิมให้กดที่ปุ่ม **Yes** และถ้าต้องการกลับเข้าสู่รูปแบบฐานข้อมูลให้กดที่ปุ่ม **No** เพื่อกลับไประบุชื่อไฟล์ของข้อมูลใหม่



รูปที่ ฉ5 รูปแบบคำเตือนสำหรับการเพิ่มข้อมูลในไฟล์เดิม



รูปที่ ฉ6 รูปแบบการคำนวณหาค่าแรงยกของโรเตอร์ออโต้ไจโร

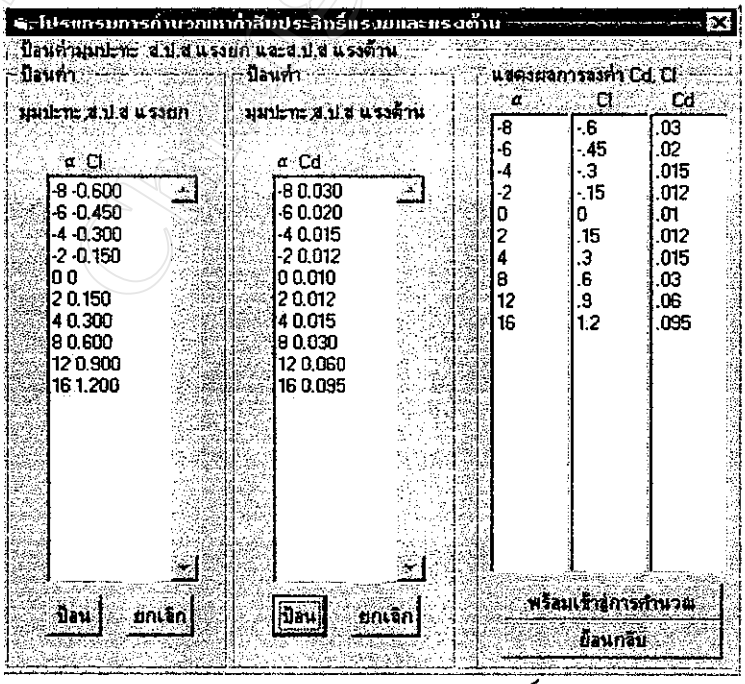
จากรูปแบบการคำนวณดังแสดงในรูปที่ ฉ6 วิธีในการป้อนตัวแปรลงในช่องว่างที่กำหนดให้จะมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก. เลือกวิธีการคำนวณหาแรงยก โดยสามารถเลือกได้ครั้งละหนึ่งตัวเลือกเท่านั้น จากตัวเลือกของทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์ (BE) หรือการสูญเสียที่ปลายปีก (TL)

ข. ป้อนตัวแปร ความเร็วลม คอร์ด มุมเอียง ความเร็วรอบ มุมพิทช์ จำนวนรัศมี จำนวนปีก ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ รัศมีโรเตอร์ รัศมีดุมใบพัด และคิดมุมการหมุนทีละ โดยที่ "จำนวนรัศมี" จะมีความหมายคือ จำนวนของภาคตัดย่อยๆที่ถูกแบ่งตลอดความยาวปีกเพื่ออินติเกรดหาแรงยกตลอดปีก ส่วน "คิดมุมการหมุนทีละ" จะหมายถึง ขนาดของมุมที่ใช้ในการคำนวณหาแรงยกตลอดปีกบนระนาบการหมุน ยกตัวอย่างเช่น ถ้าระบุด้วยเลข 10 หมายถึง การคำนวณหาแรงยกตลอดปีกโดยเริ่มมุมการหมุน θ ที่ 0 องศา และถัดไปจะคำนวณที่มุมการหมุน θ ที่ 10 องศา ทำเช่นนี้ไปเรื่อยโดยเพิ่มทีละ 10 องศา จนครบ 360 องศา จากนั้นแรงยกที่ได้จะถูกนำมาเฉลี่ยเพื่อประมาณค่าแรงยกที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ออโต้ไจโร

ค. ป้อนค่าเริ่มต้นของแฟคเตอร์การไหลภายใน a และ b ในที่นี้ได้กำหนดค่าเริ่มต้นที่ 0 และ 2 ตามลำดับ

ง. เลือกวิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านของภาคตัดปีกที่เลือกใช้ โดยเลือกได้ครั้งละหนึ่งตัวเลือกจากตัวเลือกของวิธีการถดถอยเชิงเส้นและประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสาม (ขอแนะนำให้เลือกเฉพาะวิธีการถดถอยเพราะช่วยลดระยะเวลาของการคำนวณให้สั้นลงแต่ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันมากเมื่อเทียบกับการประมาณค่าในช่วงเส้นโค้งกำลังสาม) หลังจากเลือกวิธีการคำนวณแล้วให้กดที่ปุ่ม **ป้อนค่า** จะปรากฏรูปแบบของการป้อนข้อมูลมุมปะทะ สัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงต้าน ดังแสดงในรูปที่ ฉ7 โดยมีวิธีในการป้อนข้อมูลดังนี้คือ ในช่องให้เติมข้อมูลช่องแรก ให้พิมพ์มุมปะทะก่อนตามด้วยเคาะ Space bar 1 ครั้ง แล้วจึงพิมพ์สัมประสิทธิ์แรงยก จากนั้นให้เคาะ Enter ยกตัวอย่าง มุมปะทะและสัมประสิทธิ์แรงยก 10 คู่อันดับ (-8,-0.60) (-6,-0.45) (-4,-0.30) (-2,-0.15) (0,0) (2,0.15) (4,0.30) (8,0.60) (12,0.90) (16,1.2) ซึ่งจะถูกพิมพ์ลงในช่องแรกดังแสดงในรูป สำหรับในช่องที่สองให้พิมพ์เช่นเดียวกับช่องแรกแต่แทนค่าด้วยสัมประสิทธิ์แรงต้าน ยกตัวอย่างมุมปะทะและสัมประสิทธิ์แรงต้าน 10 คู่อันดับ (-8,0.030) (-6,0.020) (-4,0.015) (-2,0.012) (0,0.010) (2,0.012) (4,0.015) (8,0.030) (12,0.060) (16,0.095) เมื่อพิมพ์ในแต่ละช่องเสร็จให้กดที่ปุ่ม **ป้อน** เพื่อส่งค่าต่อไปยังโปรแกรมโดยจะมีการแสดงผลในสามช่องทางซ้ายโดยเริ่มจากทางซ้ายคือ มุมปะทะ α สัมประสิทธิ์แรงยก C_l และสัมประสิทธิ์แรงต้าน C_d เพื่อยืนยันว่าได้ส่งค่าไปยังโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว หลังจากทุกอย่างไม่ผิดพลาดให้กดที่ปุ่ม **พร้อมเข้าสู่การคำนวณ** โปรแกรมจะทำการคำนวณทันที แต่ถ้าหากต้องการย้อนกลับไปเปลี่ยนตัวแปรในรูปแบบการคำนวณให้กดที่ปุ่ม **ย้อนกลับ**

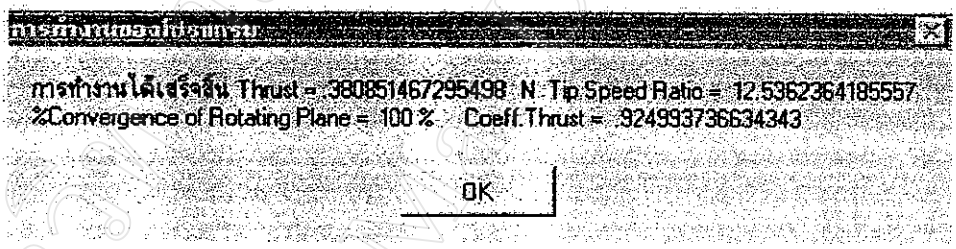


รูปที่ ฉ7 รูปแบบสำหรับป้อนค่ามุมปะทะ สัมประสิทธิ์แรงยก และสัมประสิทธิ์แรงต้าน

จ. ขณะโปรแกรมทำการคำนวณจะปรากฏโพรเกจบาร์ (Progress Bar) ดังแสดงในรูปที่ ฉ8 ซึ่งเป็นรูปแบบที่ช่วยให้ผู้ใช้รู้ว่าโปรแกรมกำลังทำงาน

รูปที่ ฉ8 รูปแบบของโพรเกจบาร์แสดงการทำงานของโปรแกรม

ฉ. หลังจากเสร็จสิ้นการคำนวณจะปรากฏรูปแบบของผลลัพธ์ที่ได้คือ แรงยก (Thrust) อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก (Tip Speed Ratio) เปอร์เซ็นต์การลู่เข้าในแต่ละมุมการหมุนบนระนาบการหมุน (% Converge of Rotating Plane) และสัมประสิทธิ์แรงยก (Coeff Thrust) ดังแสดงในรูปที่ ฉ9 ซึ่งสามารถดูผลลัพธ์เพิ่มเติมได้ด้วยการกดที่ปุ่ม Ok จะปรากฏข้อมูลในทางด้านซีกซ้ายของรูปแบบโดยมีรายละเอียดคือ



รูปที่ ฉ9 รูปตัวอย่างของรูปแบบการแสดงผลหลังคำนวณเสร็จสิ้น

โรเตอร์เอียงทำมุม _____ องศา

ปีกทำมุมพิทช์ _____ องศา

อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก _____

ความเร็วที่พัดเข้าหาโรเตอร์ _____ เมตร/วินาที

ความเร็วรอบโรเตอร์ _____ รอบ/นาที

ความยาวปีก _____ เมตร

คอร์ด _____ เมตร

ความหนาแน่น _____ กิโลกรัม/ลบ.เมตร

การคำนวณโดย _____

หาสมการความสัมพันธ์โดย _____

สมการที่ได้ $C_l(\alpha)$ และ $C_d\left(C_l^2\right)$ รวมถึงแสดงค่า R^2

จากการคำนวณผลลัพธ์ได้คือ

มุมการหมุนที่ 0 องศา ได้แรงยก _____ นิวตัน

มุมการหมุนที่ θ_1 องศา ได้แรงยก_____ นิวตัน

มุมการหมุนที่ 360 องศา ได้แรงยก_____ นิวตัน

แรงยกที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ _____ นิวตัน

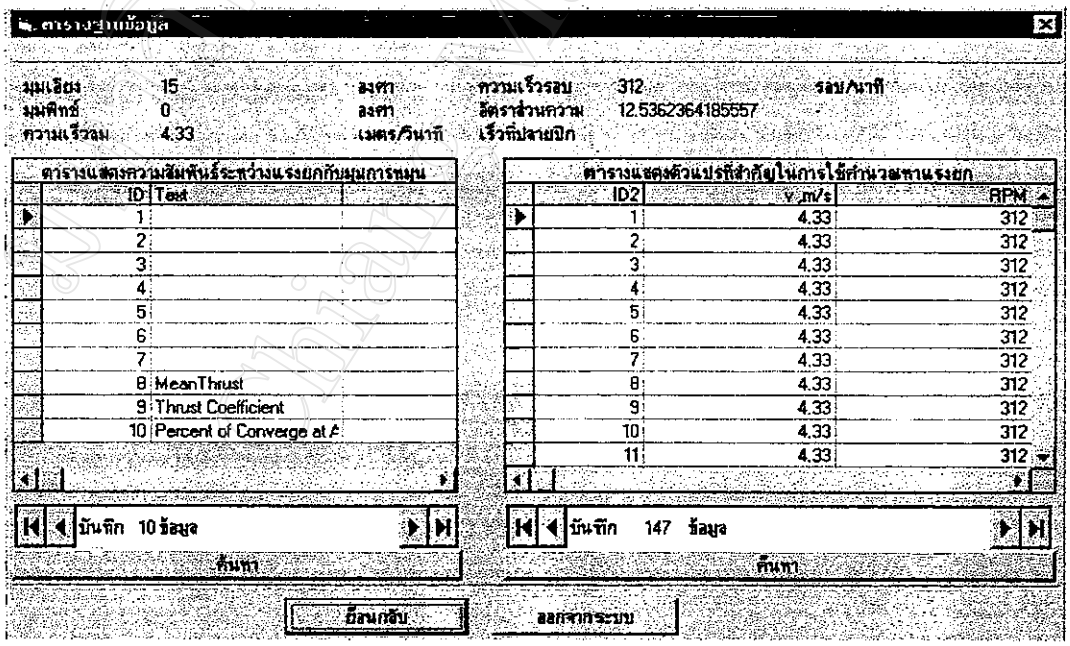
ส.ป.ส แรงยกที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ _____

จำนวนมุมการหมุนที่สามารถลู่เข้าแรงยกเพื่อนำมาเฉลี่ย _____

จำนวนมุมการหมุนที่ลู่ออกไม่สามารถหาแรงยกเพื่อนำมาเฉลี่ย _____

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ในการลู่เข้า _____ เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ในกรณีที่บันทึกลงในฐานข้อมูลเมื่อเราต้องการดูข้อมูลที่บันทึกก็ให้กดที่ปุ่ม **เรียกดูข้อมูล** จะปรากฏรูปแบบตารางฐานข้อมูลดังแสดงในรูปที่ ฉ10 โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ตาราง ในตารางที่ 1 จะเป็นผลของแรงยกโรเตอร์ในแต่ละมุมการหมุน AngSeta สำหรับในตารางที่ 2 จะเป็นผลของแรงยก Thrust แฟคเตอร์การไหลภายใน a และ b มุมปะทะ AngAttack ความเร็วลม v ความเร็วรอบ RPM มุมพิทช์ AngPitch มุมเอียง AngDelta และอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก Tips บนรัศมีภาคตัดย่อยๆ r ของปีกในแต่ละมุมการหมุน θ



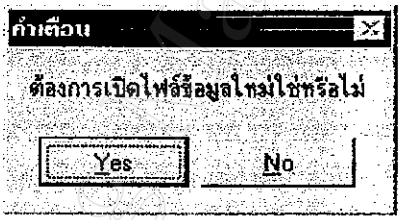
รูปที่ ฉ10 รูปแบบตารางการบันทึกข้อมูล

เนื่องจากในบางครั้งอาจมีข้อมูลมาก เพื่อความรวดเร็วในการค้นหาให้กดที่ปุ่ม **ค้นหา** จะปรากฏรูปแบบค้นหาตำแหน่ง ซึ่งจะเป็นการถามหาตำแหน่งมุมการหมุนเมื่อระบุมุมการหมุนที่ต้องการแล้วให้กดที่ปุ่ม **Ok** จะปรากฏลูกศรชี้ที่ตำแหน่งของมุมการหมุนนั้น

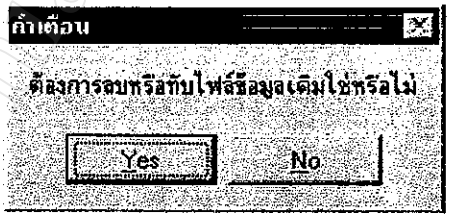
เมื่อต้องการกลับไปที่รูปแบบการคำนวณ ให้กดที่ปุ่ม **ย้อนกลับ** ซึ่งสามารถทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรและคำนวณใหม่ได้โดยการกดที่ปุ่ม **คำนวณต่อเนื่อง** หากต้องการออกจากระบบก็กดที่ปุ่ม **ออกจากระบบ**

หลังจากกดที่ปุ่ม **คำนวณต่อเนื่อง** เพื่อเข้าสู่การคำนวณใหม่จะมีการถามว่าต้องการเปิดไฟล์ข้อมูลใหม่ใช่หรือไม่ดังแสดงในรูปที่ ฉ11 ถ้าต้องการให้กดที่ปุ่ม **Yes** ก็จะปรากฏรูปแบบฐานข้อมูลแต่ถ้ากดที่ปุ่ม **No** จะมีการถามว่าต้องการเพิ่มข้อมูลเข้าไปในข้อมูลเดิมใช่หรือไม่ดังแสดงในรูปที่ ฉ5

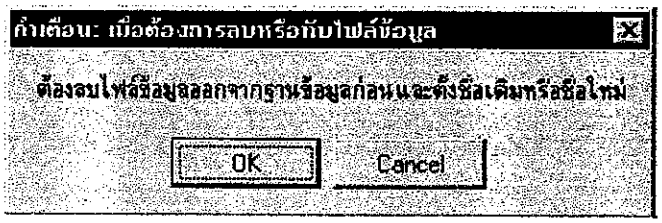
จากรูปที่ ฉ5 ถ้ากดที่ปุ่ม **No** ก็จะปรากฏรูปแบบถามว่าต้องการลบหรือทับไฟล์ข้อมูลเดิมใช่หรือไม่ดังแสดงในรูปที่ ฉ12 แต่ถ้ากดที่ปุ่ม **Yes** จะมีการเตือนอีกครั้งดังแสดงในรูปที่ ฉ13 เพื่อแนะนำวิธีการทับข้อมูลลงไฟล์เดิมทั้งนี้เพราะการจะทับข้อมูลลงบนไฟล์ข้อมูลขณะทำการคำนวณต่อเนื่องจะค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นวิธีที่ง่ายคือให้ทำการลบไฟล์เดิมออกก่อนจากนั้นจึงพิมพ์ชื่อไฟล์เดิมอีกซ้ำอีกที แต่ถ้ากดที่ปุ่ม **Cancal** ของรูปที่ ฉ13 จะมีคำเตือนว่าต้องการคำนวณใหม่โดยไม่บันทึกลงในฐานข้อมูลใช่หรือไม่ดังแสดงในรูปที่ ฉ14



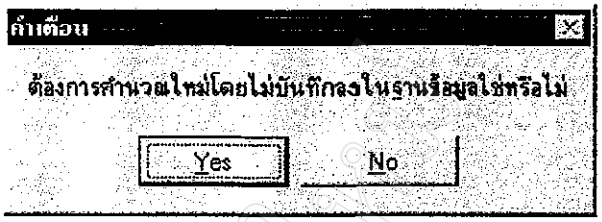
รูปที่ ฉ11 รูปแบบคำเตือนเมื่อกดที่ปุ่ม **คำนวณต่อเนื่อง**



รูปที่ ฉ12 รูปแบบคำเตือนเมื่อต้องการลบหรือทับไฟล์ข้อมูลเดิม



รูปที่ ฉ13 รูปแบบวิธีในการทับข้อมูลในขณะทำการคำนวณซ้ำต่อเนื่อง



รูปที่ ฉ14 รูปแบบคำเตือนเมื่อต้องการคำนวณโดยไม่การบันทึกลงในฐานข้อมูล

จากรูปที่ ฉ14 ถ้าต้องการให้กดที่ปุ่ม Yes โปรแกรมจะทำการคำนวณใหม่ทันทีโดยไม่บันทึกลงในฐานข้อมูลแต่ถ้ากดที่ปุ่ม No ก็จะกลับไปที่รูปแบบการคำนวณ ซึ่งก็สามารถออกจากการคำนวณโดยการกดที่ปุ่ม จบการทำงาน

(1.2) ปุ่ม ลบไฟล์ข้อมูล กรณีที่ต้องการลบไฟล์ข้อมูลนั้นออกจากฐานข้อมูล

(1.3) ปุ่ม ไม่ต้องการไฟล์ข้อมูล กรณีที่ต้องการคำนวณโดยไม่ต้องบันทึกลงในฐานข้อมูล เมื่อกดที่ปุ่มแล้วจะเข้าสู่รูปแบบของการคำนวณ โดยผลที่ได้จะไม่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล

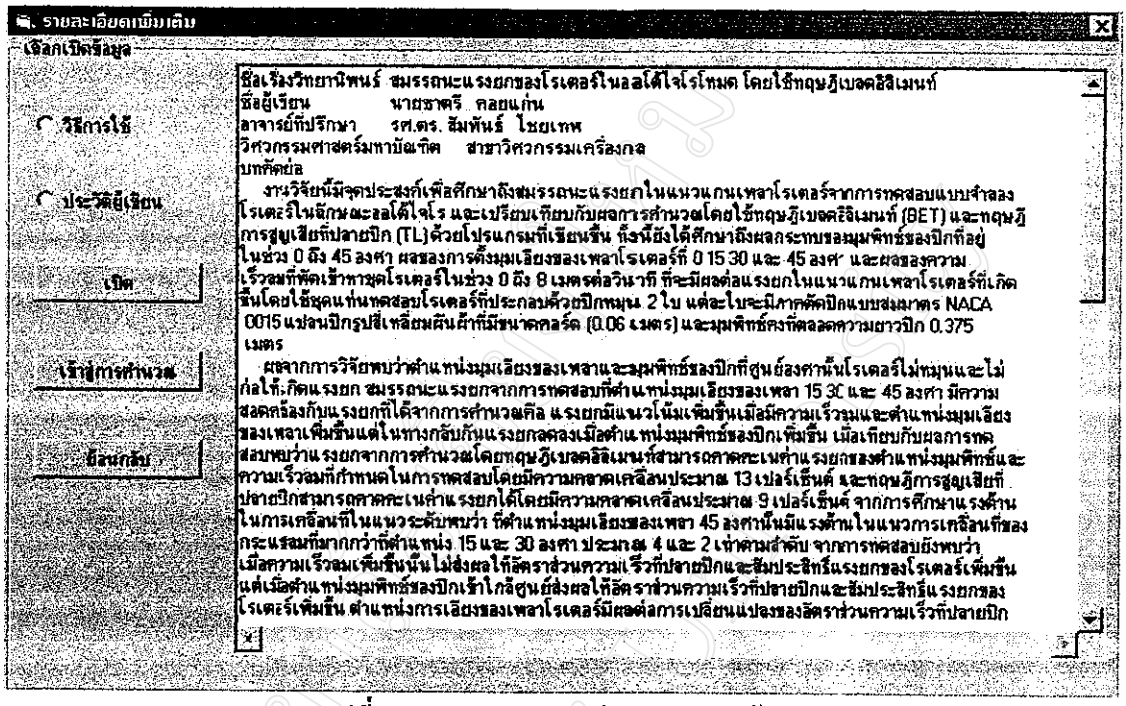
(1.4) ปุ่ม เปิดไฟล์ข้อมูล กรณีที่ต้องการเปิดดูข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลโดยการพิมพ์ชื่อที่ต้องการเปิดและให้กดที่ปุ่มก็จะปรากฏรูปแบบตารางฐานข้อมูลของข้อมูลที่เลือก

(1.5) ปุ่ม ยกเลิก กรณีที่ต้องออกจากรูปแบบฐานข้อมูลและกลับไปยังรูปแบบที่ผ่านมา

(2)..ปุ่ม ออกจากการคำนวณ กรณีที่ต้องการออกจากการทำงานซึ่งจะมีการเตือนเพื่อให้ตัดสินใจอีกครั้งโดยมีรูปแบบดังแสดงในรูปที่ ฉ15 ถ้ากดที่ปุ่ม ใช่ โปรแกรมจะออกจากการทำงานทันทีแต่ถ้ากดที่ปุ่ม กลับเข้าสู่การทำงานใหม่ ก็จะกลับไปยังรูปแบบที่ผ่านมา

รูปที่ ฉ15 แสดงรูปแบบก่อนออกจากการคำนวณ

(3) ปุ่ม คุยกันก่อน จะเป็นการพูดคุยกันถึงประวัติผู้เขียนและวิธีการใช้งานแบบคร่าวๆ ดังแสดงในรูปที่ ฉ16 ซึ่งจะมีตัวเลือกอยู่สองตัวเลือกคือ วิธีการใช้และประวัติผู้เขียน เมื่อเลือกตัวเลือกใดตัวเลือกหนึ่งแล้วให้กดที่ปุ่ม เปิด ก็จะมีรายละเอียดของแต่ละตัวเลือกและเมื่อต้องการคำนวณก็ให้กดที่ปุ่ม เข้าสู่การคำนวณ



รูปที่ ฉ16 แสดงรูปแบบในส่วนการใช้งาน

ฉ2.2 ตัวอย่างการคำนวณ

เมื่อต้องการคำนวณหาแรงยกบนโรเตอร์ในสภาวะออโต้ไจโรโดยใช้ทฤษฎีบลดอิลิเมนท์ โดยที่โรเตอร์มีภาคตัดปีกแบบสมมาตร NACA 0015 จำนวน 2 ปีก มีรัศมีดุม 0.055 เมตร รัศมีวงนอกสุดของโรเตอร์ 0.43 เมตร และคอร์ด 0.06 เมตร เมื่อมีกระแสลม 4.33 เมตร พัดเข้าหาโรเตอร์โดยปรับตำแหน่งเพลาโรเตอร์เอียงทำมุม 15 องศาและตั้งตำแหน่งมุมพิทช์ที่ 0 องศา สมมติให้ความดันและอุณหภูมิคือ 741.6 มิลลิเมตรปรอท และ 27.1 องศาเซลเซียสตามลำดับ แบ่งรัศมีออกเป็น 20 ตำแหน่ง คิดมุมการหมุนทีละ 30 องศา และความเร็วรอบที่ 312 รอบต่อนาที

หมายเหตุ : ความเร็วรอบที่ 312 รอบต่อนาทีคือ ความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบจริงของสภาวะที่กำหนดไว้

วิธีทำ 1. เปิดฐานข้อมูลพร้อมกับพิมพ์ชื่อไฟล์

2 ป้อนตัวแปรที่กำหนดให้ลงในช่องว่างของรูปแบบการคำนวณ

3. กำหนดค่าเริ่มต้นของแฟคเตอร์ a และ b โดยเริ่มที่ 0 และ 2

4. ป้อนข้อมูลของภาคตัดปีก NACA 0015 จากคู่มือของ Rice (1971) (สำหรับภาคตัดปีกที่นอกจาก NACA 0015 สามารถใช้ได้แต่ต้องระวังค่า R^2 หากมีค่าน้อยกว่า 0.8 ก็ไม่ควรคำนวณด้วยโปรแกรมนี้)

5 ผลของการคำนวณ

แรงยกบนโรเตอร์ (Thrust) คือ 0.38085 นิวตัน

อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก (Tip Speed Ratio) คือ 12.5362

เปอร์เซ็นต์การลู่เข้าบนระนาบการหมุน (%Convergence of Rotating Plane)100 %

สัมประสิทธิ์แรงยก (Coeff.Thrust) 0.92735

สำหรับข้อมูลที่ได้บันทึกลงในฐานข้อมูลจะแสดงในตาราง ฉ1 และ ฉ2 ซึ่งเป็นตัวอย่างบางส่วน

ตาราง ฉ1 แสดงผลลัพธ์จากโจทย์ตัวอย่างที่ได้บันทึกลงในตาราง 1 ของฐานข้อมูล

ID	Text	AngSeta	Thrust	CT
1		0	.39479239408483	.958852789494457
2		30	.366036612063653	.889012128381883
3		60	.336147764476335	.816419532087547
4		90	.324137911154113	.787250577639662
5		120	.336147764476335	.816419532087547
6		150	.366036612063654	.889012128381886
7		180	.394792394084833	.958852789494464
8		210	.407911010285198	.990714653923707
9		240	.408043539186977	.991036533749822
10		270	.406276129408541	.986743933837502
11		300	.408043539186975	.991036533749817
12		330	.407911010285198	.990714653923707
13		360	.394792394084829	.958852789494454
14	Mean Thrust		.380851467295498	
15	Thrust Coefficient		.924993736634343	
16	%Convergence of Rotating Plane		100	
17	Tip Speed Ratio		12.5362364185557	

ตาราง ฉ2 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์จากโจทย์ตัวอย่างที่ได้บันทึกลงในตาราง 2 ของฐานข้อมูล

ID2	v ,m/s	RPM	AngSeta	AngPitch	AngDelta	r ,m	Thrust	Factor a	Factor b	AngAttack	Tips
1	4.33	312	0	0	15	0.055	23.2	0.64567	0.05774	11.8	1.603
2	4.33	312	0	0	15	0.07375	31.9	0.62627	0.03237	9.6	2.150
3	4.33	312	0	0	15	0.0925	40.4	0.61645	0.01992	7.9	2.697
4	4.33	312	0	0	15	0.11125	48.8	0.61087	0.01296	6.8	3.243
5	4.33	312	0	0	15	0.13	57.2	0.60741	0.00869	5.9	3.790
6	4.33	312	0	0	15	0.14875	65.6	0.60514	0.00590	5.2	4.337
7	4.33	312	0	0	15	0.1675	74.0	0.60356	0.00398	4.6	4.883
8	4.33	312	0	0	15	0.18625	82.4	0.60243	0.00260	4.2	5.430
9	4.33	312	0	0	15	0.205	90.7	0.60158	0.00157	3.8	5.977

ฉ2.3 ข้อจำกัดของโปรแกรม

โปรแกรมการคำนวณที่เขียนขึ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สำหรับคาดคะเนแรงยกในแนวแกนเพลาโรเตอร์ออโต้ไจโร โดยได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะแรงยกของโปรแกรมกับแรงยกที่ได้จากการทดสอบของชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรที่มีรูปแบบและข้อกำหนดดังต่อไปนี้

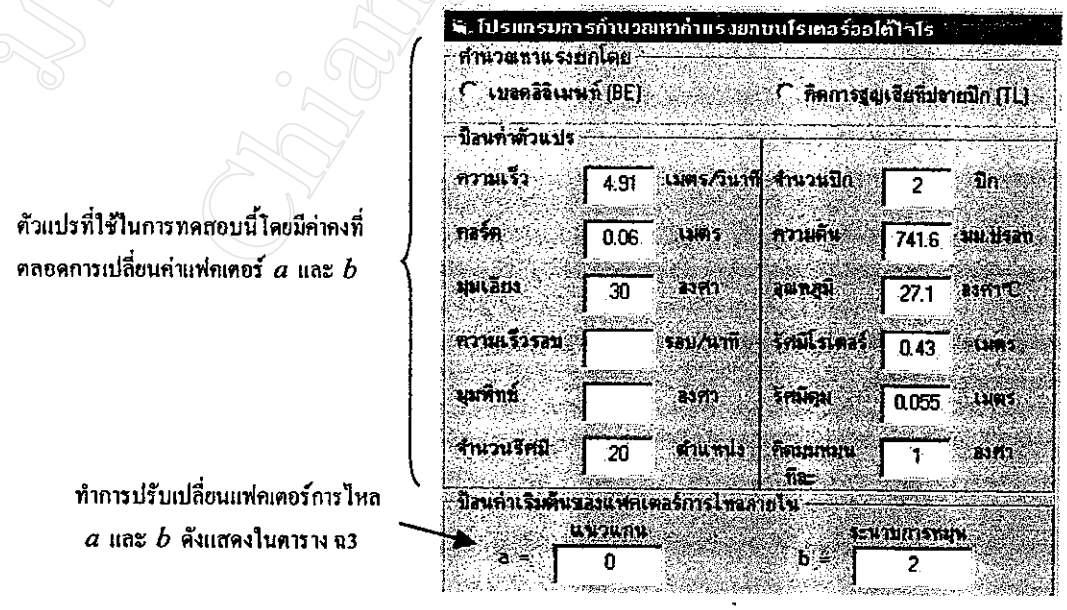
- โรเตอร์ประกอบด้วยปีกหมุน 2 ใบ ที่มีรัศมีวงนอก 0.43 เมตร รัศมีของดุม 0.055 เมตร ความยาวคอร์ด 0.06 เมตร และมีภาคตัดปีกแบบสมมาตร NACA 0015 จากคู่มือของ Rice

- ทดสอบภายใต้ความดันบรรยากาศ 741.6 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิบรรยากาศ 27.1 องศาเซลเซียส และภายใต้กระแสลมที่มีความเร็วลมไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที

- ทดสอบภายใต้การปรับเปลี่ยนมุมเอียงที่ 0 15 30 และ 45 องศา

- ทดสอบภายใต้การปรับเปลี่ยนมุมพิทช์ในช่วง 0 ถึง 45 องศา ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของมุมเอียง โดยดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในตาราง 1.1

- และท้ายสุดกำหนดแฟคเตอร์การไหลภายในแนวแกน a และระนาบการหมุน b เริ่มต้นที่ 0 และ 2 ตามลำดับ เพราะผลจากการตรวจสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแฟคเตอร์ a และ b (ทั้ง BE และ TL) พบว่า การแทนค่าเริ่มต้นของแฟคเตอร์ a ที่มีค่าน้อยกว่า 1 (<1) โดยที่แฟคเตอร์ b มีค่าใดๆให้ผลลู่เข้าสู่คำตอบที่ใกล้เคียงผลจากการทดสอบชุดโรเตอร์ออโต้ไจโรแต่ถ้าค่าเริ่มต้นของแฟคเตอร์ a ใกล้เคียงหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งโดยที่แฟคเตอร์ b มีค่าใดๆพบว่า ไม่สามารถลู่เข้าสู่คำตอบหรือลู่เข้าสู่คำตอบที่ผิดซึ่งแตกต่างจากค่าแรงยกที่ได้จากการทดสอบดังแสดงตัวอย่างในตาราง ฉ3



รูปที่ ฉ17 ตัวแปรในการทดสอบการลู่เข้าสู่คำตอบของแฟคเตอร์ a และ b

ตาราง ฉ3 ตัวอย่างการลู่เข้าสู่คำตอบของ a และ b โดยแทนค่าตัวแปรดังแสดงในรูปที่ ฉ17

a	b	แรงยกที่ได้ (N)	a	b	แรงยกที่ได้ (N)	a	b	แรงยกที่ได้ (N)	a	b	แรงยกที่ได้(N)
-10	2.00	1.39433	0.50	2.00	1.39433	0	-15	1.39433	0	2	1.39433
-2	2.00	1.39433	0.75	2.00	1.39433	0	-10	1.39433	0	5	1.39433
-1	2.00	1.39433	1	2.00	ลู่ออก	0	-5	1.39433	0	10	1.39433
0	2.00	1.39433	2	2.00	-0.04388	0	-2	1.39433	0	15	1.39433
0.25	2.00	1.39433	10	2.00	-0.04388	0	0	1.39433			

หมายเหตุ ผลจากการทดสอบประมาณแรงยกได้ 1.397 นิวตัน

จากผลการเปรียบเทียบสมรรถนะแรงยกที่ได้ถูกกล่าวถึงในผลการวิจัยโดยมีรายละเอียดคือ ทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์สามารถคาดคะเนค่าแรงยกได้โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ และทฤษฎีการสูญเสียที่ปลายปีกสามารถคาดคะเนค่าแรงยกได้โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์

แต่สำหรับโปรแกรมนี้ได้ถูกออกแบบมาเพื่อสำหรับประยุกต์ใช้ได้กับโรเตอร์ที่มีจำนวนปีกใดๆ หรือภาคตัดปีกใดๆเป็นต้น ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับการแทนค่าของตัวแปรดังแสดงในรูปที่ ฉ17 ดังนั้นผู้ใช้ต้องเข้าใจว่าผลของแรงยกที่ได้จากโปรแกรมนี้อาจมีความน่าเชื่อถือหรือความคลาดเคลื่อนเปลี่ยนจากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเมื่อตัวแปรได้ถูกเปลี่ยนไปจากที่กำหนด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายชาตรี คอยแก่น
วัน เดือน ปี สถานที่ เกิด	21 ตุลาคม 2519 จังหวัดเชียงใหม่
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัยแผนกมัธยม จ.เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2533 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัยแผนกมัธยม จ.เชียงใหม่ ปีการศึกษา 2536 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2540

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University