# บทที่ 5
# ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

หลังจากได้ทำการทดสอบหาแรงยกที่เกิดขึ้นในแนวแกนเพลาโรเตอร์ของชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรและคำนวณหาแรงยกโดยใช้ทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์และการสูญเสียที่ปลายปีกในสภาวะออโต้ไจโรแล้ว นำผลที่ได้มาศึกษาและวิเคราะห์ถึงสมรรถระแรงยกจากทั้งสองวิธีและผลกระทบจากการแปรค่ามุมพิทช์ของปีกหมุน มุมเอียงของเพลาโรเตอร์ และความเร็วลมต่อแรงยกในแนวแกนเพลาโรเตอร์ที่เกิดขึ้นโดยมีรายละเอียดตามลำดับต่อไปนี้

จากข้อมูลของอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดช่วงการทดสอบมีค่าเท่ากับ 27.1 องศาเซลเซียส โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 1$ องศาเซลเซียส และความดันบรรยากาศเฉลี่ยตลอดช่วงการทดสอบคือ 741.6 มิลลิเมตรปรอท โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 1.2$ มิลลิเมตรปรอท ซึ่งตัวแปรทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงการทดสอบน้อยมาก ดังนั้นสมมติให้ความหนาแน่นที่ใช้สำหรับการทดสอบและคำนวณคือความหนาแน่นเฉลี่ยที่หาได้ด้วยการแทนค่าความดันและอุณหภูมิเฉลี่ยลงในสมการ (4.1) ซึ่งค่าความหนาแน่นที่ได้คือ 1.148 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

## 5.1 ผลการวิเคราะห์แรงเนื่องจากเพลาและดุมโรเตอร์จากการทดสอบชุดแท่นทดสอบ

โดยปรกติถ้าวัตถุใดๆถูกกระแสลมเข้าปะทะในทางอากาศพลศาสตร์จะถือว่าเกิดแรงยกและแรงต้านบนวัตถุนั้นๆเช่นเดียวกับเพลาและดุมโรเตอร์ที่ไม่ติดปีก เมื่อมีกระแสลมเข้าปะทะก็จะเกิดแรงยกและแรงต้านขึ้นแต่แรงที่เกิดขึ้นนี้ไม่ได้เกิดเนื่องจากการทำงานของโรเตอร์ ดังนั้นจึงนำมาใช้หักออกจากแรงยกที่ได้จากการทำงานของโรเตอร์

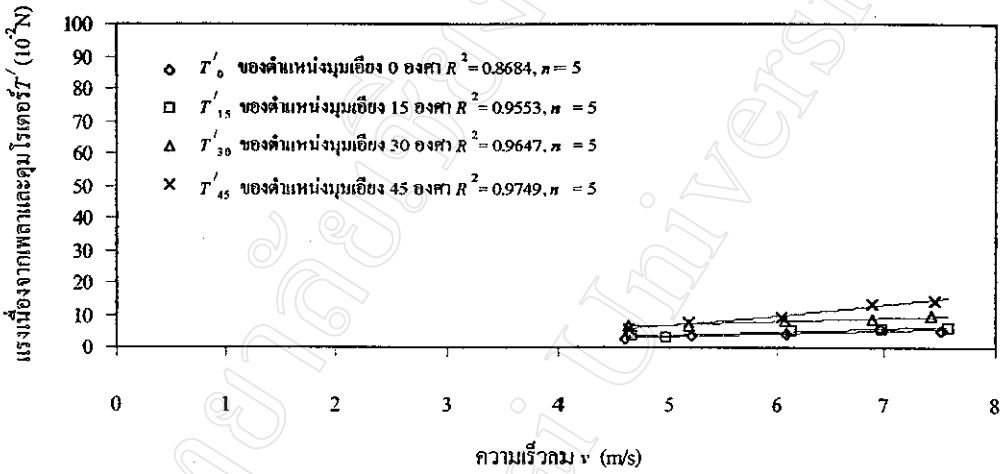
จากการทดสอบหาแรงเนื่องจากเพลาและดุมโรเตอร์ที่ไม่ติดปีกที่ตำแหน่งมุมเอียง 0 15 30 และ 45 องศา ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากรูปพบว่า แรงที่เกิดขึ้นจากทั้ง 4 ตำแหน่งมีค่าน้อยมากคือ ไม่เกิน $15 \times 10^{-2}$ นิวตัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นโดยมีรูปแบบสมการแรงของแต่ละตำแหน่งดังต่อไปนี้

สมการแรงเนื่องจากเพลาและดุมโรเตอร์พหุนามกำลังสองที่แปรผันกับความเร็วลมในช่วงไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที ที่ตำแหน่งมุมเอียง 0 องศา ($T_0'$) มีค่า $R^2 = 0.8684$ จากจำนวนข้อมูล 5

ข้อมูล โดยที่เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ได้จากสมการกับแรงที่เกิดขึ้นจริงในการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน 9.56 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย มีรูปแบบสมการคือ

$$T_0^{/} = 0.0412v^2 - 0.4443v \qquad \text{.....(5.1)}$$

โดยที่ $T_0^{/}$ มีหน่วยเป็น $10^{-2}$ นิวตัน (N)




รูปที่ 5.1 แสดงเส้นแนวโน้มแรงเนื่องจากเพลาและดุมโรเตอร์ที่ตำแหน่งมุมเอียง 0° 15° 30°และ 45°

สมการแรงเนื่องจากเพลาและดุมโรเตอร์ที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา ($T_{15}^{/}$) มีค่า $R^2 = 0.9553$ จากจำนวนข้อมูล 5 ข้อมูล โดยที่เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ได้จากสมการกับแรงที่เกิดขึ้นจริงในการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน 4.96 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย มีรูปแบบสมการคือ

$$T_{15}^{/} = 0.0386v^2 - 0.5510v \qquad \text{.....(5.2)}$$

โดยที่ $T_{15}^{/}$ มีหน่วยเป็น $10^{-2}$ นิวตัน (N)

สมการแรงเนื่องจากเพลาและดุมโรเตอร์ที่ตำแหน่งมุมเอียง 30 องศา ($T_{30}^{/}$) มีค่า $R^2 = 0.9647$ จากจำนวนข้อมูล 5 ข้อมูล โดยที่เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ได้จากสมการกับแรงที่เกิดขึ้นจริงในการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน 2.47 เปอร์เซ็นต์ โดยเฉลี่ย มีรูปแบบสมการคือ

$$T_{30}^{/} = -0.0408v^2 - 1.5762v \qquad \text{.....(5.3)}$$

โดยที่ $T_{30}^{/}$ มีหน่วยเป็น $10^{-2}$ นิวตัน (N)

สมการแรงเนื่องจากเพลาและดุมโรเตอร์ที่ตำแหน่งมุมเอียง 45 องศา ($T_{45}^{/}$) มีค่า $R^2 = 0.9749$ จากจำนวนข้อมูล 5 ข้อมูล โดยที่เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ได้จากสมการกับแรงที่เกิดขึ้นจริงในการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน 5.26 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย มีรูปแบบสมการคือ

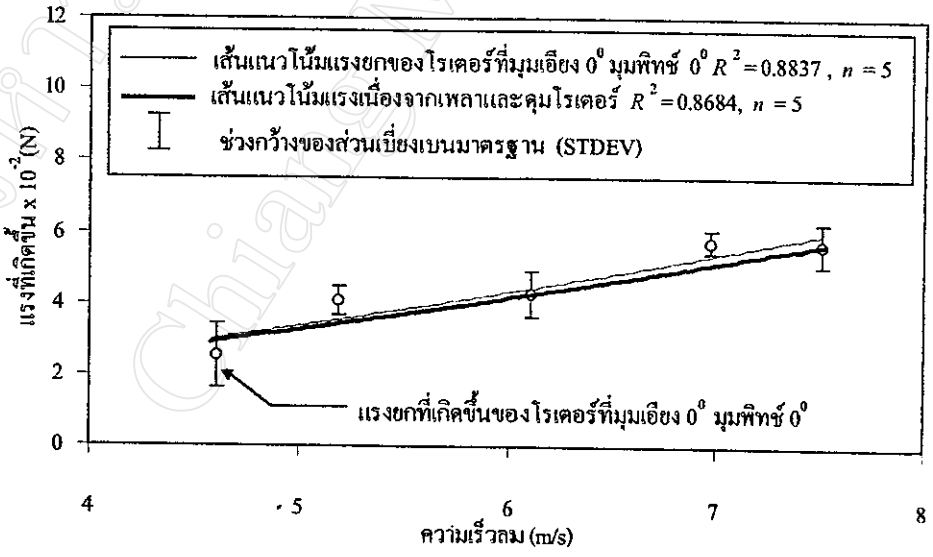
$$T_{45}^{/} = 0.2658v^2 - 0.0114v \qquad \text{.....(5.4)}$$

โดยที่ $T_{45}^{/}$ มีหน่วยเป็น $10^{-2}$ นิวตัน (N)

สมการแรง (5.1) ถึง (5.4) จะถูกนำมาหักออกจากแรงยกที่ได้จากการทดสอบในกรณีที่โรเตอร์ติดปีก เพื่อเป็นแรงยกที่เกิดจากการทำงานของโรเตอร์ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้จะถูกใช้วิเคราะห์ผลกับสมรรถนะแรงยกจากการคำนวณต่อไป

**5.2 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะแรงยกที่ได้จากการทดสอบ (Experimental Results, ER) เทียบกับแรงยกที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีเบลดอิลิเมนท์ (BE) และการสูญเสียที่ปลายปีก (TL)**

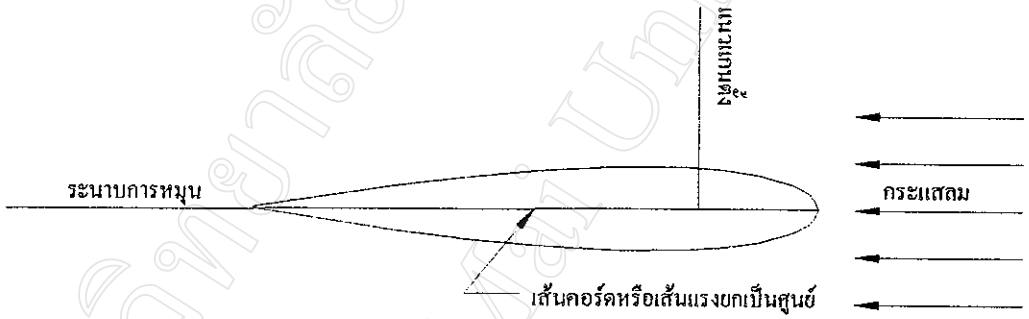
5.2.1 การวิเคราะห์สมรรถนะแรงยกที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณเมื่อเพลาโรเตอร์มีตำแหน่งมุมเอียงที่ศูนย์องศาและตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกที่ศูนย์องศา




รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบแรงจากโรเตอร์และแรงของเพลาและดุมโรเตอร์จากการทดสอบ โดยตั้งมุมพิทช์และมุมเอียงที่ 0 องศา

จากผลการทดสอบพบว่า โรเตอร์ไม่มีการหมุนเมื่อมีกระแสลมไหลผ่านและแรงยกที่เกิดขึ้นของโรเตอร์เมื่อเทียบกับสัญญาณของแรงที่เกิดเนื่องจากมีกระแสลมเข้าปะทะเพลาและ

คุมโรเตอร์ที่ไม่ติดปีกซึ่งแสดงด้วยเส้นแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าเส้นแนวโน้มของแรงทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันและผลต่างของแรงทั้งสองมีค่าน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากที่ตำแหน่งของมุมเอียงและมุมพิทช์ที่ศูนย์องศา กระแสลมมีทิศทางการไหลขนานกับระนาบการหมุนและเส้นคอร์ดของปีกดังแสดงในรูปที่ 5.3 ที่ซึ่งสำหรับภาคตัดปีกแบบสมมาตรแนวเส้นแรงยกเป็นศูนย์ (Zero Lift Line) เป็นเส้นเดียวกับเส้นคอร์ด จึงไม่เกิดมุมปะทะและไม่ก่อให้เกิดแรงยกของปีก แต่ถึงอย่างไรก็เกิดแรงต้านเนื่องจากแรงเสียดทานที่ผิวและความดันที่กระทำกับปีกโดยแรงต้านที่เกิดขึ้น (หรือผลต่างของแรงทั้งสองจากรูปที่ 5.2) ไม่มีแรงที่เพียงพอทำให้โรเตอร์สามารถหมุนได้ ดังนั้นผลของแรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบนี้จึงเป็นเพียงผลกระทบจากแรงต้านแต่ไม่ได้เกิดเนื่องจากการทำงานของโรเตอร์ซึ่งถือว่าไม่มีแรงยกเกิดขึ้นบนโรเตอร์

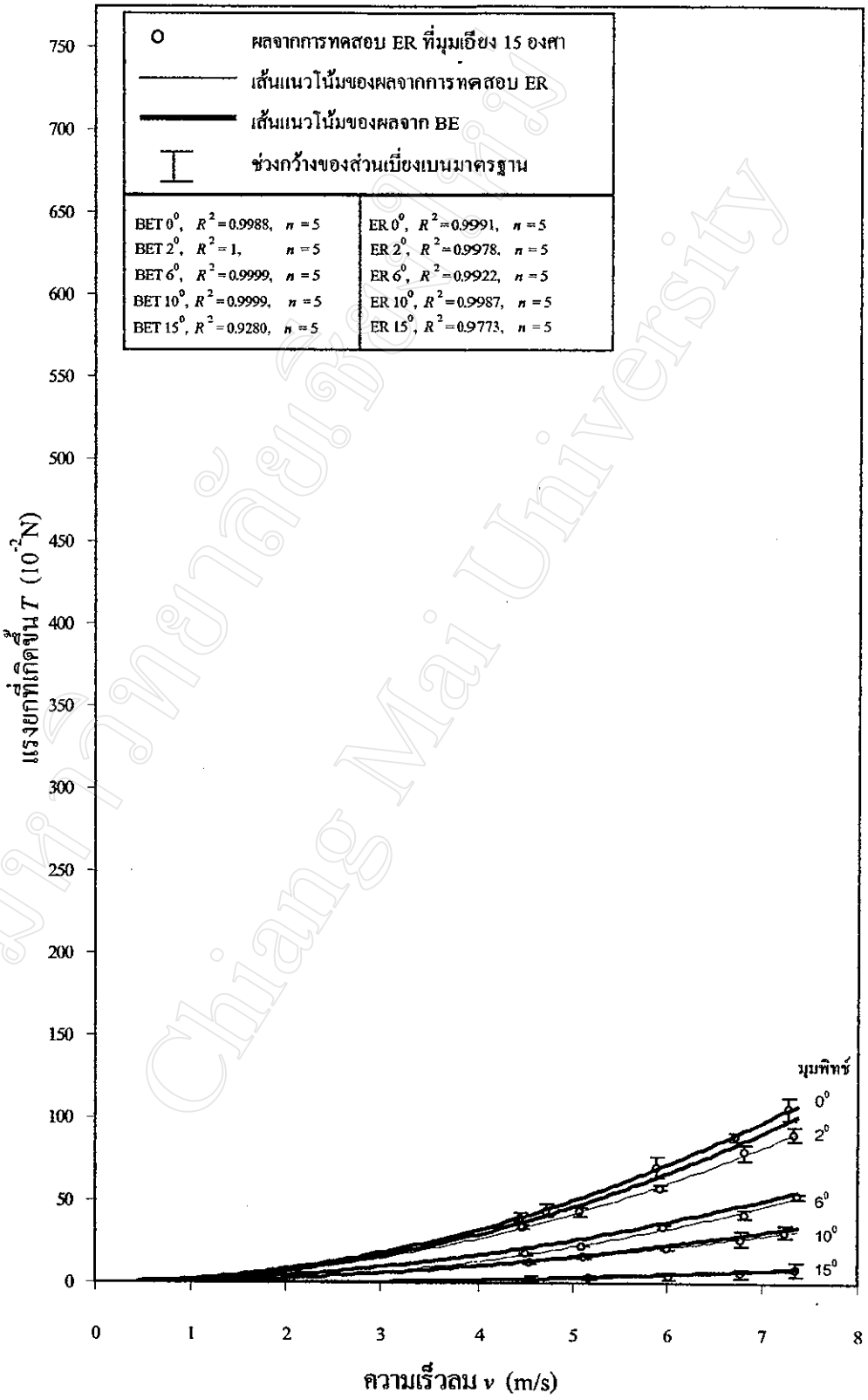



รูปที่ 5.3 ภาพประกอบการทดสอบของภาคตัดปีกสมมาตร NACA 0015 ที่มุมเอียงและมุมพิทช์ $0^0$

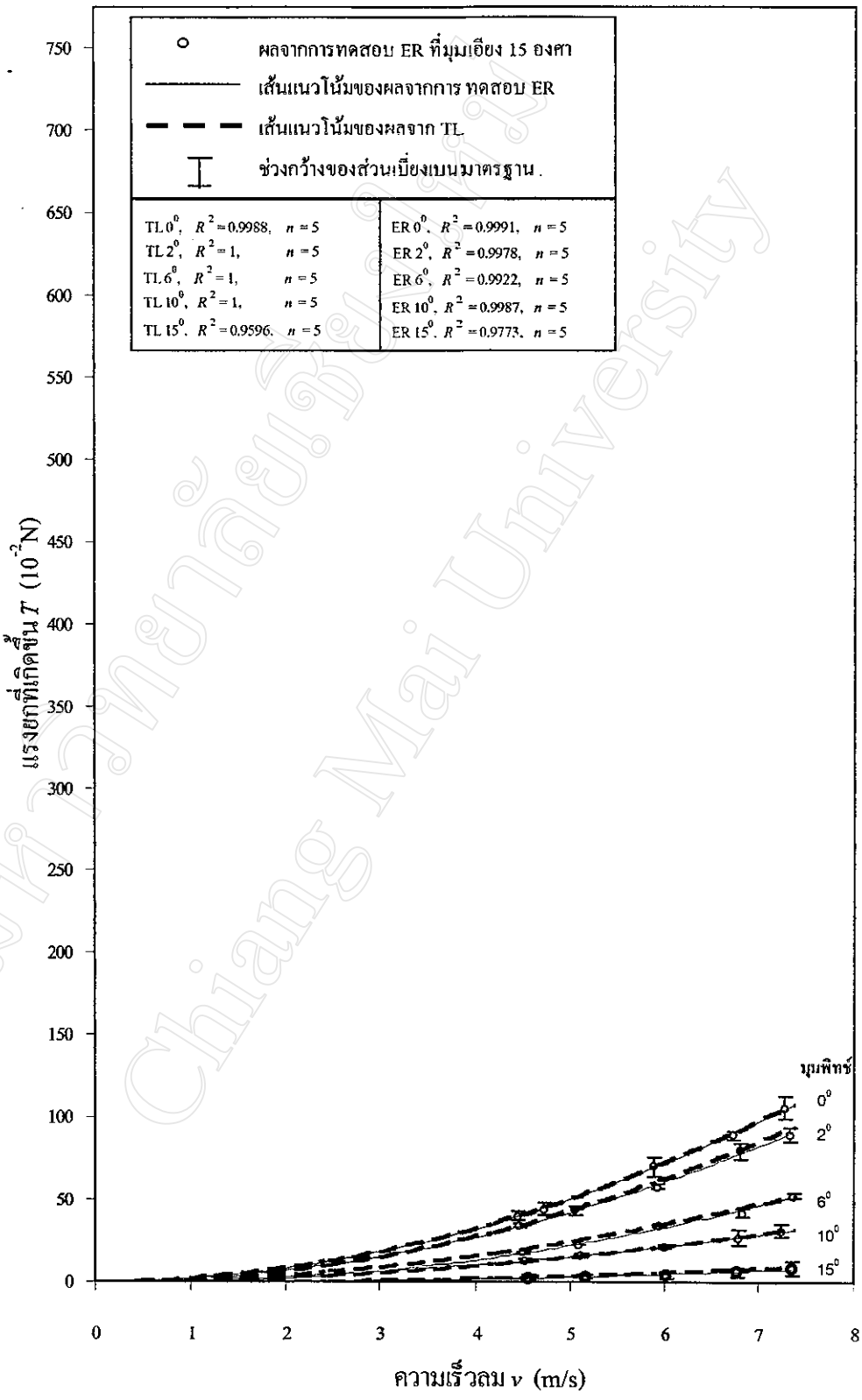
สำหรับผลการคำนวณของแรงยกที่ตำแหน่งมุมเอียงและมุมพิทช์เดียวกันโดยใช้ทฤษฎี BE และ TL พบว่า แรงยกที่ได้จากการคำนวณของทั้งสองทฤษฎีมีค่าเป็นศูนย์นิวตัน ทั้งนี้เป็นเพราะมุมการเอียง ($\delta$) ของเพลามีค่าเป็นศูนย์องศา จึงทำให้ความเร็วลม $v_S$ ($v sin\delta$) มีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน ดังนั้นเมื่อชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรทำมุมเอียงและมุมพิทช์ที่ตำแหน่งศูนย์องศาโรเตอร์จะไม่ก่อให้เกิดแรงยกที่กระแสลมความเร็วไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที

5.2.2 การวิเคราะห์สมรรถนะแรงยกที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณเมื่อเพลาโรเตอร์ทำมุมเอียง 15 30 และ 45 องศากับแนวแกนตั้ง

การทดสอบที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา ได้ผลการวิเคราะห์คือ จากรูปที่ 5.4 แสดงผลการเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มพหุนามกำลังสองของแรงยกจากการทดสอบ (ER) (หรือแรงยกเฉลี่ยของแต่ละความเร็วลมซึ่งจะแสดงด้วยสัญลักษณ์วงกลมโดยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (STDEV) จะแสดงด้วยช่วงความกว้าง) ในช่วงความเร็วลมไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที โดยถูกแสดงด้วยเส้นโค้งบาง และเส้นแนวโน้มของแรงยกเนื่องจากการคำนวณโดยใช้ BE ที่ซึ่งถูกแสดงด้วยเส้นโค้งหนา



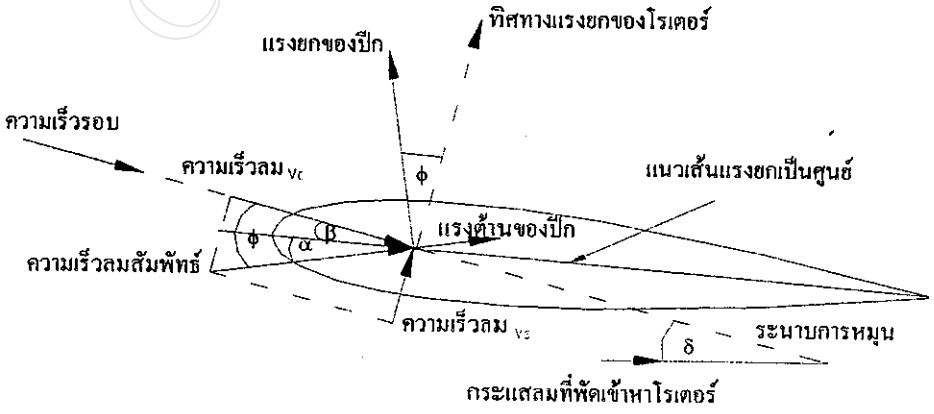

รูปที่ 5.4 กราฟเปรียบเทียบแรงยกโรเตอร์จากการทดสอบ (ER) กับทฤษฎี BE ที่มุมเอียง $15^0$




รูปที่ 5.5 กราฟเปรียบเทียบแรงยกโรเตอร์จากการทดสอบ (ER) กับทฤษฎี TL ที่มุมเอียง $15^0$

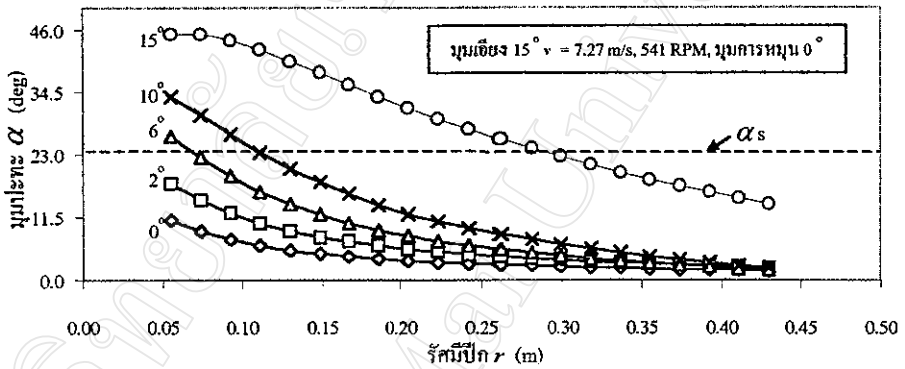
เมื่อพิจารณาผลจากรูปที่ 5.4 พบว่าแรงยกในแนวแกนเพลาที่ได้จากการทดสอบและคำนวณด้วย BE จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นแต่ลดลงเมื่อตำแหน่งมุมพิทช์ของปีก ( $\beta$ ) เพิ่มขึ้นซึ่งผลจากการคำนวณด้วย TL ก็มีลักษณะเช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยที่เส้นแนวโน้มพหุนามกำลังสองของแรงยกจากการคำนวณด้วย TL จะถูกแสดงด้วยเส้นโค้งประหนาทั้งนี้เป็นเพราะการเอียงมุมของเพลา ( $\delta$ ) ทำให้โรเตอร์สามารถดึงพลังงานจากพื้นที่ที่ถูกกระแสลมเข้าปะทะซึ่งสามารถพิจารณาความเร็วของกระแสลมที่เข้าปะทะออกได้เป็นสองทิศทางการไหลคือ ความเร็วลม $v_S$ และ $v_C$ จึงทำให้เกิดความเร็วสัมพัทธ์ มุมการไหล ( $\phi$ ) และมุมปะทะ ( $\alpha$ ) ขึ้นบนภาคตัดปีกดังแสดงในรูปที่ 5.6 ส่งผลให้ปีกเกิดแรงยกและแรงต้านขึ้น โดยแรงลัพธ์ที่มีทิศขนานกับระนาบการหมุนจะเหนี่ยวนำให้โรเตอร์สามารถหมุนและแรงลัพธ์ที่มีทิศตั้งฉากกับระนาบการหมุนหรือแรงยกในแนวแกนเพลาโรเตอร์จะสามารถทำให้โรเตอร์ยกตัวขึ้น สำหรับกระแสลมเมื่อมีความเร็วเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้โรเตอร์มีแรงยกเพิ่มขึ้น

สำหรับผลจากการแปรค่ามุมพิทช์ของปีกพบว่า มุมพิทช์ที่ตำแหน่งศูนย์องศาให้แรงยกดีที่สุดตลอดช่วงความเร็วลมในการทดสอบที่ไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที แต่เมื่อมุมพิทช์มีตำแหน่งสูงขึ้นจะทำให้แรงยกลดลงโดยมุมพิทช์ที่ตำแหน่ง 6 10 และ 15 องศา มีแนวโน้มของแรงยกที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับที่ตำแหน่งศูนย์องศา ทั้งนี้เป็นเพราะมุมปะทะที่เกิดขึ้นในบางตำบลของรัศมีปีกเข้าสู่จุดร่วงหล่นหรือเกิดมุมปะทะ $\alpha_S$ เมื่อตำแหน่งของมุมพิทช์สูงขึ้นซึ่งส่งผลทำให้การไหลที่เป็นแนวกระแสอากาศ (Streamline) เดิมเสียไปเกิดเป็นการไหลปั่นป่วน (Turbulent) ทำให้ขอบเขตของแนวกระแสอากาศแยกห่างออกไปเรียกว่าเกิดการไหลเป็นแบบแยกชั้น และเมื่อมีค่ามุมปะทะ $\alpha_S$ มากขึ้นก็ก่อให้เกิดการไหลแบบแยกชั้นมากขึ้นจะทำให้เกิดแรงต้านขึ้นอย่างมากแต่ส่งผลต่อการลดลงของผลต่างความดันระหว่างผิวบนและผิวล่างของปีกทำให้แรงยกลดลงตามไปด้วย สำหรับภาคตัดปีก NACA 0015 เกิดจุดร่วงหล่นเมื่อมุมปะทะมีตำแหน่งประมาณที่ 23 องศา




รูปที่ 5.6 แสดงความเร็วสัมพัทธ์ มุมการไหล ( $\phi$ ) และมุมปะทะ ( $\alpha$ ) ที่เกิดขึ้นบนภาคตัดปีก

จากการทดสอบวิเคราะห์ไว้ว่าแรงยกโรเตอร์ลดลงเมื่อมุมพิทช์เพิ่มขึ้นเนื่องจากบางตำบลของปีกเกิดมุมปะทะ $\alpha_s$ ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการเกิดจุดร่วงหล่นว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมุมพิทช์เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นรูปตัวอย่างจากการคำนวณด้วยโปรแกรมที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา ตำแหน่งมุมการหมุน ($\theta$) 0 องศา เมื่อมีกระแสลมความเร็ว 7.27 เมตรต่อวินาทีพัดเข้าหาโดยแปรค่าตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกที่ตำแหน่ง 0 2 6 10 และ 15 องศาจากการคำนวณด้วย BE พบว่า ที่ตำแหน่งมุมพิทช์ 6 องศา จะเริ่มเกิดจุดร่วงหล่นโดยเริ่มก่อตัวที่บริเวณใกล้ดุมโรเตอร์และเมื่อมุมพิทช์ถูกปรับตำแหน่งเพิ่มเป็น 10 องศา และ 15 องศา การเกิดจุดร่วงหล่นมีการขยายตัวเข้าใกล้ปลายปีกมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะที่ตำแหน่ง 15 องศา



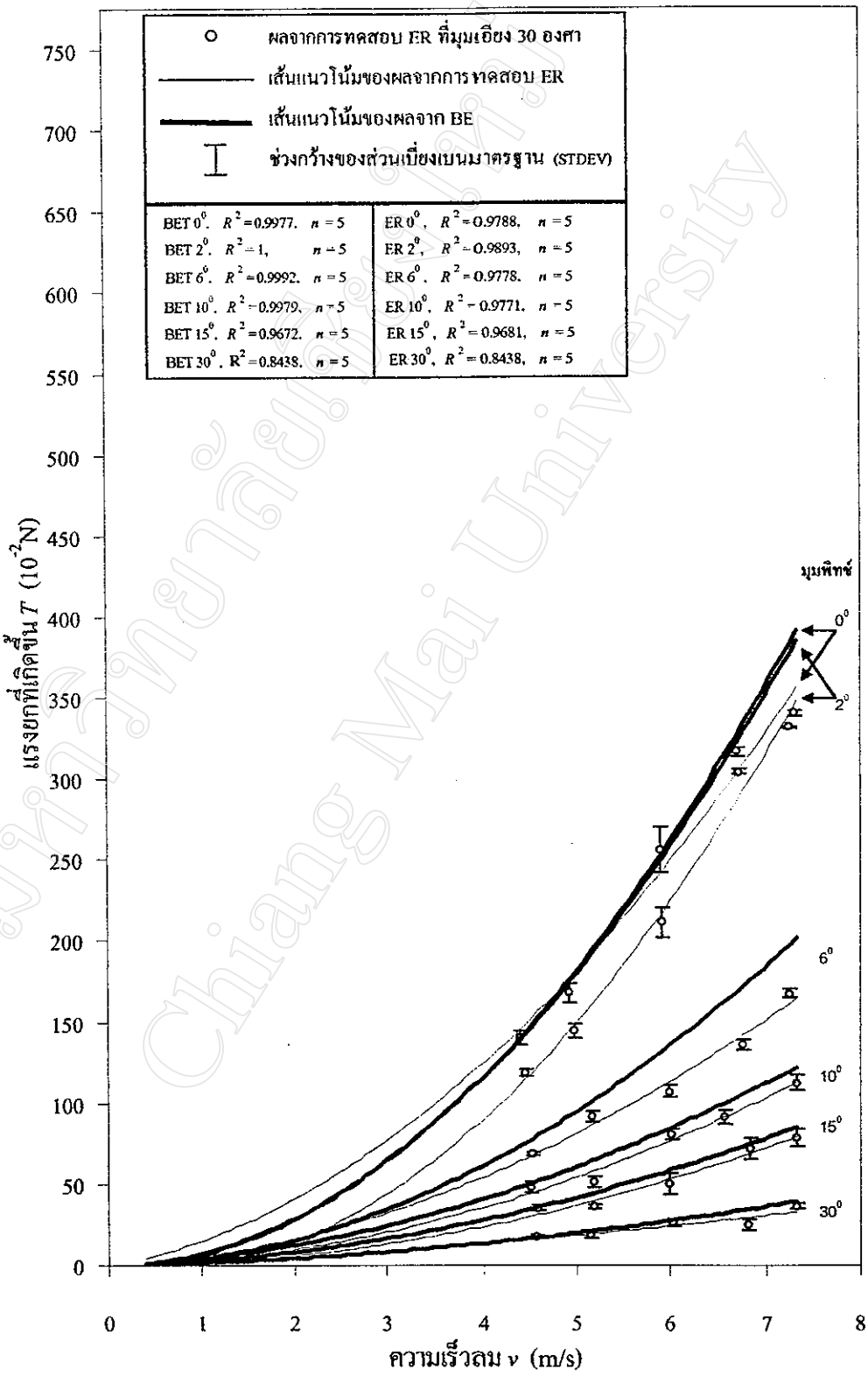

รูปที่ 5.7 ผลตัวอย่างของมุมปะทะที่เกิดขึ้นที่มุมพิทช์ 0 2 6 10 และ 15 องศา เมื่อโรเตอร์เอียงทำมุม 15 องศากับแนวแกนตั้งและมีความเร็วลม 7.27 เมตรต่อวินาที พัดเข้าหาโรเตอร์ โดยใช้ทฤษฎี BE

สำหรับสมรรถนะแรงยกที่ได้จากการคำนวณด้วย BE และ TL เมื่อเทียบกับแรงยกจากการทดสอบที่สภาวะเดียวกันด้วยเส้นแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 5.4 และ 5.5 พบว่า แรงยกที่ได้จากการทดสอบของแต่ละมุมพิทช์มีแนวโน้มต่ำกว่าผลของการคำนวณทางทฤษฎีและความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งมุมพิทช์ 0 2 6 10 และ 15 องศา ตลอดช่วงความเร็วในการทดสอบที่ไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที โดยนำผลของแรงยกที่ได้จากการคำนวณด้วย

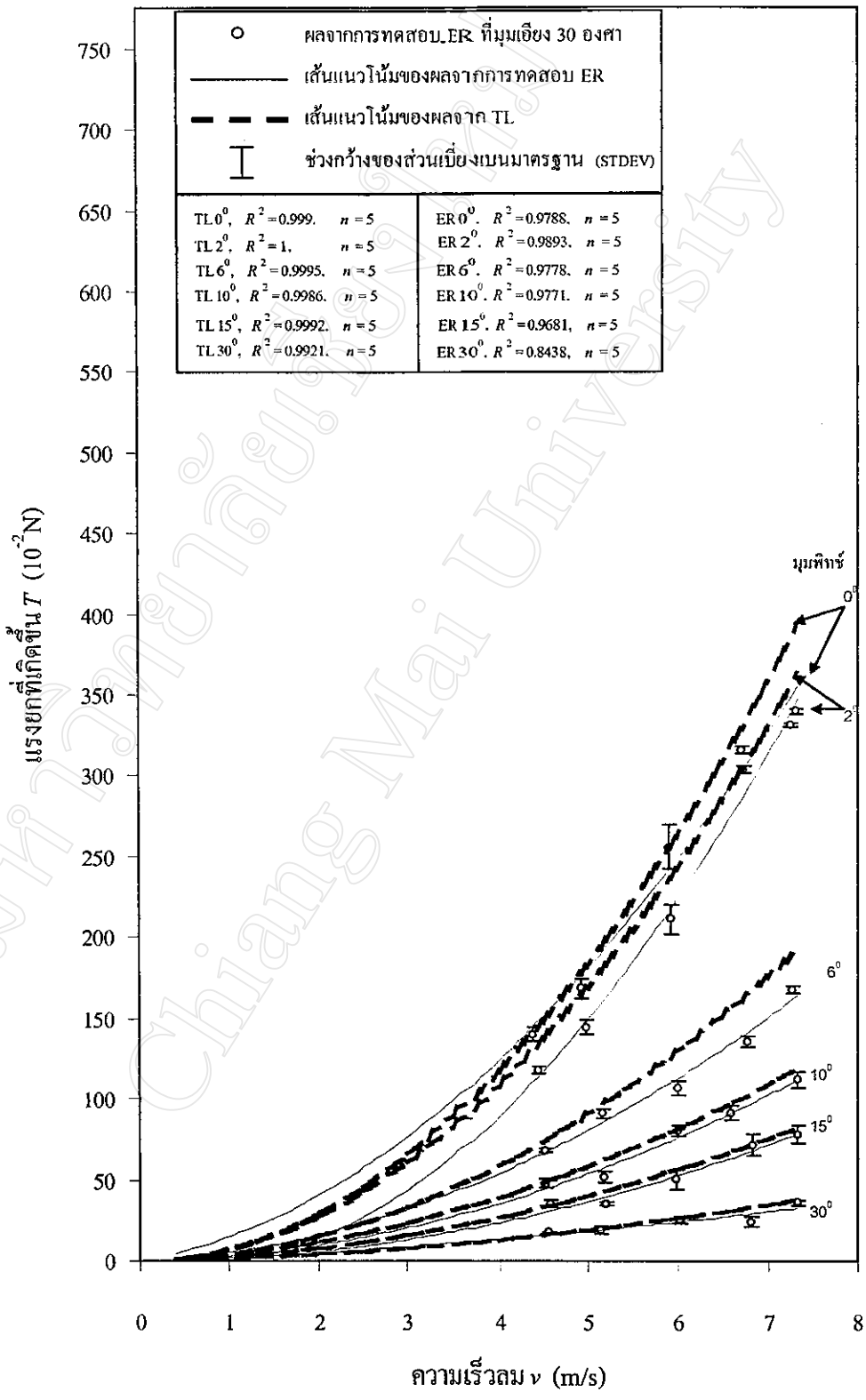
BE เทียบกับการทดสอบคือ 1.01 9.61 13.03 4.37 และ 6.83 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยรวมคือ 6.97 เปอร์เซ็นต์

TL เทียบกับการทดสอบคือ 1.27 2.41 6.71 2.07 และ 16.54 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยรวมคือ 5.80 เปอร์เซ็นต์

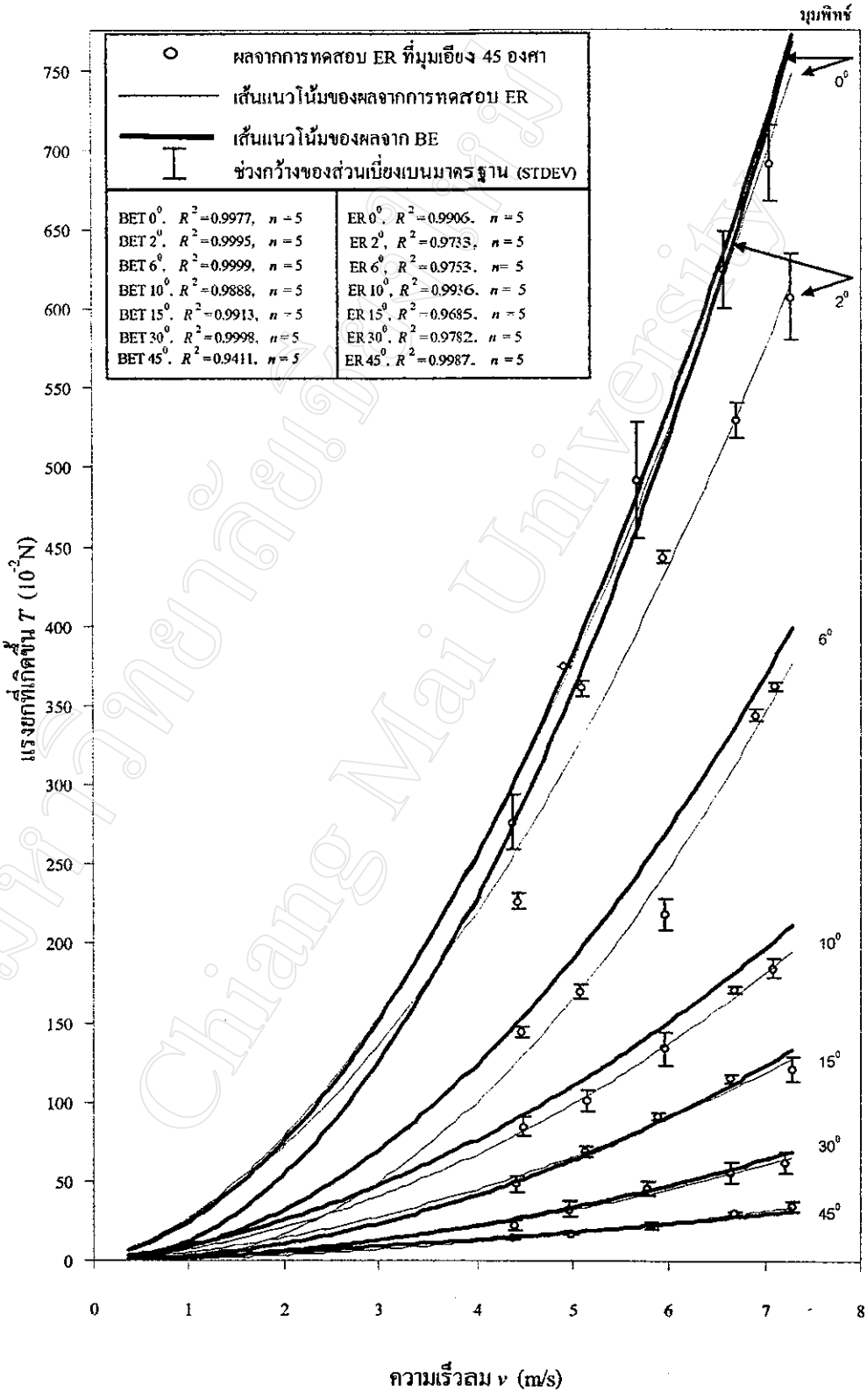
สำหรับผลของแรงยกทั้งที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณโดยใช้ทฤษฎี BE และ TL ที่ตำแหน่งมุมเอียง 30 และ 45 องศา จะถูกแสดงในรูปที่ 5.8 ถึง 5.11



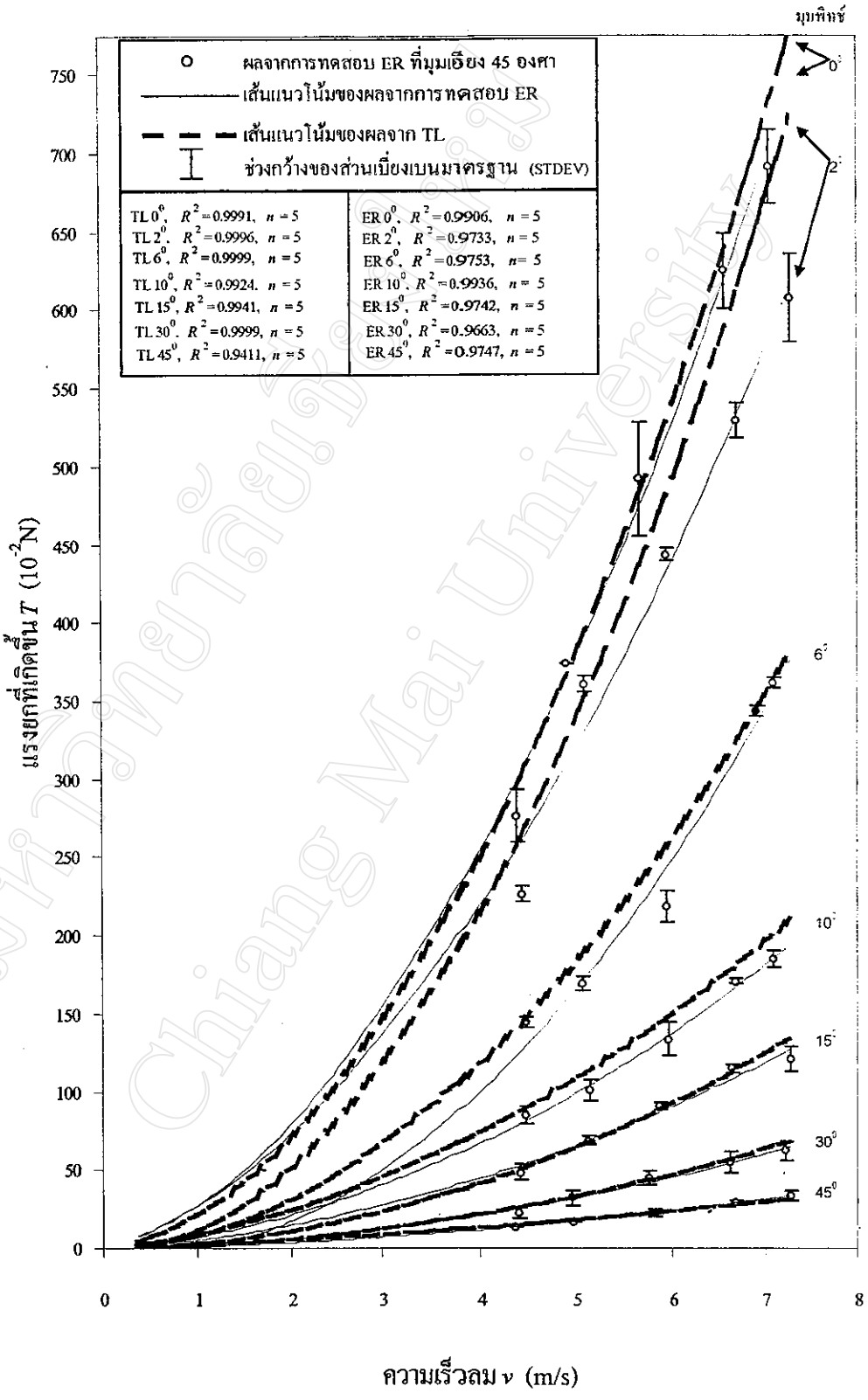

รูปที่ 5.8 กราฟเปรียบเทียบแรงยกโรเตอร์จากการทดสอบ (ER) กับทฤษฎี BE ที่มุมเอียง $30^0$




รูปที่ 5.9 กราฟเปรียบเทียบแรงยกโรเตอร์จากการทดสอบ (ER) กับทฤษฎี TL ที่มุมเอียง $30^0$




รูปที่ 5.10 กราฟเปรียบเทียบแรงยกโรเตอร์จากการทดสอบ (ER) กับทฤษฎี BE ที่มุมเอียง $45^0$




รูปที่ 5.11 กราฟเปรียบเทียบแรงยกโรเตอร์จากการทดสอบ (ER) กับทฤษฎี TL ที่มุมเอียง $45^0$

โดยรูปที่ 5.8 และ 5.9 เป็นรูปแสดงการเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มพหุนามกำลังสองของแรงยกในแนวแกนเพลาโรเตอร์จากการทดสอบที่ตำแหน่งมุมเอียง 30 องศา กับแรงยกที่ได้จากการคำนวณด้วย BE และ TL จากรูปพบว่าแรงยกจากการทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแรงยกที่คำนวณด้วย BE และ TL คือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของกระแสลมเพิ่มขึ้นและมีค่าลดลงเมื่อตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกเพิ่มขึ้นโดยมุมพิทช์ที่ตำแหน่งศูนย์องศาให้แรงยกสูงสุด สำหรับความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่งมุมพิทช์ 0 2 6 10 15 และ 30 องศา ตลอดช่วงความเร็วในการทดสอบที่ไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที โดยนำผลของแรงยกที่ได้จากการคำนวณด้วย

BE เทียบกับการทดสอบคือ 4.32 16.74 19.12 10.92 10.76 และ 13.04 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยรวมคือ 12.48 เปอร์เซ็นต์

TL เทียบกับการทดสอบคือ 4.96 9.94 13.95 7.26 7.99 และ 9.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยรวมคือ 8.88 เปอร์เซ็นต์

สำหรับรูปที่ 5.10 และ 5.11 เป็นรูปแสดงการเปรียบเทียบเส้นแนวโน้มพหุนามกำลังสองของแรงยกในแนวแกนเพลาโรเตอร์จากการทดสอบที่ตำแหน่งมุมเอียง 45 องศา กับแรงยกที่ได้จากการคำนวณด้วย BE และ TL จากรูปพบว่าแรงยกจากการทดสอบมีแนวโน้มเช่นเดียวกับแรงยกที่คำนวณด้วย BE และ TL คือ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของกระแสลมเพิ่มขึ้นและมีค่าลดลงเมื่อตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกเพิ่มขึ้นโดยมุมพิทช์ที่ตำแหน่งศูนย์องศาให้แรงยกสูงสุด สำหรับความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของตำแหน่งมุมพิทช์ 0 2 6 10 15 30 และ 45 องศา ตลอดช่วงความเร็วในการทดสอบที่ไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที โดยนำผลของแรงยกที่ได้จากการคำนวณด้วย

BE เทียบกับการทดสอบคือ 3.96 18.09 10.89 9.82 3.63 6.70 และ 9.63 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยรวมคือ 8.96 เปอร์เซ็นต์

TL เทียบกับการทดสอบคือ 3.78 12.46 6.08 8.59 3.88 5.89 และ 8.43 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยโดยรวมคือ 7.02 เปอร์เซ็นต์

จากการเปลี่ยนตำแหน่งมุมเอียงของเพลาพบว่า เมื่อตำแหน่งมุมเอียงเพิ่มขึ้นโรเตอร์สามารถดึงพลังงานและให้แรงยกในแนวแกนเพลาได้เพิ่มขึ้น เพราะที่มุมเอียง 45 องศา แรงยกที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ที่ตำแหน่งมุมพิทช์และความเร็วลมเดียวกันมีแนวโน้มสูงกว่าที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 และ 30 องศา ทั้งจากการทดสอบและคำนวณโดยที่มุมเอียง 15 องศา ให้ค่าแรงยกน้อยสุดแต่แนวโน้มของแรงยกในแนวแกนเพลาจากทั้งสามตำแหน่งมุมเอียงมีความสอดคล้องกันคือ แรงยกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นและมุมพิทช์ที่ตำแหน่งศูนย์องศาให้แรงยกในแนวแกนเพลาดีที่สุด จากขนาดของแรงยกในแนวแกนเพลาเพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่ระบุถึงตำแหน่งมุมเอียงที่เหมาะสมจึงได้ทำการตรวจสอบเพื่อหาตำแหน่งมุมเอียงที่เหมาะสมโดยจะกล่าวถึงต่อไป

สำหรับความคลาดเคลื่อนของแรงยกที่ได้จากการคำนวณทางโปรแกรมเทียบกับการทดสอบเมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่า การคำนวณจาก BE มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ และจาก TL มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 9 เปอร์เซ็นต์ เป็นเพราะสาเหตุดังนี้คือ

ก. ปีกที่ใช้งานจริงเป็นปีกที่มีรัศมีจำกัดค่าหนึ่งหรือกล่าวว่าเป็นปีกแบบสามมิติที่มีปลายปีกอยู่ในกระแสของการไหล ดังนั้นจึงได้รับอิทธิพลจากการสูญเสียที่ปลายปีกและพบว่าแรงยกจากการคำนวณด้วย TL มีสมรรถนะแรงยกที่ดีกว่าแรงยกจากการคำนวณด้วย BE เมื่อเทียบกับแรงยกที่ได้จากการทดสอบ

ข. ความไม่สมบูรณ์ของภาคตัดปีกที่ใช้ทดสอบ (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) เพราะในความเป็นจริงการสร้างปีกนั้นเป็นไปได้ยากที่จะมีภาคตัดปีกเหมือนเช่นกับทฤษฎีและสม่ำเสมอตลอดความยาวปีก ซึ่งผลกระทบจากสาเหตุนี้มีผลต่อสัมประสิทธิ์แรงยกและสัมประสิทธิ์แรงต้านจากค่าทางทฤษฎีในคู่มือของ Rice (1971) และมีผลกระทบมากยิ่งขึ้นเมื่อปีกมีรัศมีหรือคอร์ดเพิ่มขึ้น

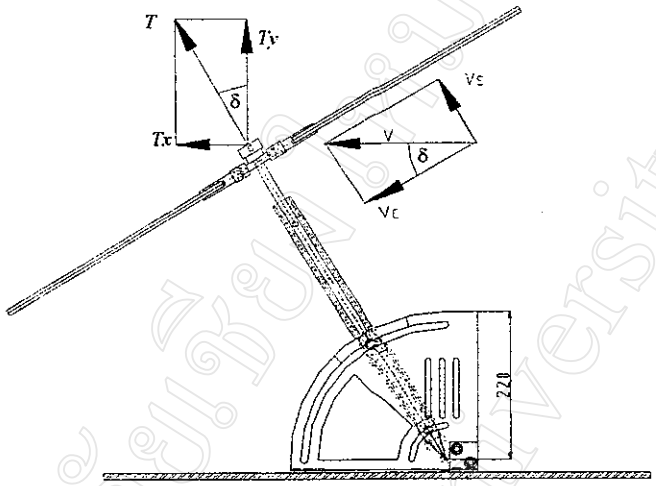
สำหรับภาคตัดปีกที่ใช้ในการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนจากภาคตัดปีก NACA 0015 ของ Rice (1971) ประมาณ 3.7 เปอร์เซ็นต์

ค. และที่สำคัญคือการแทนค่าความเร็วลม ความเร็วรอบ และความหนาแน่นในรูปของค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อน เพราะนอกจากการปัดเศษแล้วตัวแปรทั้งสามยังมีค่าคงที่ตลอดการคำนวณแต่ขณะที่ทำการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

อย่างไรก็ตามจากผลของความคลาดเคลื่อนโดยรวมของ BE และ TL จะถือได้ว่าโปรแกรมการคำนวณโดยใช้ทฤษฎี BE และ TL สามารถประมาณค่าแรงยกในแนวแกนเพลาของโรเตอร์ในสภาวะออโต้ไจโรได้ และแรงยกจาก TL จะมีค่าที่ใกล้เคียงผลการทดสอบมากกว่า BE แต่การนำโปรแกรมไปใช้งานต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าโรเตอร์ประกอบด้วยปีก 2 ใบ เป็นแบบสมมาตร NACA 0015 ที่มีคอร์ดและมุมพิทช์คงที่โดยที่ความเร็วลมจะไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาที และมีอัตราส่วนสนทรรศ 6.25 ทั้งนี้ยังต้องทราบความเร็วรอบที่แน่นอนด้วยและถ้าหากนำไปใช้โดยอยู่นอกเหนือจากเงื่อนไขที่ว่านี้ค่าความน่าเชื่อถืออาจเปลี่ยนไปจากที่ได้กล่าวไว้

สำหรับในการหาตำแหน่งมุมเอียงที่เหมาะสมที่ใช้ในการติดตั้งชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโรนอกจากคำนึงถึงแรงยกตัวในแนวแกนตั้งแล้วยังต้องพิจารณาถึงแรงที่ใช้ในการขับดันเครื่องให้เคลื่อนที่เพื่อชนะแรงต้านในแนวระดับด้วย ซึ่งแรงยกตัวในแนวแกนตั้งและแรงต้านในแนวระดับสามารถหาได้โดยการแตกแรงยกในแนวแกนเพลาไปในทิศตั้งฉาก ($T_y = T\cos\delta$) และขนานกับแนวระดับ ($T_x = T\sin\delta$) ดังแสดงในรูปที่ 5.12 จากผลของแรงยกในแนวแกนเพลาที่ได้จากการทดสอบซึ่งได้กล่าวผ่านมาข้างต้นทำให้ทราบว่า ที่ตำแหน่งมุมพิทช์ศูนย์องศาเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดเมื่อเพลาโรเตอร์ทำมุมเอียงกับแนวแกนตั้ง ดังนั้นตำแหน่งมุมเอียงที่เหมาะสมจะพิจารณา

จากเส้นแนวโน้มพหุนามกำลังสองของแรงยกที่ได้จากการทดสอบที่มุมพิทช์ศูนย์องศาจากตำแหน่งของมุมเอียงทั้งสามมุม (15 30 และ 45 องศา) โดยที่เส้นแนวโน้มทั้งสามมีรูปแบบสมการดังต่อไปนี้




รูปที่ 5.12 แรงยกตัวในแนวแกนตั้งและแรงต้านในแนวระดับที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์

สมการแรงยกพหุนามกำลังสองที่แปรผันกับความเร็วลมในช่วงไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาทีของมุมพิทช์ศูนย์องศา ที่มุมเอียง 15 องศา ($T_{0/15}$) มีค่า $R^2 = 0.9991$ จากจำนวนข้อมูล 5 ข้อมูล โดยที่เมื่อเปรียบเทียบแรงยกที่ได้จากสมการกับแรงยกที่เกิดขึ้นมีความคลาดเคลื่อน 13.90 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย มีรูปแบบสมการคือ

$$T_{0/15} = 1.9935v^2 - 0.0004v \qquad \text{.....(5.5)}$$

สมการแรงยกพหุนามกำลังสองที่แปรผันกับความเร็วลมในช่วงไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาทีของมุมพิทช์ศูนย์องศา ที่มุมเอียง 30 องศา ($T_{0/30}$) มีค่า $R^2 = 0.9788$ จากจำนวนข้อมูล 5 ข้อมูล โดยที่เมื่อเปรียบเทียบแรงยกที่ได้จากสมการกับแรงยกที่เกิดขึ้นมีความคลาดเคลื่อน 4.50 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย มีรูปแบบสมการคือ

$$T_{0/30} = 5.3036v^2 + 9.6862v \qquad \text{.....(5.6)}$$

สมการแรงยกพหุนามกำลังสองที่แปรผันกับความเร็วลมในช่วงไม่เกิน 8 เมตรต่อวินาทีของมุมพิทช์ศูนย์องศา ที่มุมเอียง 45 องศา ($T_{0/45}$) มีค่า $R^2 = 0.9906$ จากจำนวนข้อมูล 5 ข้อมูล โดยที่เมื่อเปรียบเทียบแรงยกที่ได้จากสมการกับแรงยกที่เกิดขึ้นมีความคลาดเคลื่อน 3.36 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย มีรูปแบบสมการคือ

$$T_{0/45} = 12.034v^2 + 15.226v \qquad \text{.....(5.7)}$$

จากทั้งสามสมการเมื่อแทนค่าด้วยความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที ผลลัพธ์ของแรงยกตัว $T_y$ และแรงต้านในการเคลื่อนที่ $T_x$ ที่เกิดขึ้นคือ

$$\left.\begin{array}{l} T_{0/15}=97.68 \\ T_{0/30}=327.68 \\ T_{0/45}=696.25 \end{array}\right\} \quad \begin{array}{llll} T_{0/15y}=94.35 & T_{0/15x}=25.28 & T_{y/x}=3.73 \\ T_{0/30y}=283.78 & T_{0/30x}=163.84 & T_{y/x}=1.73 \\ T_{0/45y}=492.32 & T_{0/45x}=492.32 & T_{y/x}=1.00 \end{array}$$

โดยมีหน่วยเป็น $10^{-2}$ นิวตัน ($10^{-2}$N) พบว่าที่มุมเอียง 45 องศา มีค่าแรงยกตัวสูงสุดแต่ก็มีแรงต้านในการเคลื่อนที่สูงสุดด้วย สำหรับที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา พบว่า แรงยกตัวเกิดขึ้นน้อยที่สุดแต่ก็มีแรงต้านในการเคลื่อนที่น้อยที่สุดเช่นกัน

ดังนั้นเมื่อพิจารณากลับว่า ต้องการแรงยกตัว $T_y$ ที่ $492.32 \times 10^{-2}$ นิวตัน โดยที่ขนาดของความเร็วลมที่ต้องการให้ไหลเข้าหาจานโรเตอร์และแรงต้านในการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเมื่อเพลาโรเตอร์ทำมุมเอียง 15 30 และ 45 องศาคือ

$$\begin{array}{llll} v_{0/15}=16.89 & v_{0/30}=9.48 & v_{0/45}=7 & \text{เมตรต่อวินาที} \\ T_{0/15x}=131.92 & T_{0/30x}=284.24 & T_{0/45x}=492.32 & 10^{-2}\ \text{นิวตัน} \end{array}$$

ความเร็วที่ต้องการที่มุมเอียง 15 องศามีความเร็วที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับที่มุมเอียง 30 และ 45 องศา แต่ความเร็วที่ต้องการที่มุมเอียง 30 และ 45 องศา จะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับแรงต้านในการเคลื่อนที่จะพบว่าที่มุมเอียง 45 องศา มีแรงต้านสูงกว่าที่มุมเอียง 15 และ 30 องศา คือ 4 และ 2 เท่าโดยประมาณ และเมื่อลดแรงยกตัว $T_y$ ให้เหลือ $179.21 \times 10^{-2}$ นิวตัน พบว่า

$$\begin{array}{llll} v_{0/15}=9.48 & v_{0/30}=4.97 & v_{0/45}=4 & \text{เมตรต่อวินาที} \\ T_{0/15x}=48.02 & T_{0/30x}=103.47 & T_{0/45x}=179.21 & 10^{-2}\ \text{นิวตัน} \end{array}$$

ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่กล่าวผ่านมา ดังนั้นสามารถคาดคะเนตำแหน่งของมุมเอียงที่เหมาะสมสำหรับโรเตอร์ออโต้ไจโรนั้นควรจะอยู่ในช่วงไม่ควรเกิน 30 องศา เพราะสำหรับแรงยกตัวที่เท่ากันที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 และ 30 องศา จะเกิดแรงต้านในการเคลื่อนที่ที่มีค่าไม่สูงเกินไปเหมือนเช่นที่มุมเอียง 45 องศา ซึ่งจะมีผลต่อขนาดและน้ำหนักของเครื่องยนต์ที่ใช้ขับเคลื่อน และตำแหน่งของมุมเอียงยังควรอยู่ในช่วงไม่น้อยกว่า 15 องศา เพราะถ้าหากอยู่ในสภาวะที่กระแสลมมีความเร็วที่ไม่สูงมากนัก แรงยกตัวที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์อาจมีขนาดไม่เพียงพอที่จะเอาชนะแรงโน้มถ่วงของโลกได้

**5.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงยก ($C_T$) อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก ($\lambda$) มุมเอียง และมุมพิทช์ ($\beta$) จากผลการทดสอบของชุดแท่นทดสอบโรเตอร์ออโต้ไจโร**

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกและความเร็วลมโดยทั่วไปจะจัดให้อยู่ในรูปไร้หน่วย นั่นก็คือเปลี่ยนแรงยกให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์แรงยก และความเร็วลมให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกคืออัตราส่วนของความเร็วรอบต่อความเร็วลม $v_S$ หรือ $\lambda$ ซึ่งมีรูปแบบสมการคือ (Lysen, 1982)

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_S} \qquad \text{.....(5.8)}$$

โดยที่ $R$ คือ รัศมีของโรเตอร์ ในที่นี้คือ 0.43 เมตร

$v_S$ คือ ความเร็วลมที่ผ่านหน้าตัดของโรเตอร์หรือ $v\sin\delta$ มีหน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

ส่วนสัมประสิทธิ์แรงยกคืออัตราส่วนของแรงยกต่อโมเมนตัมของอากาศที่ผ่านหน้าตัดของโรเตอร์ หรือ $C_T$ ซึ่งมีรูปแบบสมการคือ (Lysen, 1982)

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho A v_S^2} \qquad \text{.....(5.9)}$$

โดยที่ $T$ คือ แรงยกใดๆที่เกิดขึ้นจากโรเตอร์มีหน่วยนิวตัน (N)

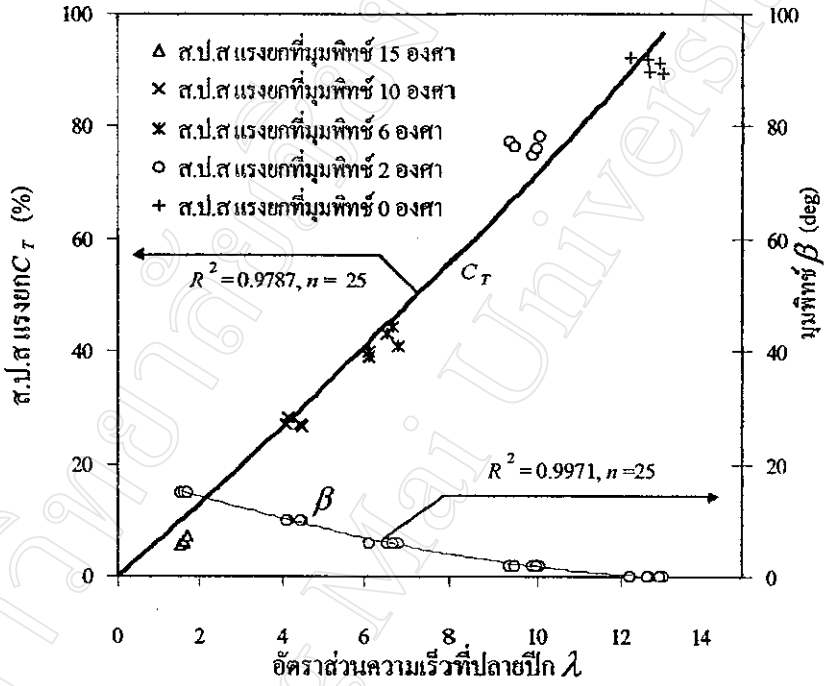
$\rho$ คือ ความหนาแน่นของอากาศในห้องทดสอบซึ่งในที่นี้คือค่า 1.148 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($kg/m^3$)

$A$ คือ พื้นที่หน้าตัดของโรเตอร์ซึ่งในที่นี้คือค่า 0.5714 ตารางเมตร ($m^2$)

เมื่อพิจารณผลที่ได้จากการทดสอบชุดแท่นทดสอบให้อยู่ในรูปไร้หน่วยด้วยการแทนค่าตัวแปรที่ทราบลงในสมการ (5.8) และ (5.9) จากนั้นนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสาม ($C_T$ $\lambda$ และ $\beta$) จะได้ผลดังลำดับต่อไปนี้

จากรูปที่ 5.13 เป็นผลจากการทดสอบที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา พบว่าเมื่อความเร็วลมที่ไหลผ่านโรเตอร์เปลี่ยนไปค่าของอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกของแต่ละมุมพิทช์มีการกระจายที่ใกล้เคียงกันและสัมประสิทธิ์แรงยกที่เกิดขึ้นก็มีค่าที่ใกล้เคียงเช่นกัน แต่ถ้าตำแหน่งของมุมพิทช์ลดลงจะมีผลทำให้อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกและสัมประสิทธิ์แรงยกมีค่าเพิ่มขึ้นโดยที่ลักษณะ

การกระจายของทั้งสองยังคงใกล้เคียงกันเช่นเดิม ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าในช่วงความเร็วต่ำหากปล่อยให้โรเตอร์หมุนอย่างอิสระในขณะที่มีกระแสลมไหลผ่าน อัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกและสัมประสิทธิ์แรงยกจะขึ้นอยู่กับการปรับมุมพิทช์เท่านั้น ดังนั้นเมื่อนำค่าที่ได้จากทั้งสามตัวแปรมาจัดให้อยู่ในรูปของสมการความสัมพันธ์ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังแสดงต่อไปนี้




รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและมุมพิทช์เทียบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก ที่มุมเอียง $15^0$

สมการความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกหาได้จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนามอันดับสอง จะได้สมการพหุนามที่มีค่า $R^2 = 0.9787$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 25 ค่า ความสมบูรณ์ใช้ได้ที่ $\lambda \leq 15$ โดยมีรูปของสมการคือ

$$C_T = 0.0882\lambda^2 + 6.2727\lambda \qquad \text{.....(5.10)}$$

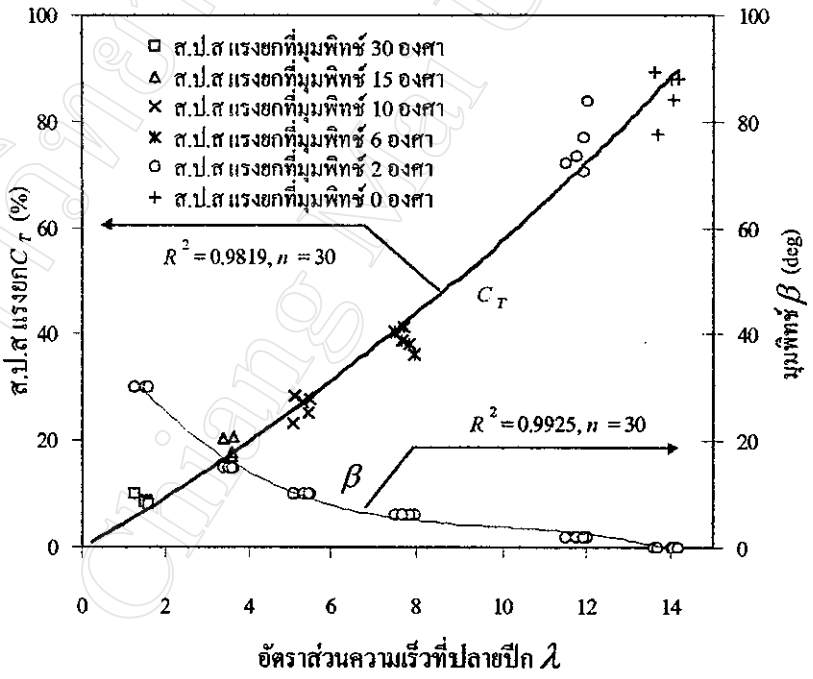
โดยที่เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากสมการ (5.10) เทียบกับสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากข้อมูลพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 18.72 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

และสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุมพิทช์ $\beta$ กับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกหาได้จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนามอันดับสาม จะได้สมการพหุนามที่มีค่า $R^2 = 0.9971$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 25 ค่า ความสมบูรณ์ใช้ได้ที่ $\lambda \leq 15$ โดยมีรูปของสมการคือ

$$\beta = 0.003\lambda^3 + 0.0127\lambda^2 - 2.091\lambda + 18.3 \quad \text{.....(5.11)}$$

โดยที่เมื่อนำมุมพิทช์ที่ได้จากสมการ (5.11) เทียบกับมุมพิทช์ที่ได้จากข้อมูลพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 6.03 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ยกเว้นกรณีที่มุมที่ได้น้อยกว่าหนึ่งองศา ($< 1^\circ$) ให้คิดเป็น $0^\circ$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสามที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งมุมเอียง 30 และ 45 องศา ดังแสดงในรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะพบว่า ผลที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับการผลที่ได้จากที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา




รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและมุมพิทช์เทียบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก ที่มุมเอียง $30^0$

จากรูปที่ 5.14 สมการความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกที่มุมเอียง 30 องศา หาได้จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนามอันดับสองจะได้สมการ

พหุนามที่มีค่า $R^2 = 0.9819$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 30 ค่า ความสมบูรณ์ใช้ได้ที่ $\lambda \leq 15$ โดยมีรูปของสมการคือ

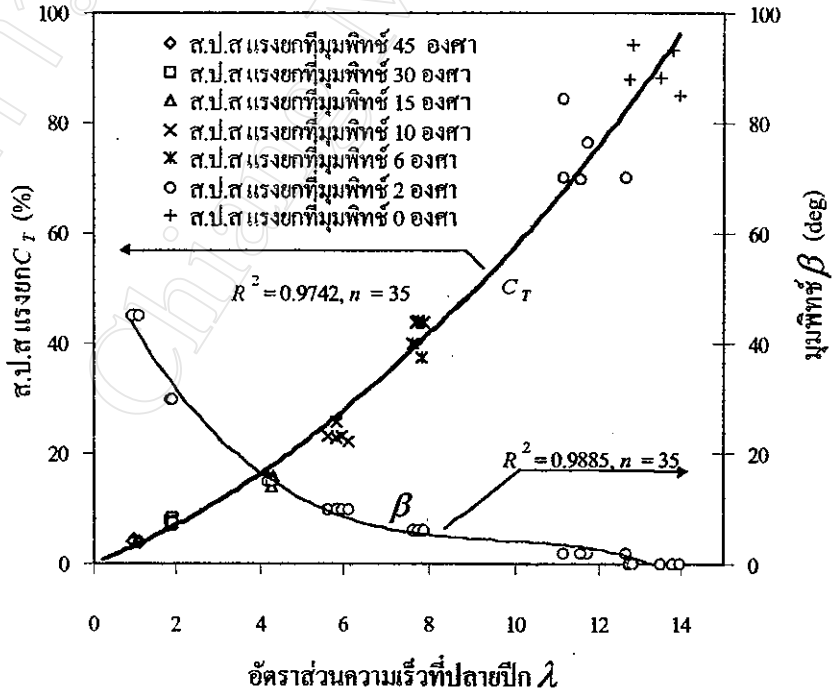
$$C_T = 0.1394\lambda^2 + 4.3674\lambda \qquad \text{.....(5.12)}$$

โดยที่เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากสมการ (5.12) เทียบกับสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากข้อมูลพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 9.50 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

และสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุมพิทช์ $\beta$ กับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกหาได้จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนามอันดับสาม จะได้สมการพหุนามที่มีค่า $R^2 = 0.9925$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 30 ค่า ความสมบูรณ์ใช้ได้ที่ $\lambda \leq 15$ โดยมีรูปของสมการคือ

$$\beta = -0.0354\lambda^3 + 1.0546\lambda^2 - 10.964\lambda + 43.366 \qquad \text{.....(5.13)}$$

โดยที่เมื่อนำมุมพิทช์ที่ได้จากสมการ (5.13) เทียบกับมุมพิทช์ที่ได้จากข้อมูลพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 12.26 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ยกเว้นกรณีที่มุมที่ได้น้อยกว่าหนึ่ง ($< 1^\circ$) ให้คิดเป็น $0^\circ$




รูปที่ 5.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและมุมพิทช์เทียบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก ที่มุมเอียง $45^0$

สำหรับรูปที่ 5.15 สมการความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกของมุมเอียง 45 องศา หาได้จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนามอันดับสอง จะได้สมการพหุนามที่มีค่า $R^2 = 0.9742$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 35 ค่า ความสมบูรณ์ใช้ได้ที่ $\lambda \leq 15$ โดยมีรูปของสมการคือ

$$C_T = 0.2825\lambda^2 + 2.947\lambda \qquad \text{.....(5.14)}$$

โดยที่เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากสมการ (5.14) เทียบกับสัมประสิทธิ์แรงยกที่ได้จากข้อมูลพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 12.76 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

และสมการความสัมพันธ์ระหว่างมุมพิทช์ $\beta$ กับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกหาได้จากระเบียบวิธีการถดถอยแบบพหุนามอันดับสาม จะได้สมการพหุนามที่มีค่า $R^2 = 0.9885$ จากจำนวนข้อมูลทั้งหมด 35 ค่า ความสมบูรณ์ใช้ได้ที่ $\lambda \leq 15$ โดยมีรูปของสมการคือ

$$\beta = -0.0535\lambda^3 + 1.5503\lambda^2 - 15.426\lambda + 56.769 \qquad \text{.....(5.15)}$$

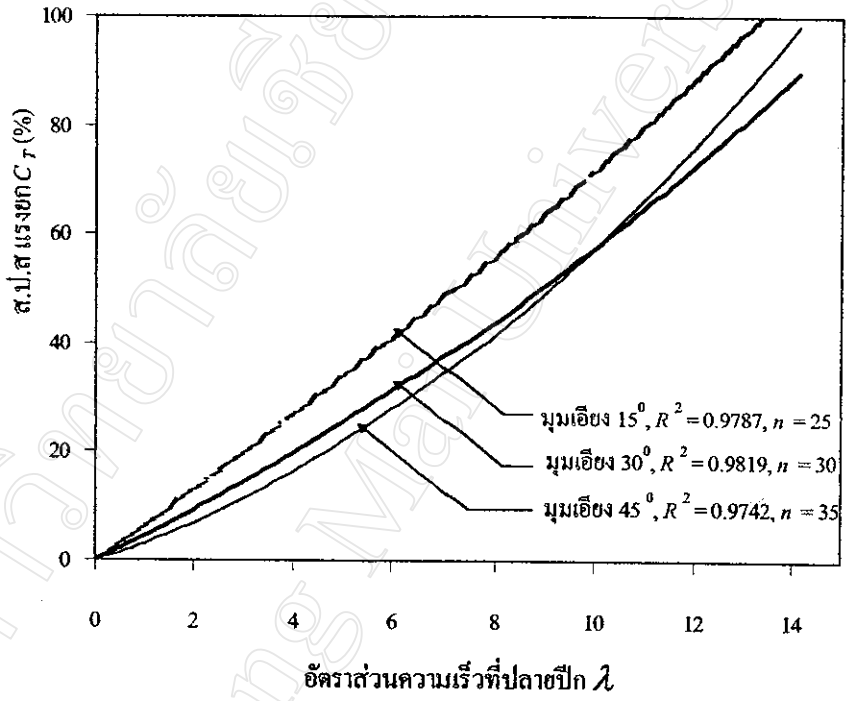
โดยที่เมื่อนำมุมพิทช์ที่ได้จากสมการ (5.15) เทียบกับมุมพิทช์ที่ได้จากข้อมูลพบว่ามีความคลาดเคลื่อน 14.59 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ยกเว้นกรณีที่มุมที่ได้น้อยกว่าหนึ่ง ($< 1^\circ$) ให้คิดเป็น $0^\circ$

ผลจากการปรับมุมเอียงของเพลาโรเตอร์พบว่าแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกและอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกจากทั้งสามตำแหน่งจะมีลักษณะเดียวกันคือสัมประสิทธิ์แรงยกเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5.16 และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงยกที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา กับที่ตำแหน่งมุมเอียง 30 และ 45 องศา (ด้วยสมการ (5.10) สมการ (5.12) และสมการ (5.14)) จากการแปรค่าอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกตั้งแต่ 1 2 3 ... ถึง 15 พบว่าที่ตำแหน่งมุมเอียง 15 องศา มีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกมากกว่าที่ตำแหน่ง 30 และ 45 องศา ประมาณ 24 และ 30 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเอียงเพลาโรเตอร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์แรงยกที่ไม่สูงมากนัก

จากผลที่ได้กล่าวผ่านมาสามารถยืนยันว่า การปรับตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มความสามารถของโรเตอร์ออโต้ไจโรทั้งในรูปของแรงยกและสัมประสิทธิ์แรงยกโดยที่ตำแหน่งศูนย์องศาจะให้ทั้งแรงยกและสัมประสิทธิ์แรงยกดีที่สุด ส่วนการเปลี่ยนตำแหน่งมุมเอียงของเพลาโรเตอร์จะเป็นเพียงการเพิ่มพื้นที่ที่ปะทะกระแสลมของโรเตอร์หรือเป็นเพียงการเพิ่มใน

รูปของแรงยกเท่านั้นเช่นเดียวกับผลของการเพิ่มความเร็วลม ดังนั้นตำแหน่งที่ดีที่สุดสำหรับโรเตอร์ยังคงเหมือนที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2 คือ การเอียงของเพลาโรเตอร์ควรมีตำแหน่งอยู่ในช่วงที่ไม่ต่ำกว่า 15 องศา และไม่เกินกว่า 30 องศา โดยตั้งตำแหน่งมุมพิทช์ของปีกที่ 0 องศา

สำหรับสมการ (5.10) ถึง (5.15) สามารถนำมาใช้คาดคะเนค่าสัมประสิทธิ์แรงยกและมุมพิทช์ที่เกิดขึ้นได้เมื่อปีกโรเตอร์มีภาคตัดปีกแบบสมมาตร NACA 0015 คอร์ดและมุมพิทช์คงที่ตลอดความยาวปีกจากอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีกที่ไม่เกิน 15




รูปที่ 5.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แรงยกเทียบกับอัตราส่วนความเร็วที่ปลายปีก ของมุมเอียง $15^0$ $30^0$ และ $45^0$