

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองกับอุปกรณ์ที่ได้สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษา การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหอดึงน้ำ เมื่อมีการไหลของน้ำสวนทางกับกระแสลม ที่มีอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำ จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนของน้ำสู่อากาศ ดังนั้นในการทดลองนี้ ได้ทำการวัดอุณหภูมิขาของน้ำ ที่ทางเข้าหอดึงน้ำ และอุณหภูมิขาออกของน้ำที่ทางออกก่อนไหลลงถึงฝักน้ำ เพื่อหาค่าผลต่างของอุณหภูมิขาเข้า กับขาออกของน้ำ ที่เรียกว่าเรนจ์ (Range) โดยกระจายการวัดที่ขาเข้าของน้ำ 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิขาของน้ำ ในทำนองเดียวกันการวัดอุณหภูมิขาออกมีการวัด 3 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ยอุณหภูมิขาออกของน้ำ สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำ มีค่าอีกค่าที่สำคัญคือ อัตราการไหลของน้ำ ดังนั้นจึงมีการวัดอัตราการไหลของน้ำด้วย กรณีของกระแสลมค่าที่ต้องการนำไปใช้คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศของสิ่งแวดล้อมก่อนเข้าหอดึงน้ำ ในการทดลองนี้ จะมีการวัดทั้งอุณหภูมิกระเปาะเปียก - กระเปาะแห้ง ของสิ่งแวดล้อมก่อนเข้าหอดึงน้ำ อุณหภูมิกระเปาะเปียก กระเปาะแห้งของกระแสลมที่ออกจากหอดึงน้ำ ซึ่งอาจนำไปใช้อ้างอิง สำหรับความเร็วของกระแสลม จะวัดที่ปากทางออกของกระแสลม โดยมีการวัดค่าที่จุดต่าง ๆ และนำไปคำนวณหาความเร็วของกระแสลม โดยปรับค่าความเร็วกระแสลมที่หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าแบบปรับค่าได้ จนกระทั่งได้ความเร็วของกระแสลมตามต้องการ และจะคงค่าความเร็วของกระแสลมนั้น โดยการคงค่าหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ค่านั้น ๆ ตลอดการทดลอง ค่าความเร็วของกระแสลมจะวัดโดยใช้ มานอร์มิเตอร์ ชนิด Incline (Incline manometer) และ Pitot Tube โดยมีหน่วยวัดเป็น นิ้วของน้ำ แล้วนำไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งมีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวินาที

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการวัดในการทดลองโดยตรงตลอดการทดลองมีดังนี้

1. อุณหภูมิขาของน้ำที่เข้าหอดึงน้ำ ใช้ เทอร์โมคัปเบิลวัดมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส
2. อุณหภูมิขาออกของน้ำที่ออกจากหอดึงน้ำ ใช้เทอร์โมคัปเบิลวัดมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส
3. อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศสิ่งแวดล้อมก่อนเข้าหอดึงน้ำ ใช้ เทอร์โมคัปเบิล ที่หุ้มด้วย Wick ขึ้น วัดมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส

4. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศสิ่งแวดล้อม ก่อนเข้าหอผึ่งน้ำ ใช้ เทอร์โมคัปเปิล วัด มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส
5. อุณหภูมิกระเปาะเปียกของกระแสลม ที่ทางออกของกระแสลม ใช้ เทอร์โมคัปเปิลที่หุ้มด้วย Wick ขึ้น วัดมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส
6. อุณหภูมิกระเปาะแห้งของกระแสลม ที่ทางออกของกระแสลม ใช้ เทอร์โมคัปเปิล วัด มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส
7. อัตราการไหลของน้ำ ใช้ flow cell meter วัด มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง สามารถนำไปเขียนในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตัวแปรที่นำมาใช้กับหอผึ่งน้ำ มีดังนี้

1. อุณหภูมิน้ำออกจากหอผึ่งน้ำ (t_{2m})
2. ค่าแตกต่างของอุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากหอผึ่งน้ำ ($Range_m$) ย่อว่า R_m
3. อัตราการไหลของน้ำ (W_m)
4. อุณหภูมิกระเปาะเปียกของสิ่งแวดล้อม (WBT $_m$)
5. ค่าต้นของการทำความเย็น (Ton)
6. อัตราการไหลของอากาศที่เข้าหอผึ่งน้ำ (G_m)

สำหรับอัตราการไหลของอากาศที่เข้าหอผึ่งน้ำ จะคงที่ตลอดการทดลองที่ 0.4882 Kg./Sec. ในทางทฤษฎีสามารถหาสมการได้ในรูปของ $t_{2m} = f(R_m, W_m, WBT_m, G_m)$ โดยมีกรตั้งข้อสมมติต่าง ๆ เพื่อให้ได้สมการในรูปที่ง่ายขึ้น โดยใช้สมการ (2.37) ได้ว่า

$$t_{2m} = \frac{1}{0.0455} * \frac{\ln[R_m (1 + c(W_m/G_m)^{1-n}) + e^{0.0455W_m WBT_m}] - R_m}{30.144c(W_m/G_m)^{-n}} - \frac{R_m}{2}$$

เนื่องจากค่า c และ n เป็นค่าคงที่เฉพาะของ Packing แต่ละตัว ในการทดลองนี้ ได้หาค่าคงที่ ของ Packing ที่ใช้ทดลอง ได้ $c = 0.16$ และ $n = 0.8$ (ดูวิธีหาค่า จาก ตอนสุดท้ายของบทที่ 2)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะทำได้หลายรูปแบบ ซึ่งจะนำรูปแบบที่เหมาะสม และ สะดวกที่สุดไปใช้ ซึ่งจะกล่าวในที่นี้ คือ

$$1. t_{2m} = f(R_m, W_m, WBT_m)$$

โดยมี R_m, W_m, WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)
 และ G_m เป็นตัวคงที่ (Fixed)

ซึ่งสามารถหาค่าจากทฤษฎี โดยใช้สมการ (2.37) โดยให้ค่า G_m เป็นตัวคงที่

$$2. Ton = f(WBT_m)$$

W_m, WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 Ton เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)
 และ t_{2m}, R_m, G_m เป็นตัวคงที่ (Fixed)

ในทำนองเดียวกัน การหาค่าทางทฤษฎี ใช้สมการ (2.37) โดยให้ t_{2m}, R_m, G_m เป็นตัวคงที่ และสมมติค่า WBT_m โดยใช้วิธีเดาค่า (Trial and Error) หาค่า W_m ในรูปของ $W_m = f(WBT_m)$ และแทนค่า W_m ที่ได้ลงในสมการ (2.24) คือ $Ton = 0.3307 * W_m * R_m$ เมื่อ R_m เป็นตัวคงที่ จะได้ค่า Ton ตามที่ต้องการ

$$3. Ton = f(t_{2m})$$

t_{2m}, W_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 Ton เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)
 และ R_m, WBT_m, G_m เป็นตัวคงที่ (Fixed)

ในทำนองเดียวกัน การหาค่าทางทฤษฎี ใช้สมการ (2.37) โดยให้ R_m, WBT_m, G_m เป็นตัวคงที่ และสมมติค่า t_{2m} โดยใช้วิธีเดาค่า (Trial and Error) หาค่า W_m ในรูปของ $W_m = f(t_{2m})$ และแทนค่า W_m ที่ได้ลงในสมการ (2.24) คือ $Ton = 0.3307 * W_m * R_m$ เมื่อ R_m เป็นตัวคงที่ จะได้ค่า Ton ตามที่ต้องการ

$$4. t_{2m} = f(W_m, WBT_m)$$

โดยมี W_m , WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)
 และ t_{1m} , G_m เป็นตัวคงที่ (Fixed)

ในทำนองเดียวกัน การหาค่าทางทฤษฎี ใช้สมการ (2.37) และ แทนค่า R_m ด้วย $t_{1m} - t_{2m}$ ให้ t_{1m} , G_m เป็นตัวคงที่ และ สมมุติค่า W_m , WBT_m โดยวิธีเดาค่า (Trial and Error) จะหาค่า t_{2m} ได้ตามต้องการ

$$5. t_{2m} = f(W_m)$$

โดยมี W_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)
 และ t_{1m} , WBT_m , G_m เป็นตัวคงที่ (Fixed)

ในทำนองเดียวกัน การหาค่าทางทฤษฎี ใช้สมการ (2.37) และ แทนค่า R_m ด้วย $t_{1m} - t_{2m}$ ให้ t_{1m} , WBT_m , G_m เป็นตัวคงที่ และ สมมุติค่า W_m โดยวิธีเดาค่า (Trial and Error) จะหาค่า t_{2m} ได้ตามต้องการ

วิจารณ์

รูปที่ 5.8, รูปที่ 5.9, รูปที่ 5.10, รูปที่ 5.11, รูปที่ 5.12, รูปที่ 5.13, รูปที่ 5.14, รูปที่ 5.15, รูปที่ 5.16, รูปที่ 5.17, รูปที่ 5.18, รูปที่ 5.19, รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R_m กับ t_{2m} ที่ Water Flow Rate (W_m) ต่าง ๆ โดยการคงที่ค่า อัตราการไหลของอากาศ (G_m) = 0.4882 Kg/sec. และ Wet-Bulb Temperature (WBT_m) ที่ 18.7°C, 19.2°C, 20.5°C, 21.5°C, 22.4°C, 23.0°C, 23.5°C, 24.4°C, 24.9°C, 25.3°C, 25.7°C, 26.4°C, 27.5°C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กราฟเป็นเส้นโค้ง เมื่อ R_m มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า t_{2m} จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม ในช่วงที่ R_m น้อย กราฟจะมีความชันมาก เมื่อ R_m เพิ่มขึ้น ความชันของกราฟจะลดลงตามลำดับ ถ้าพิจารณาระหว่าง W_m (Water flow rate) กับ t_{2m} ถ้า R_m คงที่ เมื่อ W_m มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า t_{2m} จะเพิ่มขึ้นตาม โดยในช่วง R_m น้อย เมื่อเพิ่มค่า W_m ค่า t_{2m} จะ

เพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อ R_m มีค่ามาก ถ้าเพิ่มค่า W_m ให้เท่ากับกับช่วงแรก ค่า t_{2m} จะเพิ่มขึ้นมาก ถ้าพิจารณาระหว่างกราฟที่ WBT_m ต่าง ๆ กัน ในขณะที่ R_m และ W_m คงที่ เมื่อ WBT_m มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า t_{2m} ก็จะเพิ่มขึ้นตาม แต่การพิจารณาระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} นั้นกระทำได้ยาก เนื่องจากมาตราส่วนของกราฟแต่ละรูปไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงนำข้อมูล จากกราฟรูป 5.8 ถึงรูป 5.20 เมื่อคงที่ $R_m = 5^\circ C$ นำไปเขียนกราฟระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เมื่อ เปลี่ยนแปลงค่า W_m ดังรูป 5.21 ถ้าพิจารณาเมื่อ W_m คงที่ กราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งเล็กน้อย ซึ่งมีค่าน้อยมาก เนื่องจากเส้นกราฟไม่ราบเรียบ การหาค่าในแบบเอกซ์โพเนนเชียล จะทำให้ค่า Error มากขึ้น จึงใช้เส้นตรงแทน เมื่อนำมาทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในรูปของ $t_{2m} = f(R_m, W_m, WBT_m)$ ได้ว่า

$$t_{2m} = -2.6856 + 1.0248*WBT_m + 6.5511*\ln(W_m) - 0.1770*WBT_m*\ln(W_m) + 6.1543*\ln(R_m) - 0.1569*WBT_m*\ln(R_m) - 0.00035*\ln(W_m)*\ln(R_m) + 0.0803*WBT_m*\ln(W_m)*\ln(R_m) \quad (5.1)$$

โดย $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ เป็นค่าคงที่ (Fixed)

R_m, W_m, WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

ใช้สถิติหาค่า R^2 และ $S_{t_{2m}}$ พบว่า สามารถยอมรับสมการทางคณิตศาสตร์นี้ได้ ถ้ากำหนดให้ จะยอมรับสมการได้ เมื่อ $R^2 > 0.95$ จากสมการข้างต้น สามารถหาค่าได้ดังนี้ $R^2 = 0.9924$ และ $S_{t_{2m}} = 0.2216 \%$

จากกราฟรูป 5.22 เป็นตัวอย่างกราฟระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} โดยคงที่ ค่า $Range_m = 5^\circ C$, $W_m = 1.738 \text{ m}^3/\text{hr.}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ โดยมีเส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง (Experiment), เส้นกราฟที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี (Theory) และเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ (Math. model) จะเห็นได้ว่ากราฟทั้ง 3 เส้นใกล้เคียงกันมาก คือเมื่อค่า WBT_m เพิ่มขึ้น ค่า t_{2m} จะเพิ่มขึ้นตาม แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า t_{2m} จากการทดลอง และ อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า t_{2m} จากสมการทางคณิตศาสตร์ มีแนวโน้มมากกว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า t_{2m} ที่ได้จากสมการทางทฤษฎี ส่วนเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับเส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง มากกว่าเส้นกราฟที่คำนวณได้จากทฤษฎี เพราะเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ใช้ผลจากการทดลอง

ไปคำนวณด้วยวิธี the method of least squares แต่ เส้นกราฟที่ได้จากสมการทางทฤษฎี มีการตั้งข้อสมมุติมาก และ ค่า t_{2m} ได้จากการนำค่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ไปคำนวณหาค่าจากสมการ จึงทำให้คลาดเคลื่อนมาก

จากกราฟ รูป 5.23 เป็นกราฟระหว่าง WBT_m กับ T_{on} สำหรับเส้นกราฟของการทดลอง ได้จากกราฟรูป 5.21 โดยใช้ค่า $t_{2m} = 29^\circ C$ ลากเส้นตรงตั้งฉากกับแกน t_{2m} จะตัดเส้นกราฟที่ W_m ค่าต่าง ๆ ณ. จุดตัดลากเส้นตรงลงมาหาแกน WBT_m และนำค่าที่ได้ไปคำนวณด้วยสมการ 2.24 โดย $T_{on} = 0.3307 R_m W_m$ เมื่อเขียนกราฟ ดังรูป 5.23 จะได้กราฟที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง เมื่อค่า WBT_m เพิ่มขึ้น ค่า T_{on} จะลดลง ซึ่งจากกราฟนี้ สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$\text{จะได้สมการ } T_{on} = 11.517762 - 0.3531117 * WBT_m \quad (5.2)$$

โดย $t_{2m} = 29^\circ C$, $R_m = 5^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ เป็นค่าคงที่ (Fixed)
 W_m , WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 T_{on} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

โดยใช้สถิติหาค่า R^2 และ $S_{T_{on}}$ พบว่า สามารถยอมรับสมการทางคณิตศาสตร์นี้ได้ ดังที่กล่าวมาแล้ว จะยอมรับสมการได้ เมื่อ $R^2 > 0.95$ จากสมการข้างต้น สามารถหาค่าได้ดังนี้ คือ $R^2 = 0.9938$ และ $S_{T_{on}} = 0.0386 \%$

จะเห็นได้ว่า กราฟรูป 5.23 มีเส้นกราฟ 3 เส้น คือ ได้จากการทดลอง, สมการทางทฤษฎี และจากสมการทางคณิตศาสตร์ จะเห็นว่าเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางทฤษฎี ที่ WBT_m น้อย ๆ ค่า T_{on} มีค่าแตกต่างจากค่า T_{on} ที่ได้จากการทดลองมาก แต่เมื่อ WBT_m มากขึ้น ค่า T_{on} ที่ได้จากสมการทางทฤษฎี จะใกล้เคียงกับ ค่า T_{on} ที่ได้จากการทดลอง สำหรับเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองมาก ซึ่งมีเหตุผลเช่นเดียวกับกราฟระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} (รูป 5.22)

ในทำนองเดียวกัน รูป 5.24 เป็นกราฟระหว่าง t_{2m} กับ T_{on} เส้นกราฟจากการทดลองได้จากรูป 5.21 โดยคงที่ $WBT_m = 24^\circ C$ ลากเส้นตรงตั้งฉากกับแกน WBT_m ตัดเส้นกราฟ ที่ W_m ค่าต่าง ๆ ณ. จุดตัดลากเส้นตรงที่ตั้งฉากกับแกน t_{2m} ไปหาแกน t_{2m} แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณโดยใช้ สมการ 2.24 โดย $T_{on} = 0.3307 R_m W_m$ เมื่อนำไปเขียนกราฟ ดังรูป 5.24 เมื่อค่า t_{2m} เพิ่มขึ้น ค่า T_{on} จะเพิ่มขึ้นตาม และกราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นตรงได้ ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองคณิตศาสตร์ ได้คือ

$$T_{on} = -10.956146 + 0.4838892 * t_{2m} \quad (5.3)$$

โดย $R_m = 5^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ เป็นค่าคงที่ (Fixed)
 t_{2m} , W_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 T_{on} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

โดยใช้สถิติหาค่า R^2 และ $S_{T_{on}}$ พบว่า สามารถยอมรับสมการทางคณิตศาสตร์นี้ได้ ดังที่กล่าวมาแล้ว จะยอมรับสมการได้ เมื่อ $R^2 > 0.95$ จากสมการข้างต้น สามารถหาค่าได้ดังนี้ คือ $R^2 = 0.9989$ และ $S_{T_{on}} = 0.0151 \%$

จากกราฟ รูป 5.24 นี้ เส้นกราฟที่ได้จากสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีแนวโน้มใกล้เคียงกับเส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง มากกว่าเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางทฤษฎี ซึ่งมีเหตุผลของความคลาดเคลื่อนในทำนองเดียวกันกับที่ได้กล่าวแล้ว

จากกราฟ รูป 5.25, 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31, 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37 เป็นกราฟ ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่ Water Flow Rate (W_m) ต่าง ๆ โดยการคงที่ค่า อัตราการไหลของอากาศ (G_m) = 0.4882 Kg/sec. และ ค่า Wet-Bulb Temperature (WBT_m) ที่ 18.7°C , 19.2°C , 20.5°C , 21.5°C , 22.4°C , 23.0°C , 23.5°C , 24.4°C , 24.9°C , 25.3°C , 25.7°C , 26.4°C , 27.5°C ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟมีลักษณะคล้ายคลึง กับ กราฟระหว่าง R_m กับ t_{2m} เมื่อนำข้อมูลจากกราฟรูป 5.25 ถึง 5.37 ไปเขียนกราฟระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เมื่ออัตราการไหลของน้ำเปลี่ยนไป และคงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$ ดังรูป 5.38 จะได้กราฟที่มีลักษณะเดียวกันกับกราฟ ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เมื่อ R_m คงที่ (รูป 5.21) ถ้าพิจารณาโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในรูปของ $t_{2m} = f(W_m, WBT_m)$ จะได้สมการดังนี้คือ

$$t_{2m} = 13.6512 + 0.5177 * WBT_m + 7.9012 * \ln(W_m) - 0.2292 * WBT_m * \ln(W_m) \quad (5.4)$$

โดย $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ เป็นค่าคงที่ (Fixed)
 W_m , WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

โดยใช้สถิติหาค่า R^2 และ $S_{t_{2m}}$ พบว่า สามารถยอมรับสมการทางคณิตศาสตร์นี้ได้ดังที่กล่าวมาแล้ว จะยอมรับสมการได้ เมื่อ $R^2 > 0.95$ จากสมการข้างต้น สามารถหาค่าได้ดังนี้ คือ $R^2 = 0.9860$ และ $S_{t_{2m}} = 0.0749 \%$

จากกราฟ รูป 5.39 เป็นกราฟระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} โดยเปรียบเทียบระหว่าง ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง, สมการทางทฤษฎี และสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดย คงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $W_m = 1.738 \text{ m}^3/\text{hr}$: พบว่ากราฟทั้ง 3 เส้นมีแนวโน้มใกล้เคียงกันมาก

จากกราฟ รูป 5.40 เป็นกราฟระหว่าง W_m กับ t_{2m} กราฟทั้ง 3 เส้นได้จาก ข้อมูลจากการทดลอง, สมการทางทฤษฎี และ สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับข้อมูล จากการทดลอง ได้จากกราฟ รูป 5.38 โดย คงที่ค่า $WBT_m = 24^\circ\text{C}$ ลากตั้งฉากกับแกน WBT_m ขึ้นไปตัดเส้นกราฟที่ W_m ต่าง ๆ กัน ณ จุดตัด ลากเส้นตรงขนานกับแกน WBT_m ตัดแกน t_{2m} นำค่า W_m และ t_{2m} ที่ได้มาเขียนกราฟ ดังรูป 5.40 จะเห็นว่าเมื่อค่า W_m เพิ่มขึ้น ค่า t_{2m} จะเพิ่มขึ้นตาม แต่มีอัตราการเพิ่มลดลง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้ดังนี้ คือ

$$t_{2m} = 26.007183 + 2.4322659 * \ln(W_m) \quad (5.5)$$

โดย $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec}$. เป็นค่าคงที่ (Fixed)

W_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

โดยใช้สถิติหาค่า R^2 และ $S_{t_{2m}}$ พบว่า สามารถยอมรับสมการทางคณิตศาสตร์ นี้ได้ ดังที่กล่าวมาแล้ว จะยอมรับสมการได้ เมื่อ $R^2 > 0.95$ จากสมการข้างต้น สามารถหาค่าได้ดังนี้ คือ $R^2 = 0.9972$ และ $S_{t_{2m}} = 0.0223 \%$

จากกราฟ รูป 5.40 นี้ เส้นกราฟ ทั้ง 3 เส้น มีค่าใกล้เคียงกันมาก สำหรับเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางทฤษฎี เมื่อค่า W_m น้อย ๆ ค่า t_{2m} มีแนวโน้มความแตกต่างจากเส้นกราฟที่ได้จากการทดลองมาก เมื่อค่า W_m เพิ่มขึ้น ค่า t_{2m} จากสมการทางทฤษฎี จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า t_{2m} ที่ได้จากการทดลองมากขึ้น และเส้นกราฟที่ได้จากการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเหตุผลของความคลาดเคลื่อนมีลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

สรุป

ผลที่ได้จากการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎี ซึ่งหาค่าคงที่ของ Packing ที่ใช้ทดลองได้ $c = 0.16$, $n = 0.8$ และมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ผลจากการทดลองสามารถรวบรวมเขียนเป็น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกำหนดค่าตัวแปรได้ดังนี้ คือ

1. จัดสมการในรูปของ $t_{2m} = f(R_m, W_m, WBT_m)$ ได้ว่า

$$t_{2m} = -2.6856 + 1.0248*WBT_m + 6.5511*\ln(W_m) - 0.1770*WBT_m*\ln(W_m) \\ + 6.1543*\ln(R_m) - 0.1569*WBT_m*\ln(R_m) - 0.00035*\ln(W_m)*\ln(R_m) \\ + 0.0803*WBT_m*\ln(W_m)*\ln(R_m) \quad (5.1)$$

โดย $G_m = 0.4882$ Kg/sec. เป็นค่าคงที่ (Fixed)

R_m, W_m, WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

2. จัดสมการในรูปของ $Ton = f(WBT_m)$ ได้ว่า

$$Ton = 11.517762 - 0.3531117*WBT_m \quad (5.2)$$

โดย $t_{2m} = 29^\circ\text{C}$, $R_m = 5^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882$ Kg/sec. เป็นค่าคงที่ (Fixed)

W_m, WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

Ton เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

3. จัดสมการในรูปของ $Ton = f(t_{2m})$ ได้ว่า

$$Ton = -10.956146 + 0.4838892*t_{2m} \quad (5.3)$$

โดย $R_m = 5^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882$ Kg/sec. เป็นค่าคงที่ (Fixed)

t_{2m}, W_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

Ton เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

4. จัดสมการในรูปของ $T_{0n} = f(W_m, WBT_m)$ ได้ว่า

$$t_{2m} = 13.6512 + 0.5177 * WBT_m + 7.9012 * \ln(W_m) - 0.2292 * WBT_m * \ln(W_m) \quad (5.4)$$

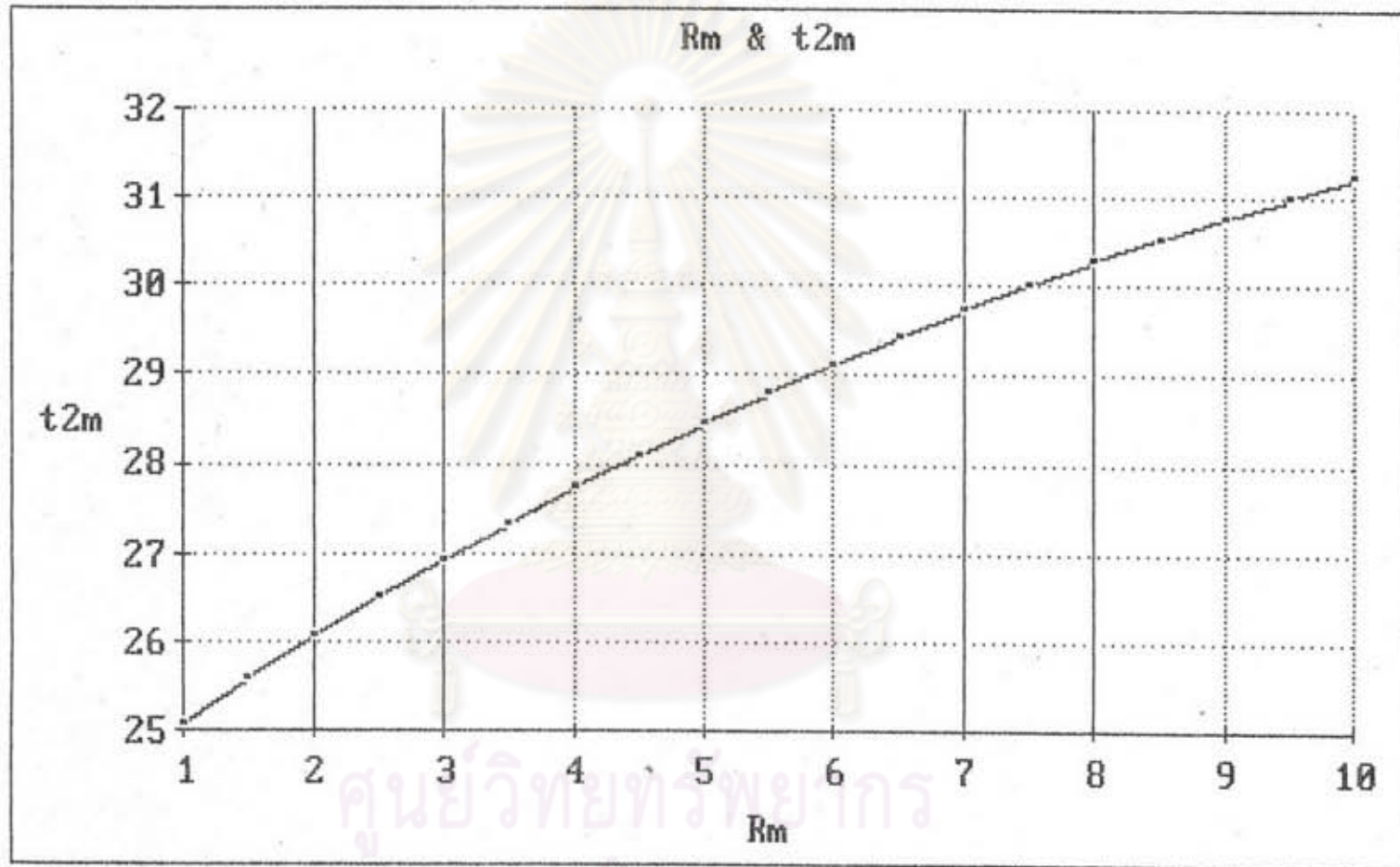
โดย $t_{1m} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec}$. เป็นค่าคงที่ (Fixed)
 W_m , WBT_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

5. จัดสมการในรูปของ $T_{0n} = f(W_m)$ ได้ว่า

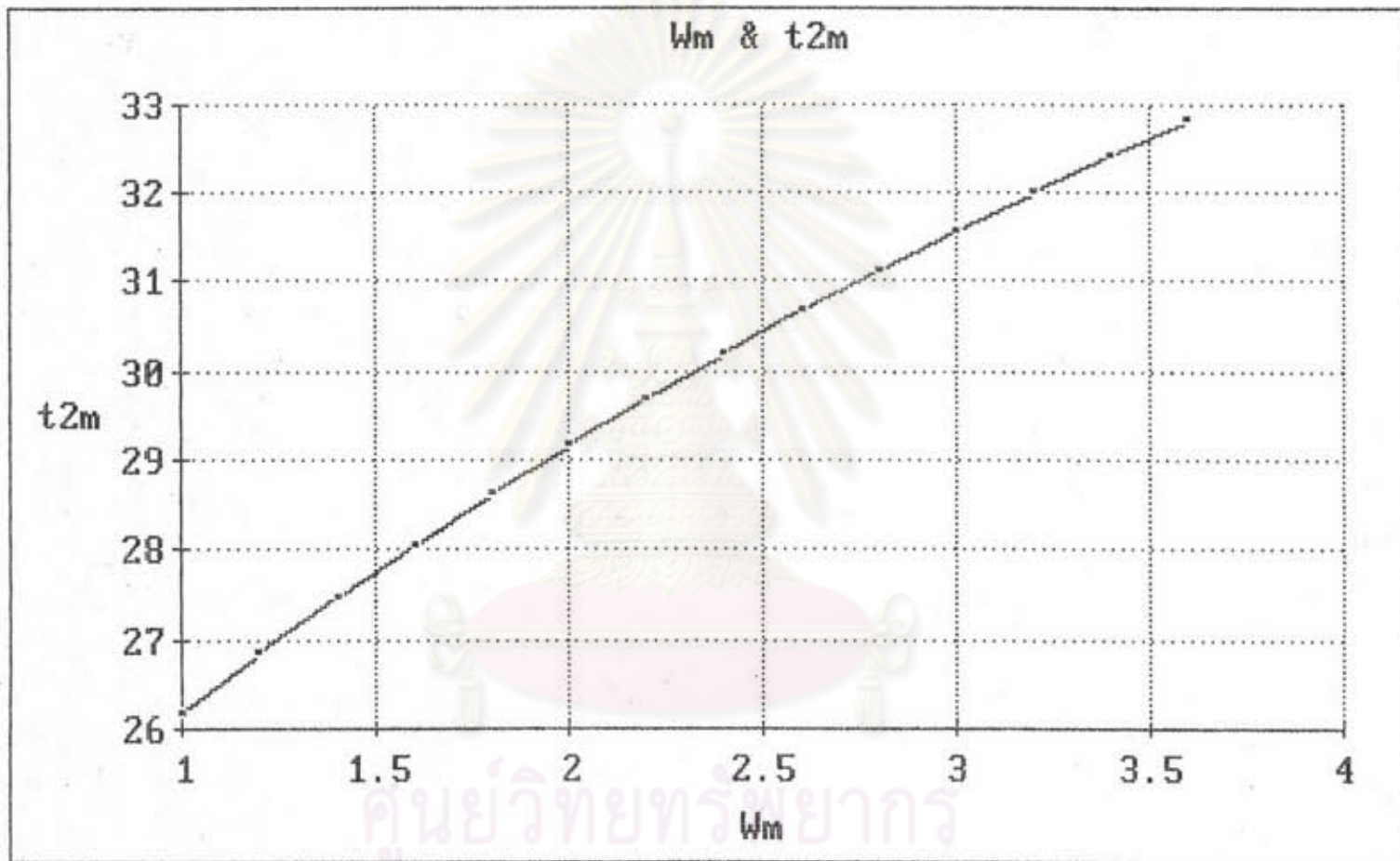
$$t_{2m} = 26.007183 + 2.4322659 * \ln(W_m) \quad (5.5)$$

โดย $t_{1m} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec}$. เป็นค่าคงที่ (Fixed)
 W_m เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
 t_{2m} เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

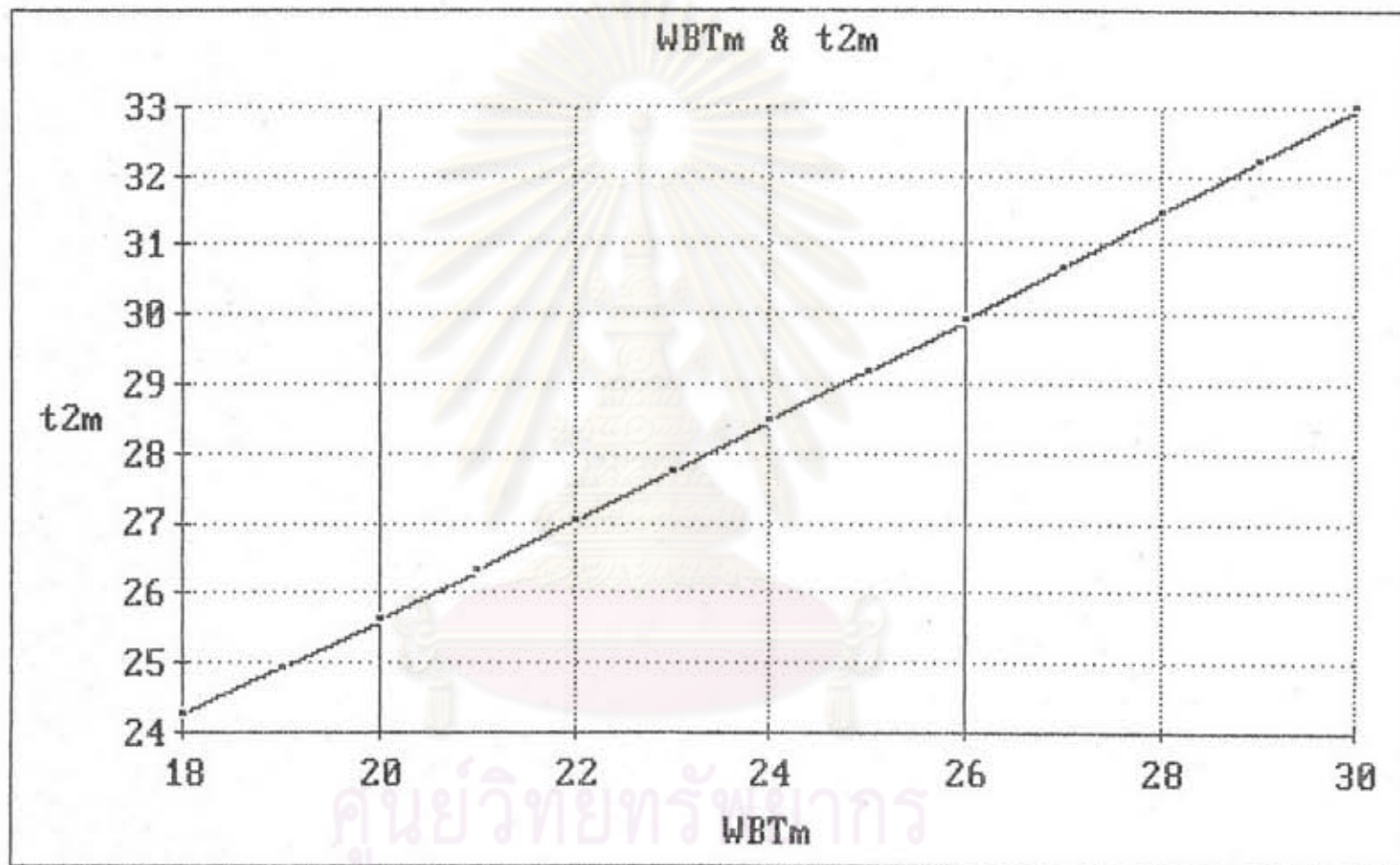
ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



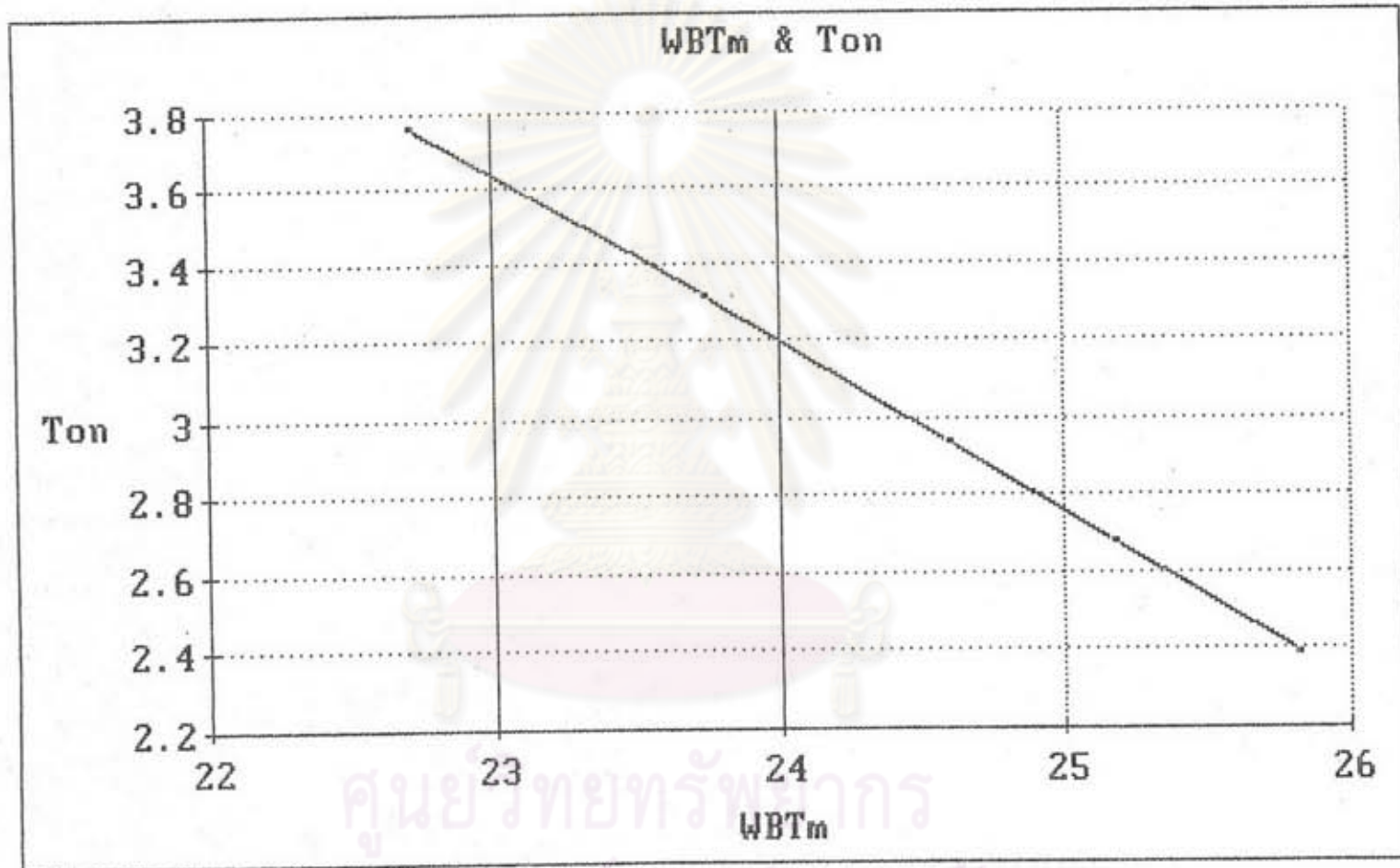
รูปที่ 5.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง R_{m} กับ t_{2m} เมื่อคงค่า $W = 1.738 \text{ m}^3/\text{hr.}$,
 $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)



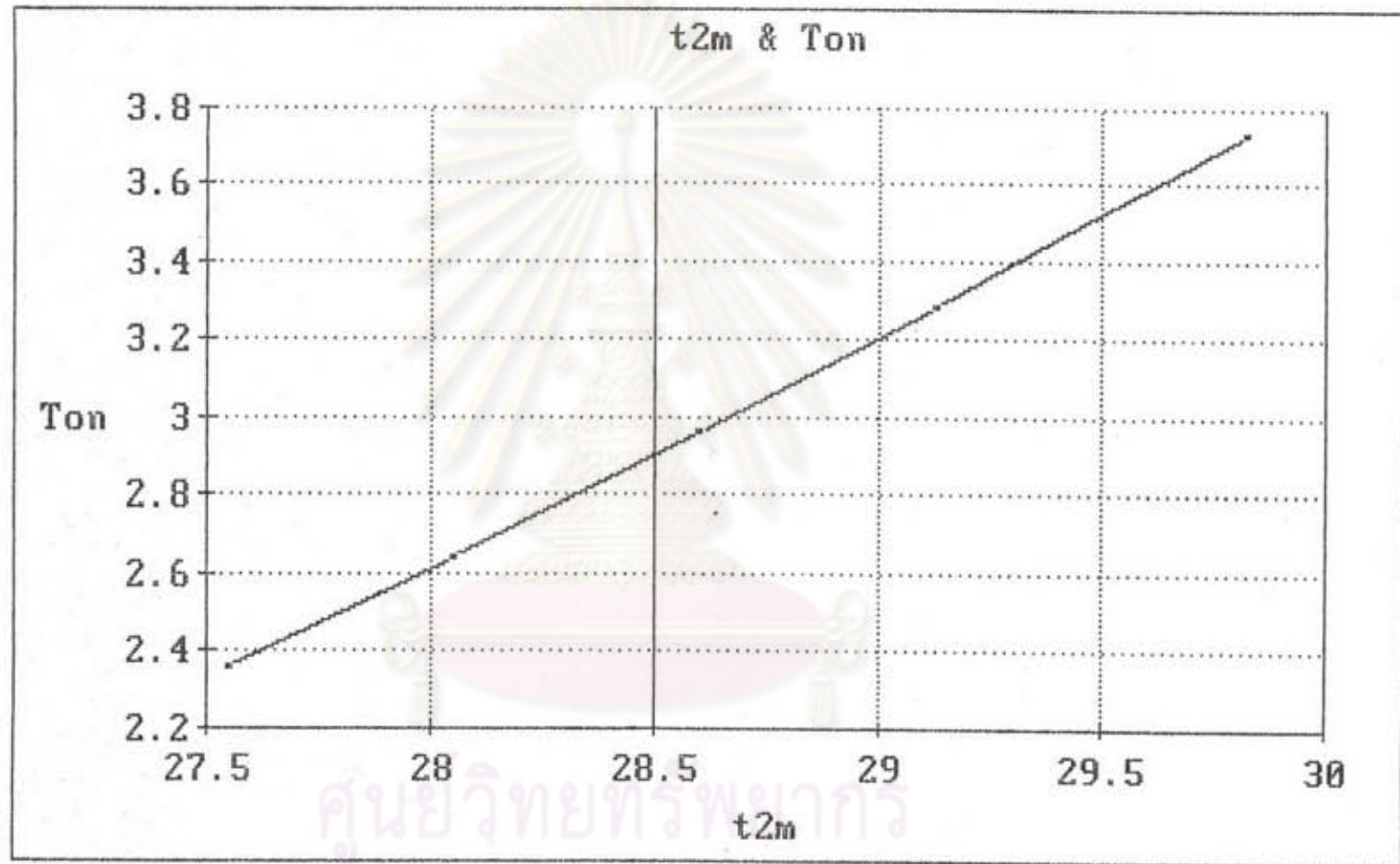
รูปที่ 5.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง W_m กับ t_{2m} เมื่อคงค่า $Range_m = 5^\circ C$,
 $WBT_m = 24^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)



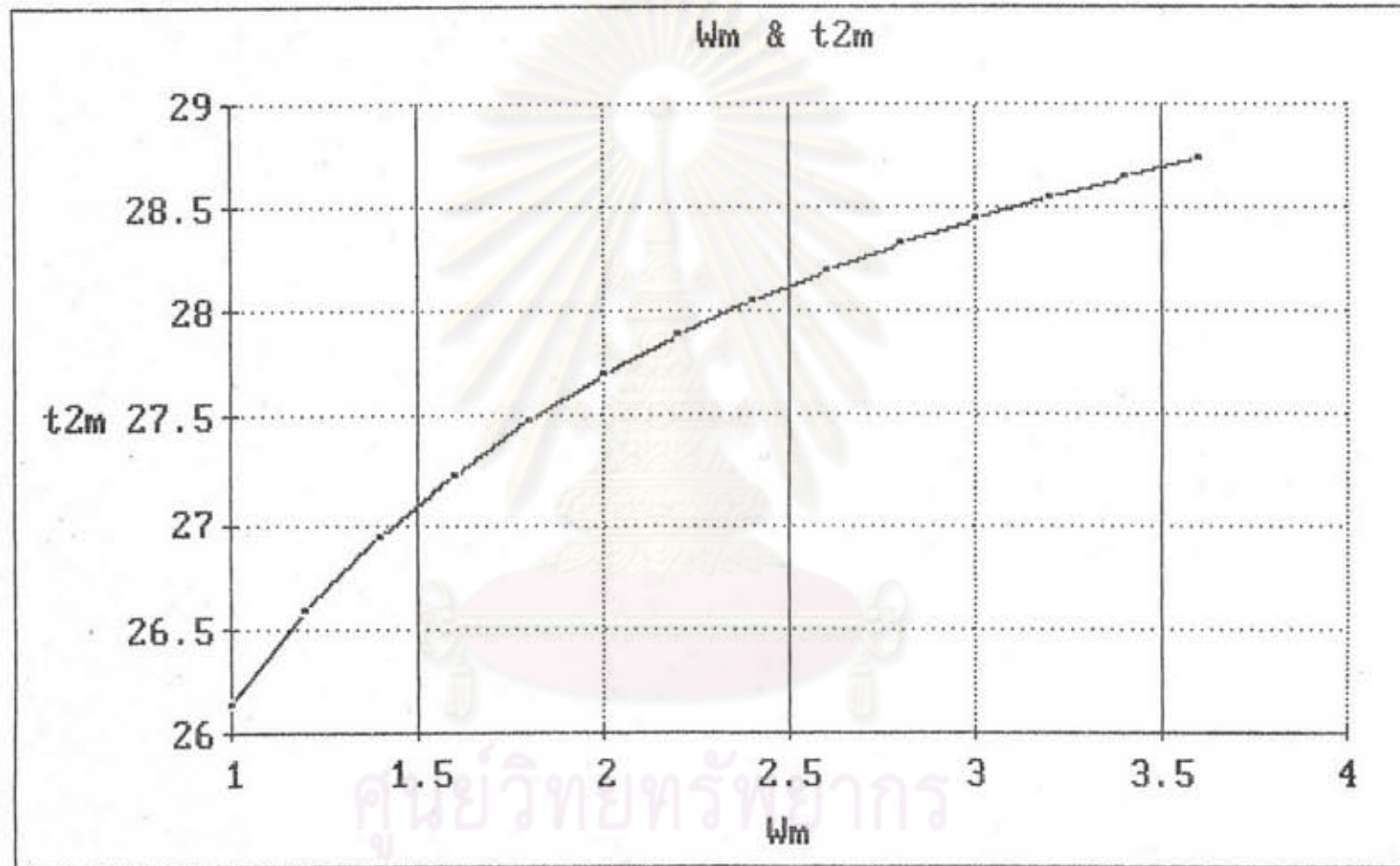
รูปที่ 5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เมื่อคงค่า Range_m = 5 °C ,
W_m = 1.738 m³/hr. , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากทฤษฎี)



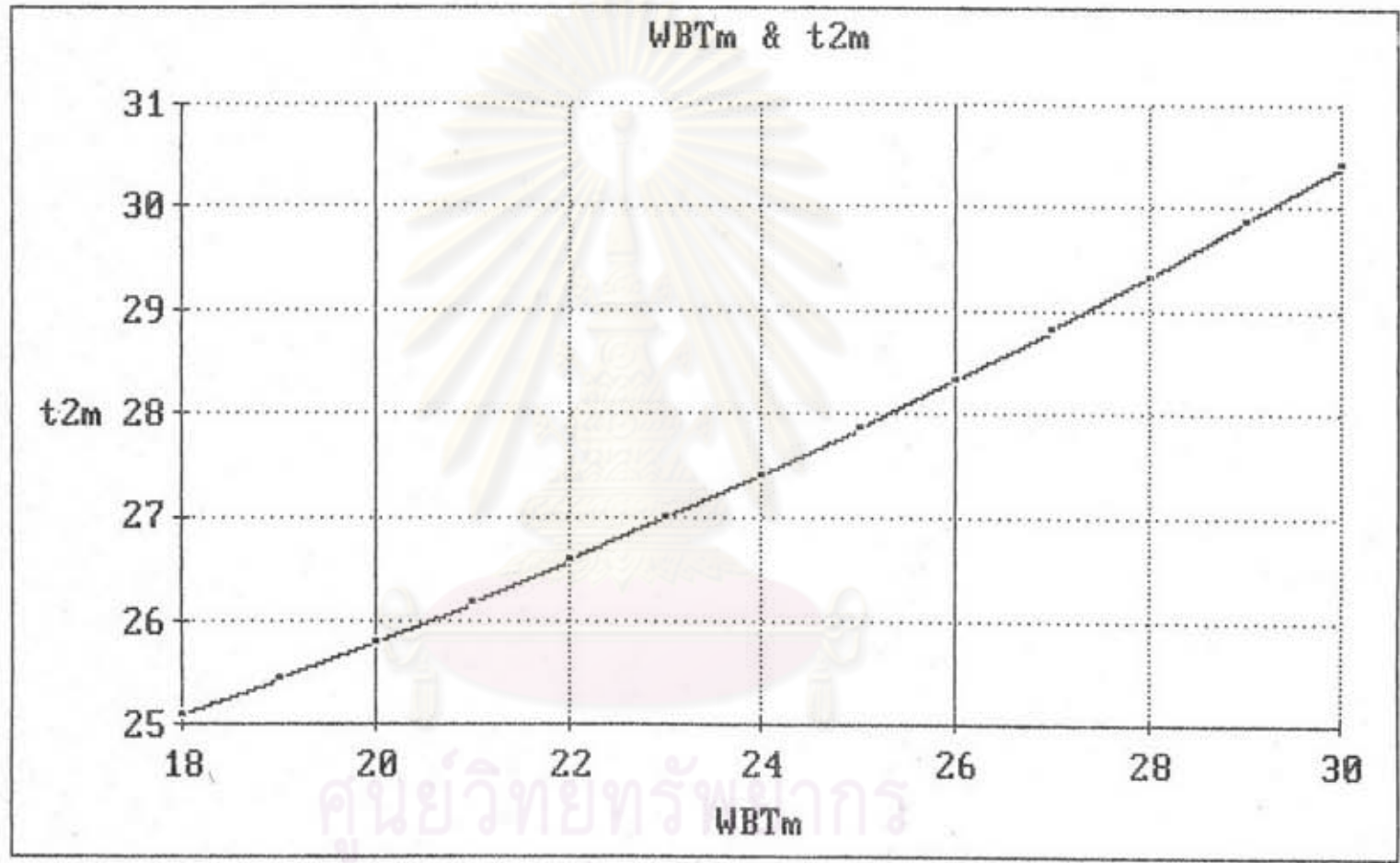
รูปที่ 5.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ Ton เมื่อเปลี่ยนแปลง w_m และคงค่า $t_2 = 29^\circ\text{C}$
 $Range_m = 5^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)



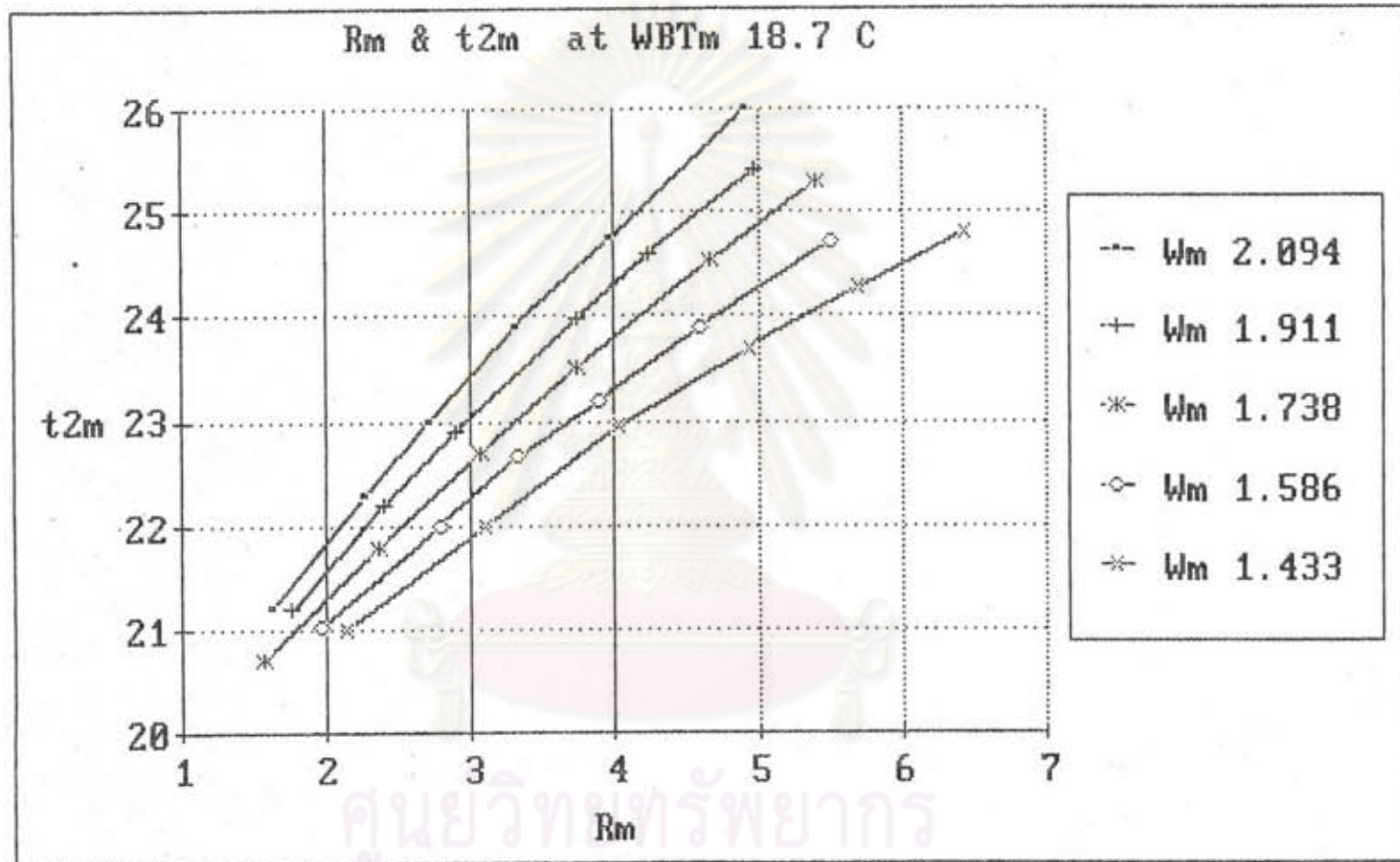
รูปที่ 5.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{2m} กับ Ton เมื่อเปลี่ยนแปลง w_m และคงค่า
 $Range_m = 5^\circ C$, $WBT_m = 24^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)



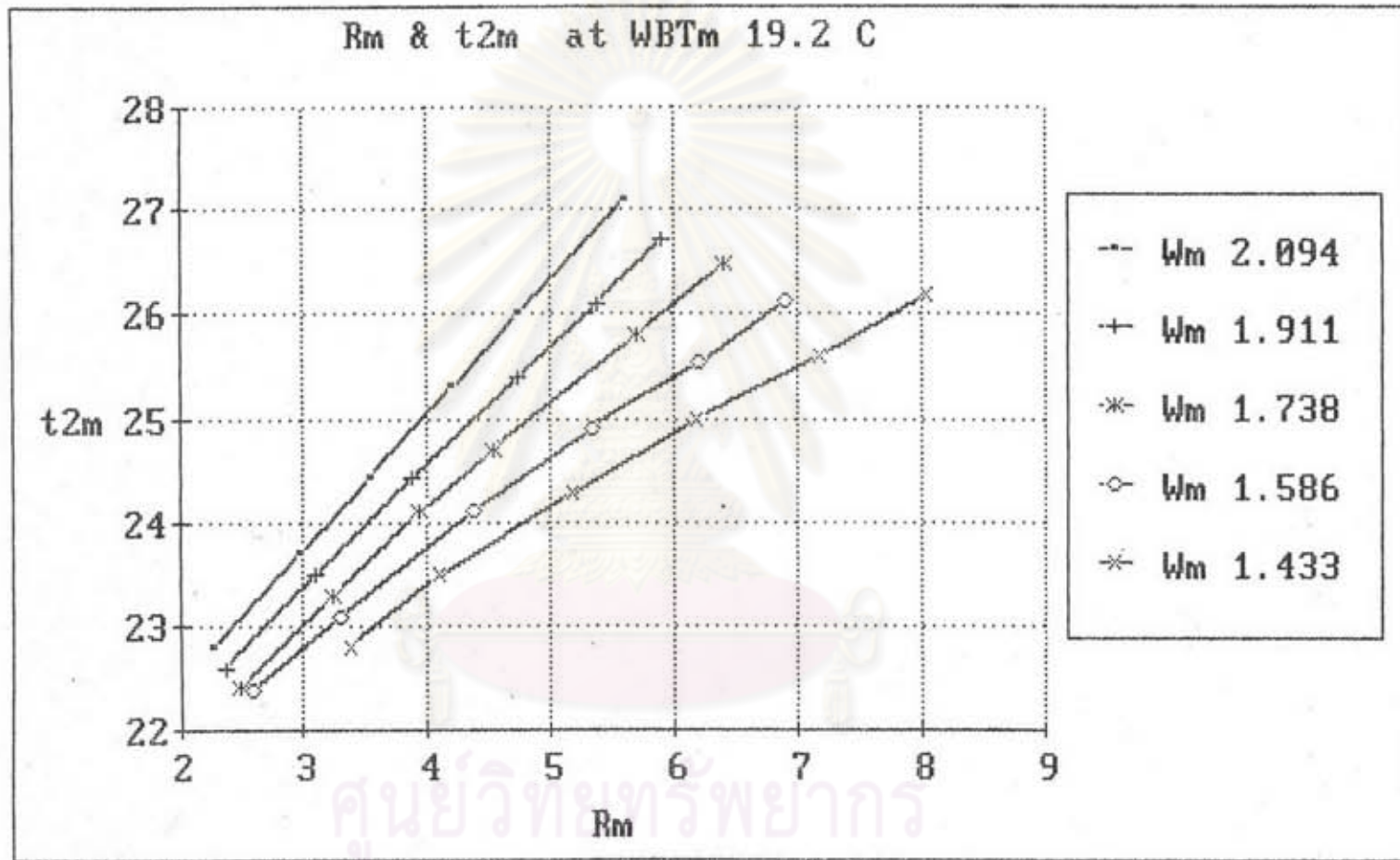
รูปที่ 5.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง W_m กับ t_{2m} เมื่อ คงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$,
 $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากทฤษฎี)



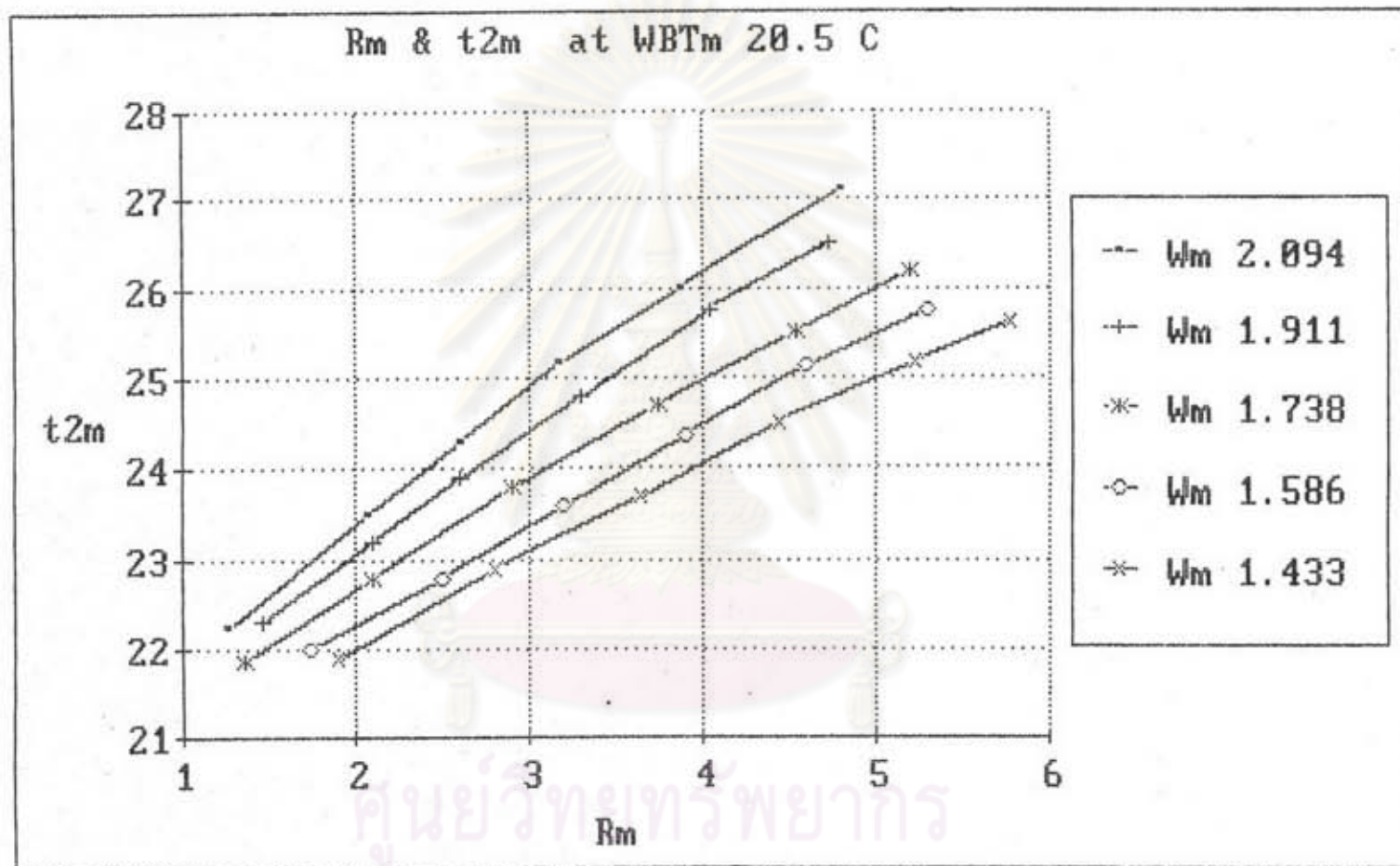
รูปที่ 5.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เมื่อ คงที่ค่า t_{1m} = 31 °C ,
W_m = 1.738 Kg/sec., G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากทฤษฎี)



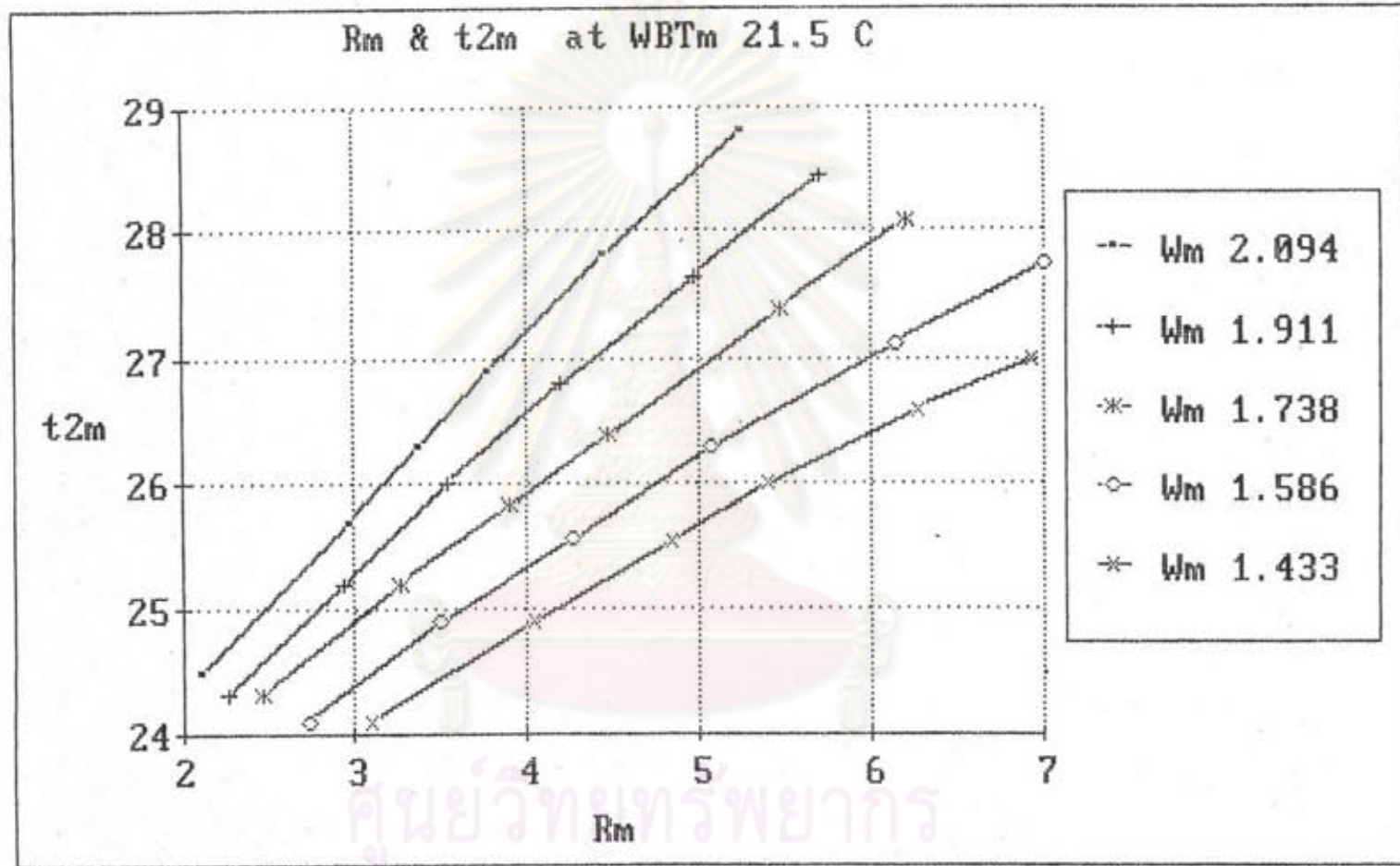
รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 18.7 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



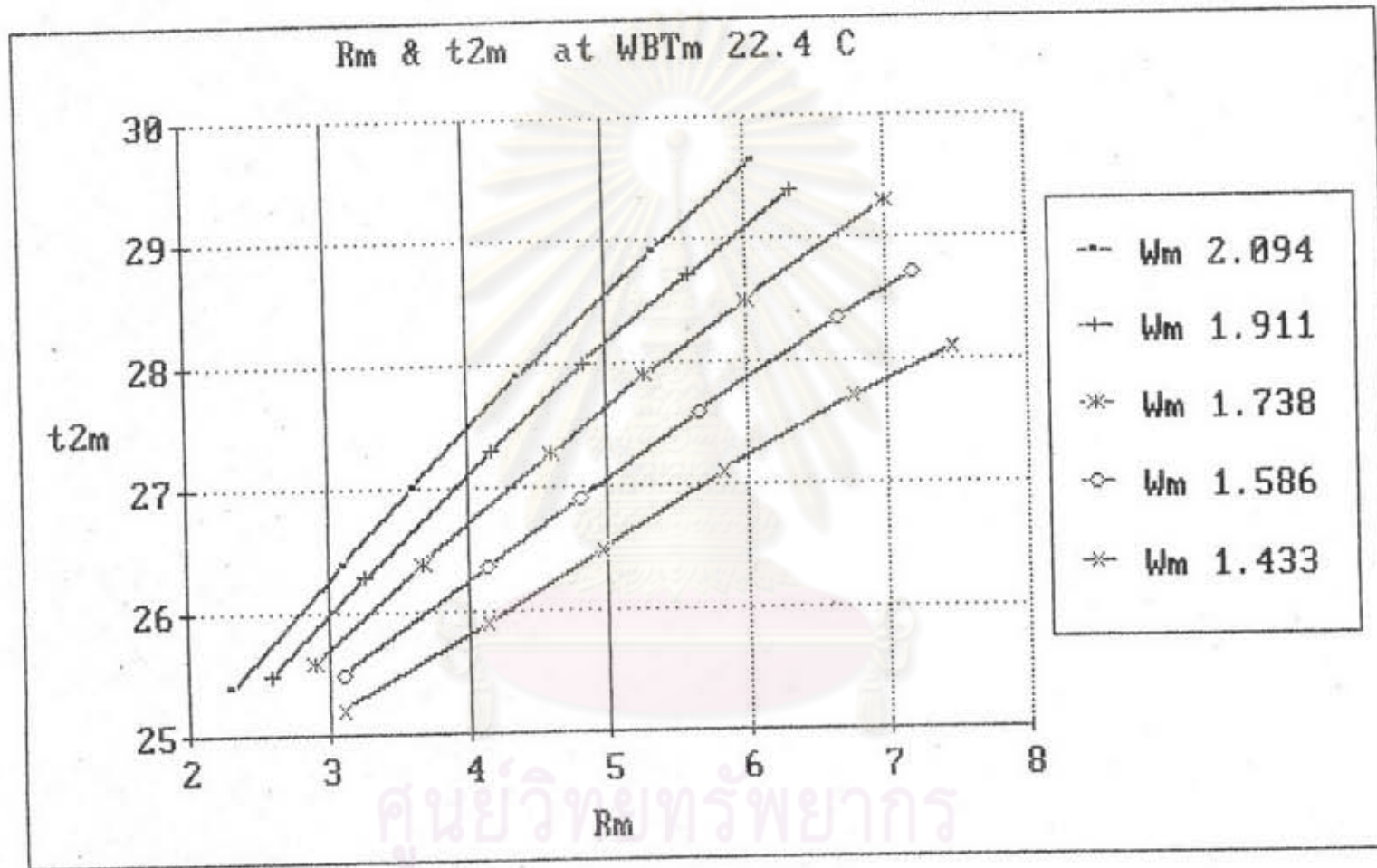
รูปที่ 5.9: กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 19.2 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



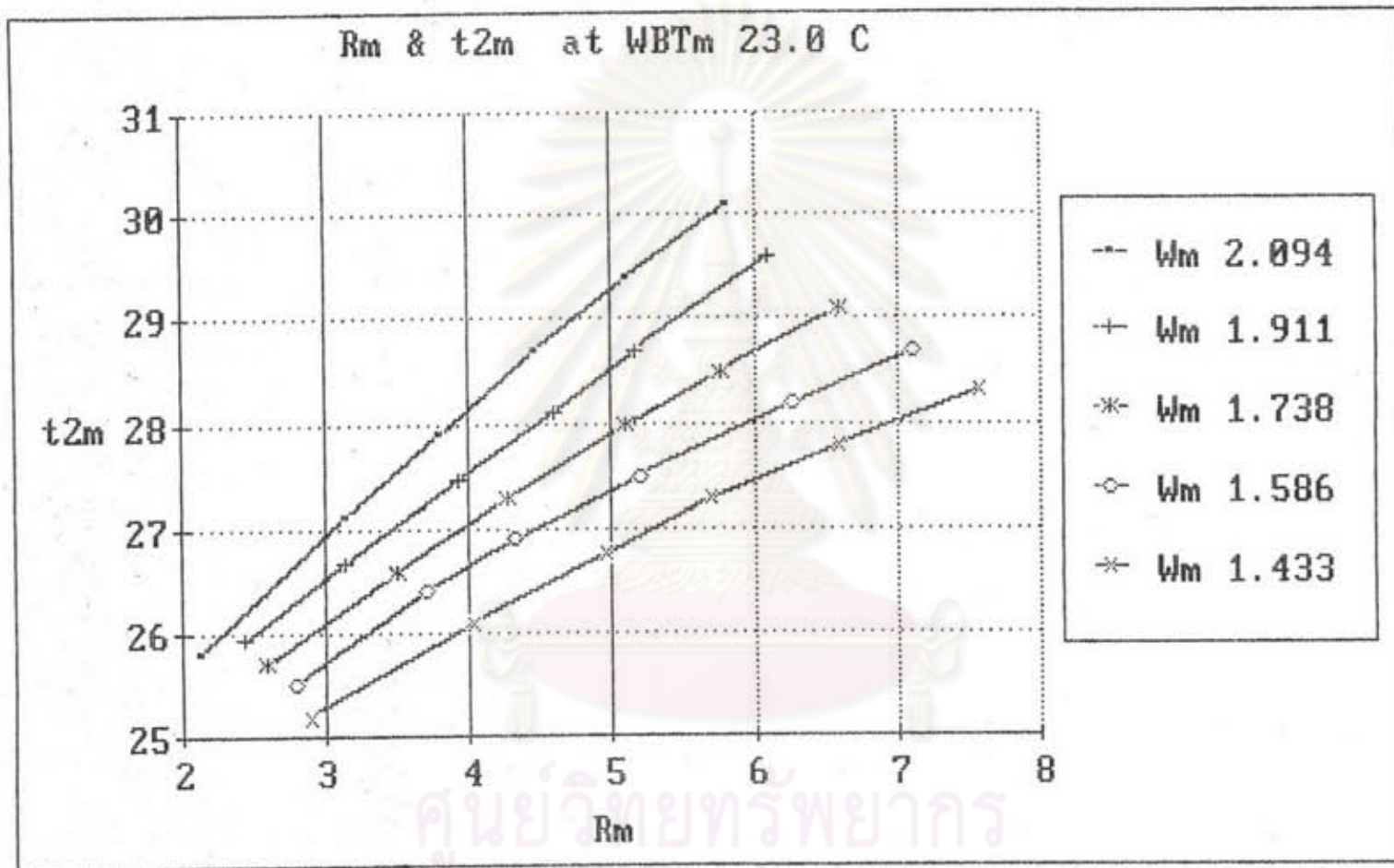
รูปที่ 5.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 20.5 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



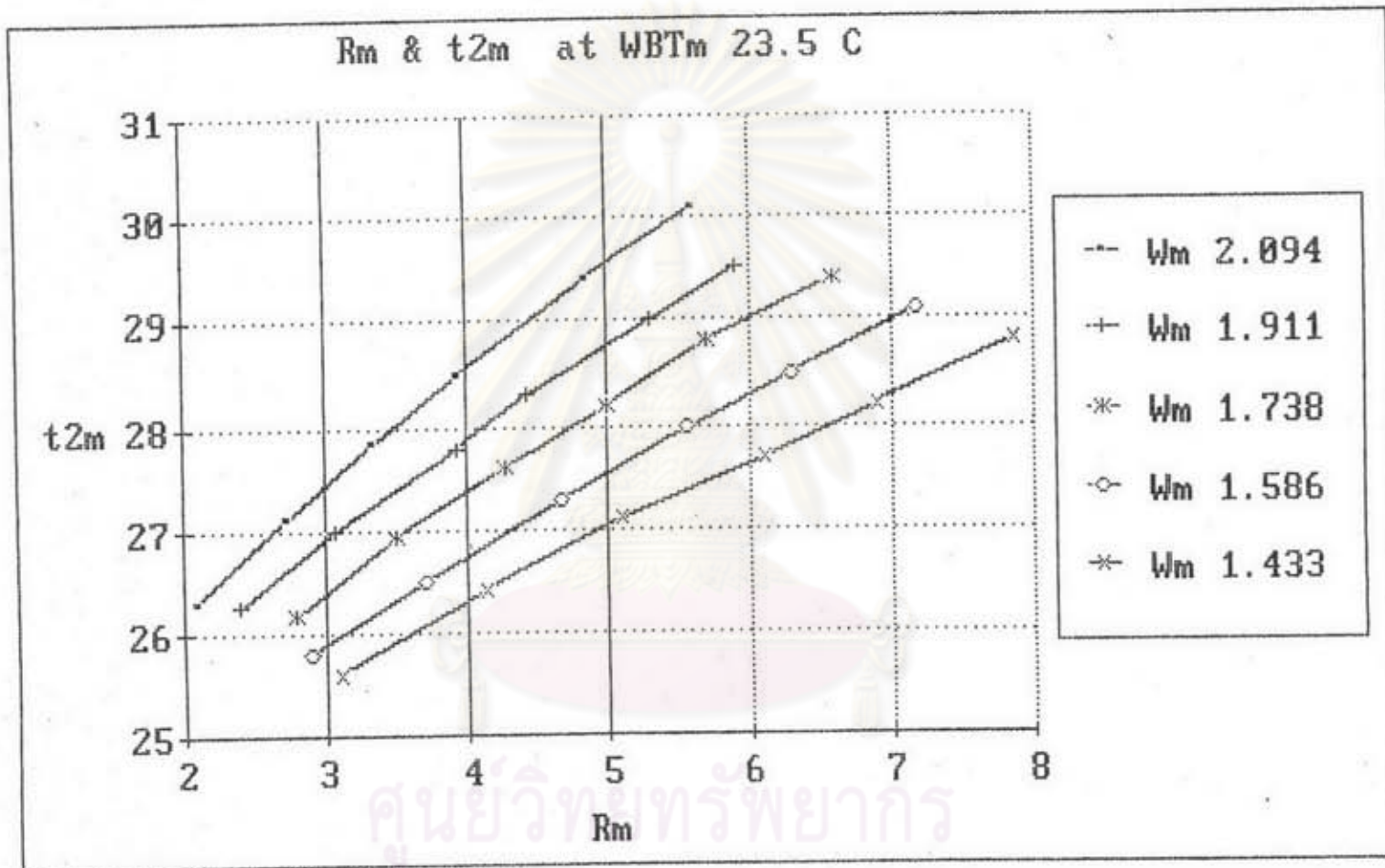
รูปที่ 5.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 21.5 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



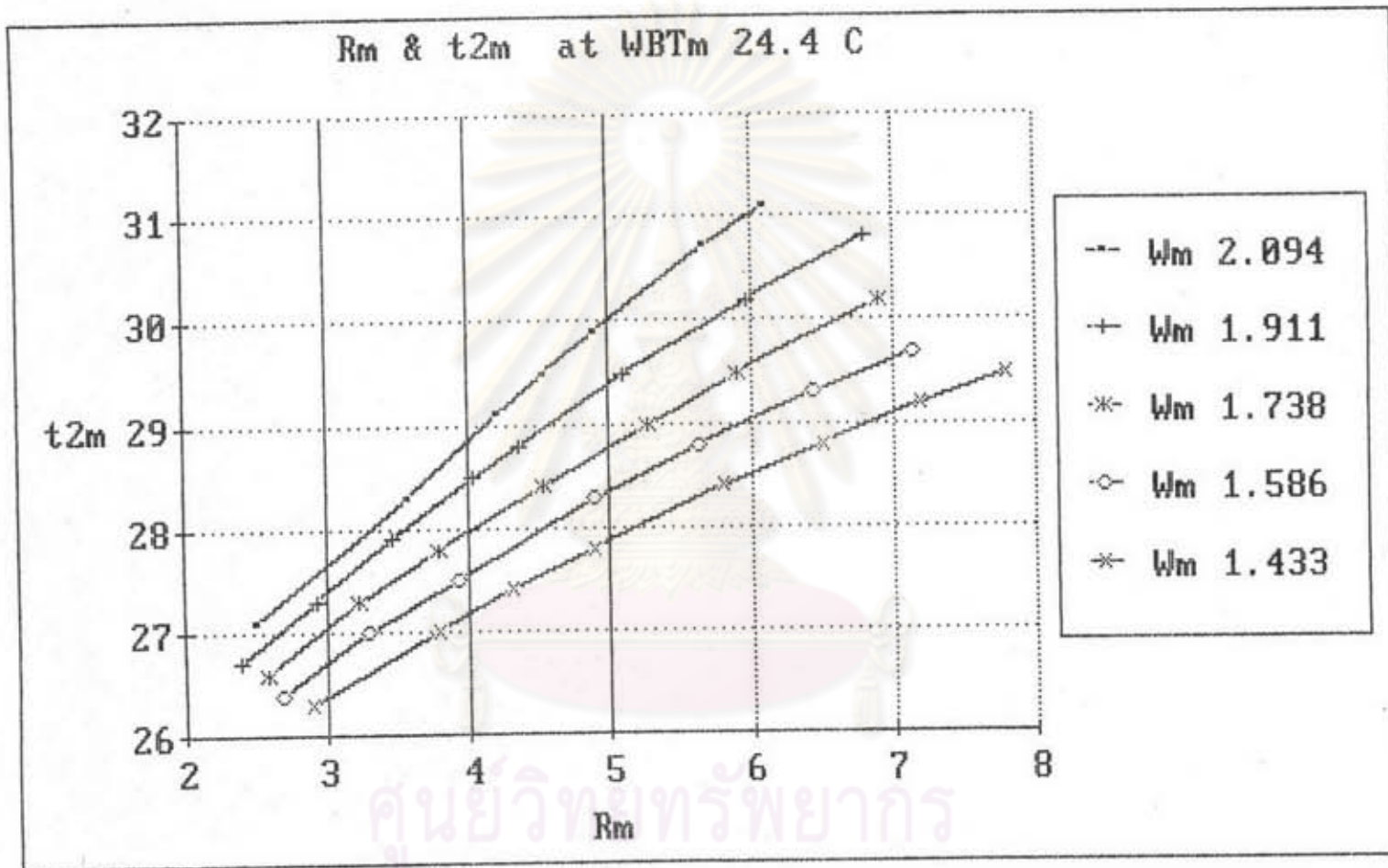
รูปที่ 5.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 22.4 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



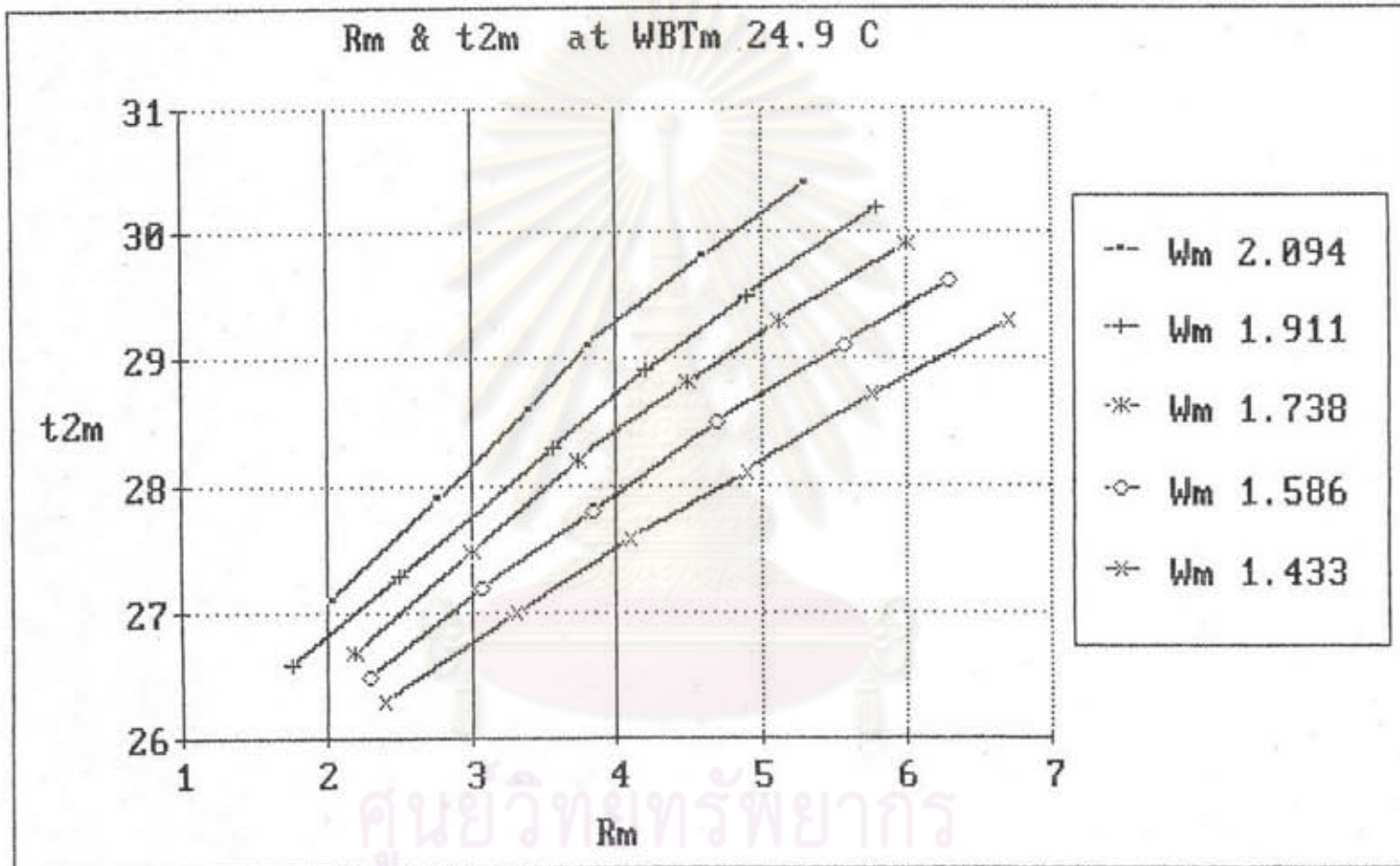
รูปที่ 5.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $Range_m$ กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 23.0^{\circ}C$, $G_m = 0.4882$ Kg/sec. (จากการทดลอง)



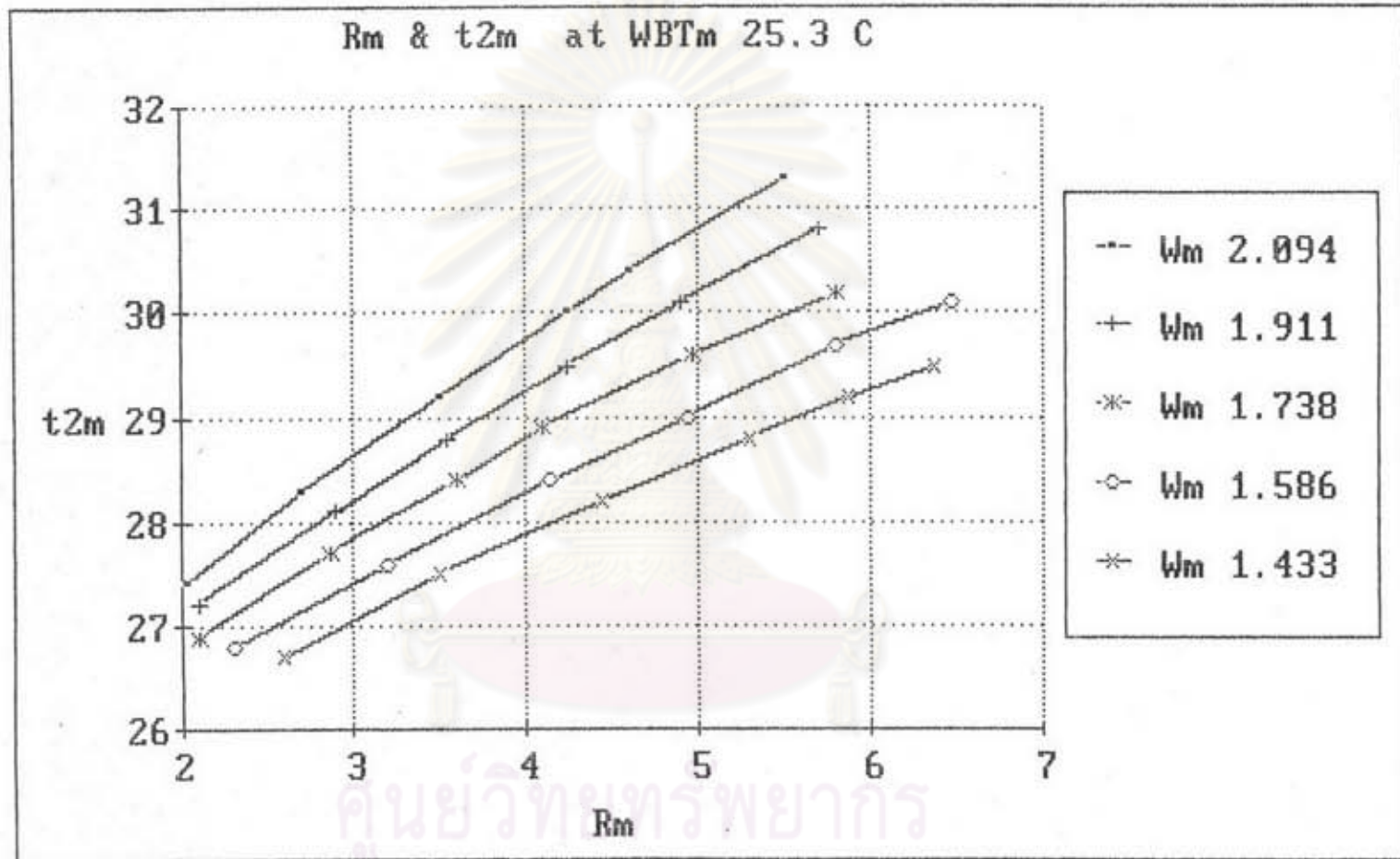
รูปที่ 5.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 23.5 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



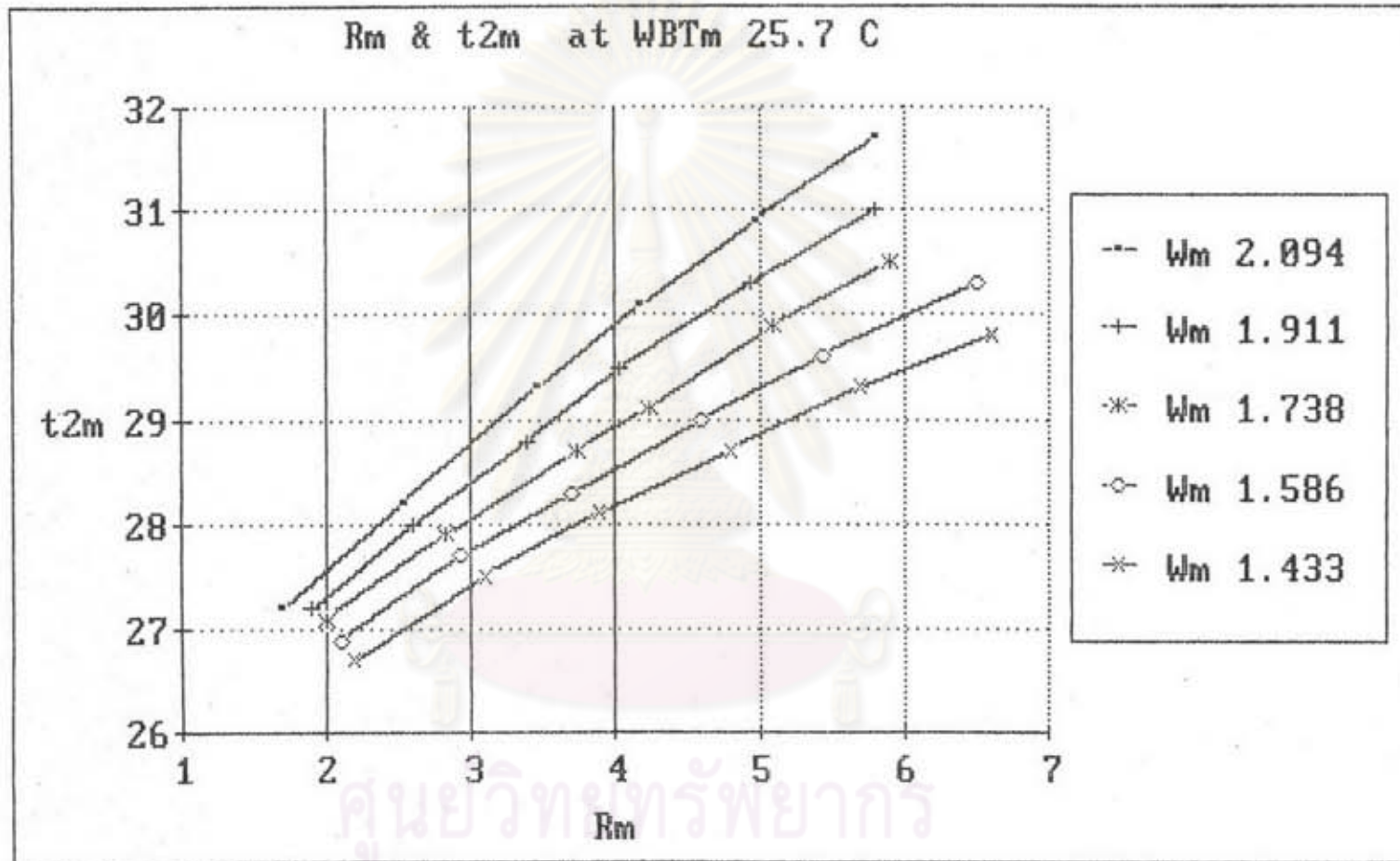
รูปที่ 5.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 24.4 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



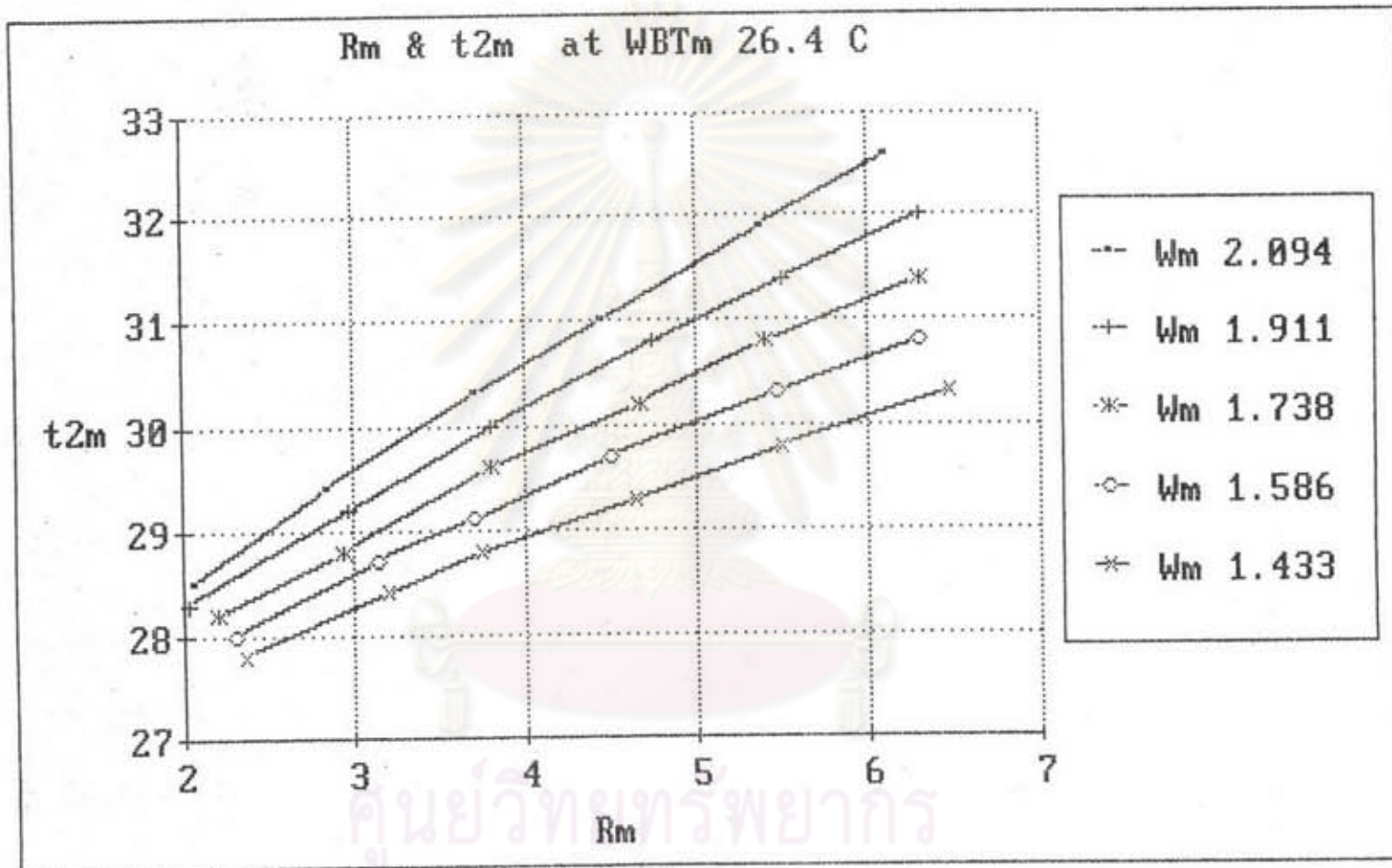
รูปที่ 5.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 24.9 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



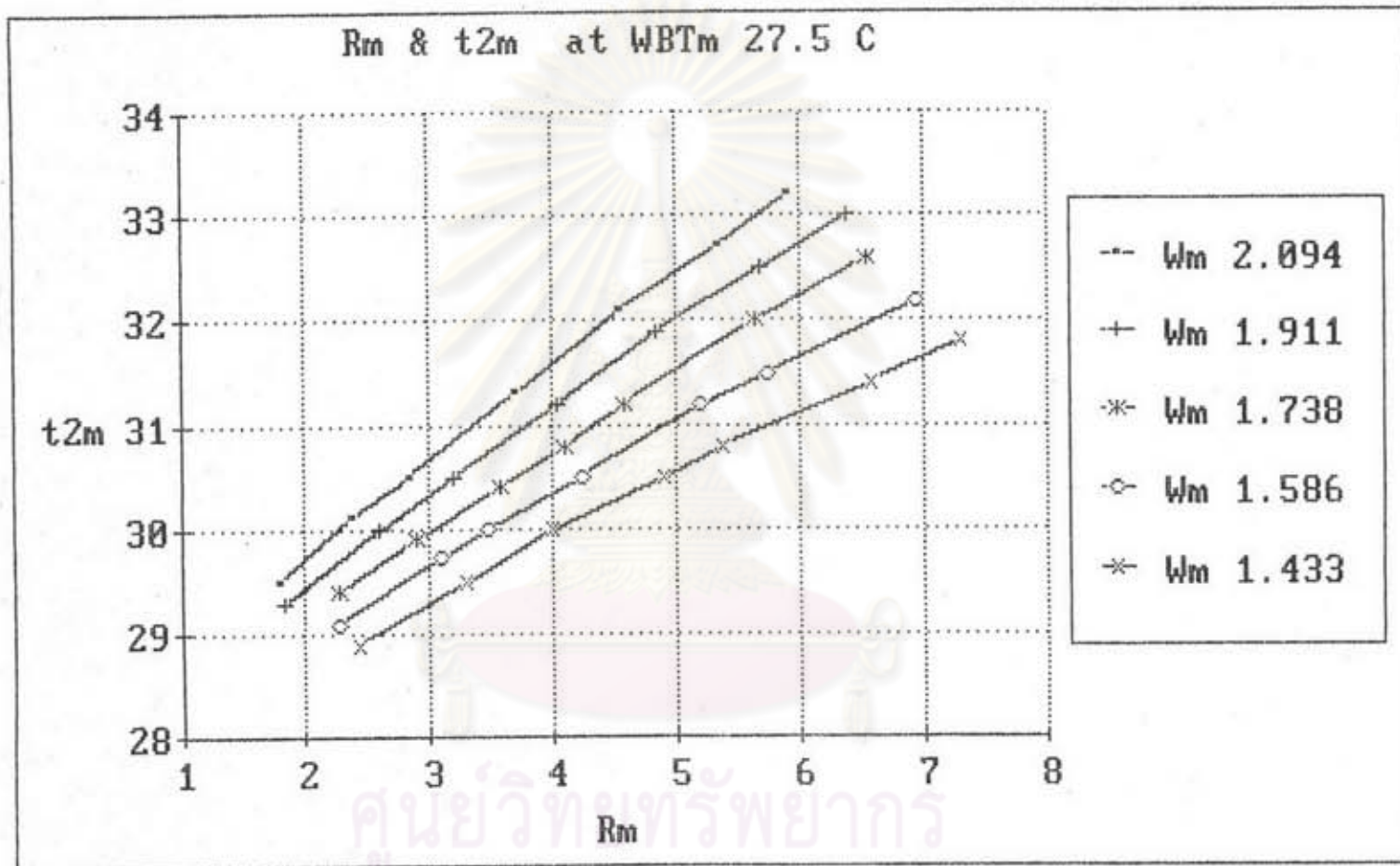
รูปที่ 5.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 25.3 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



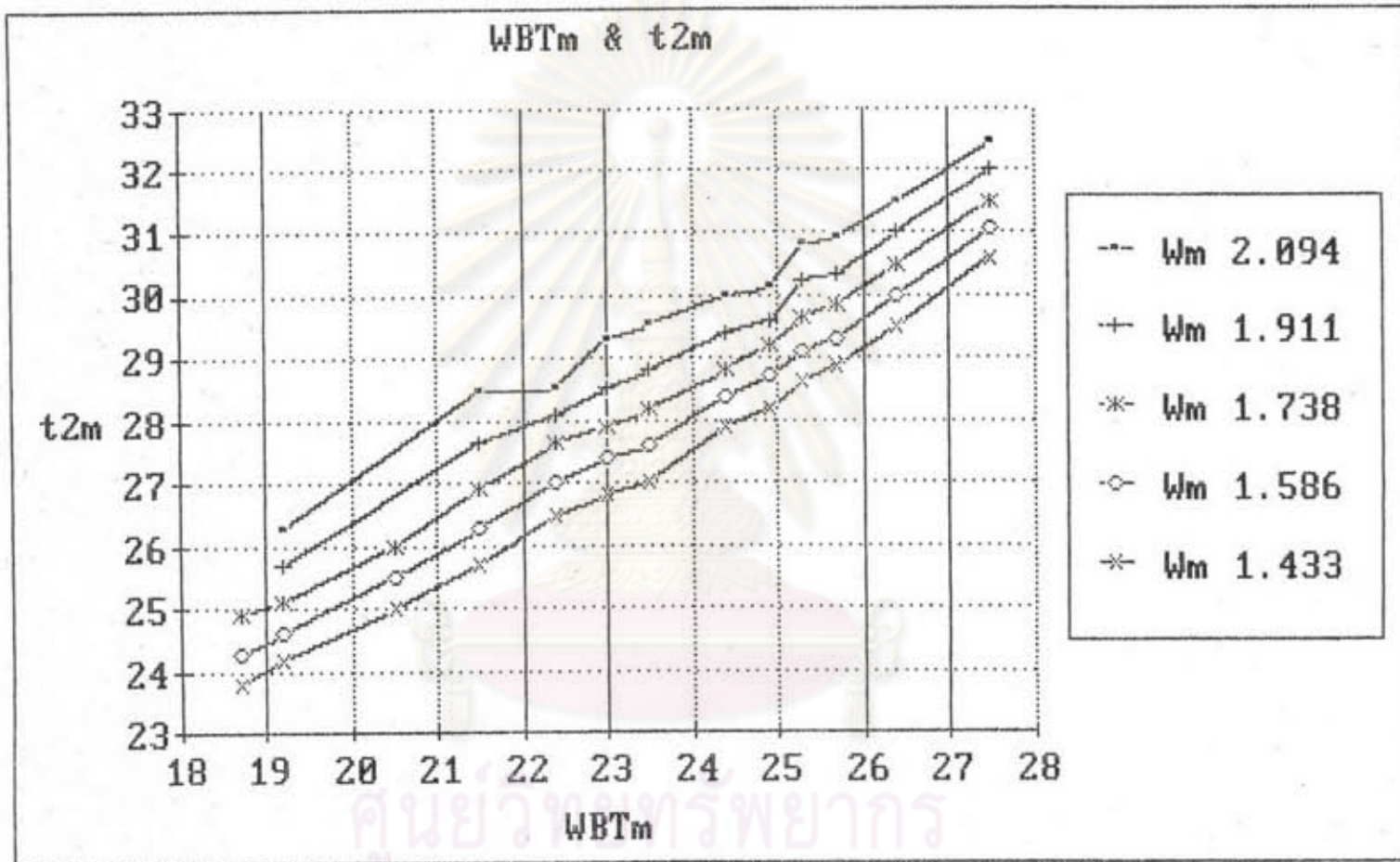
รูปที่ 5.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 25.7 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



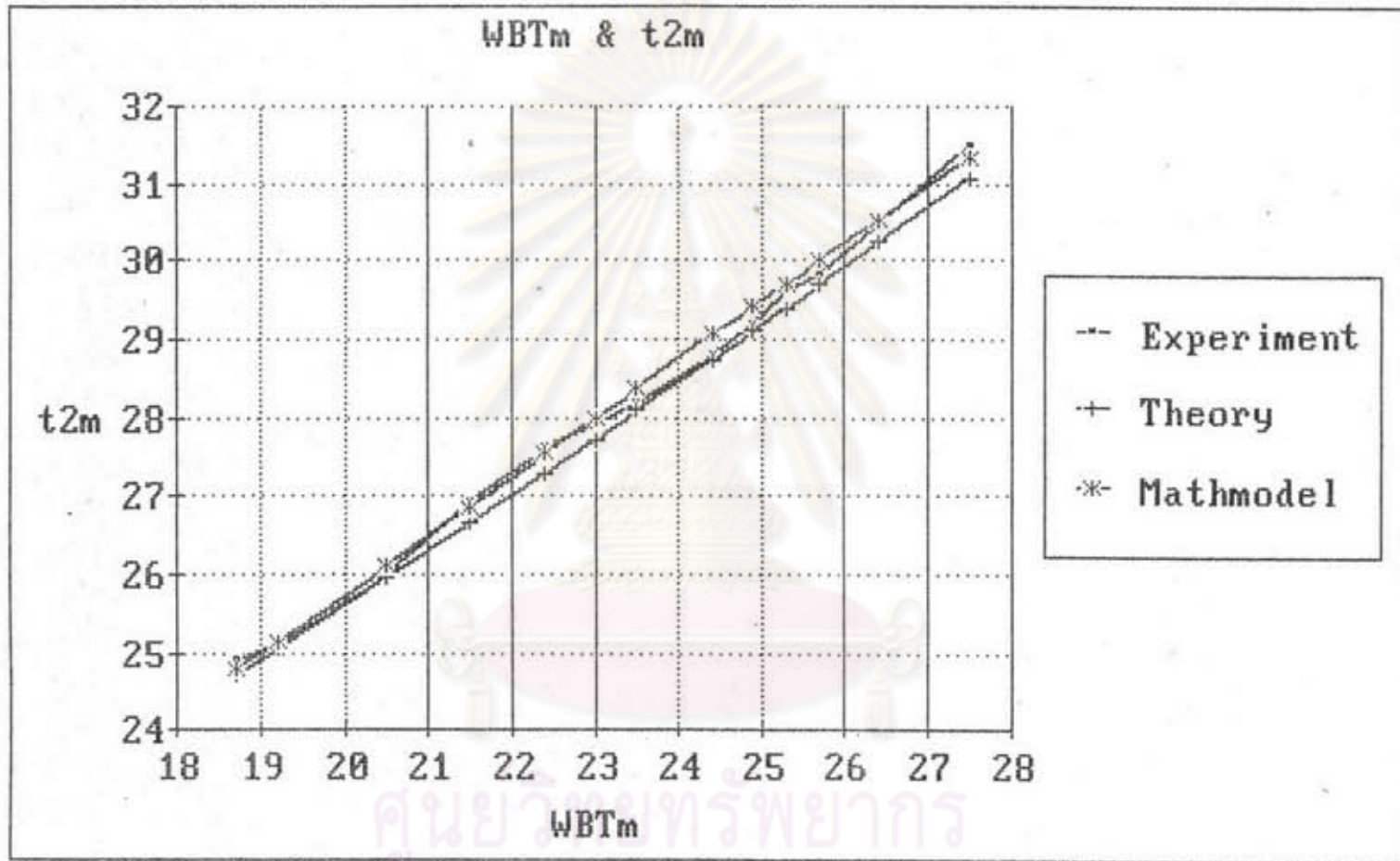
รูปที่ 5.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 26.4 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



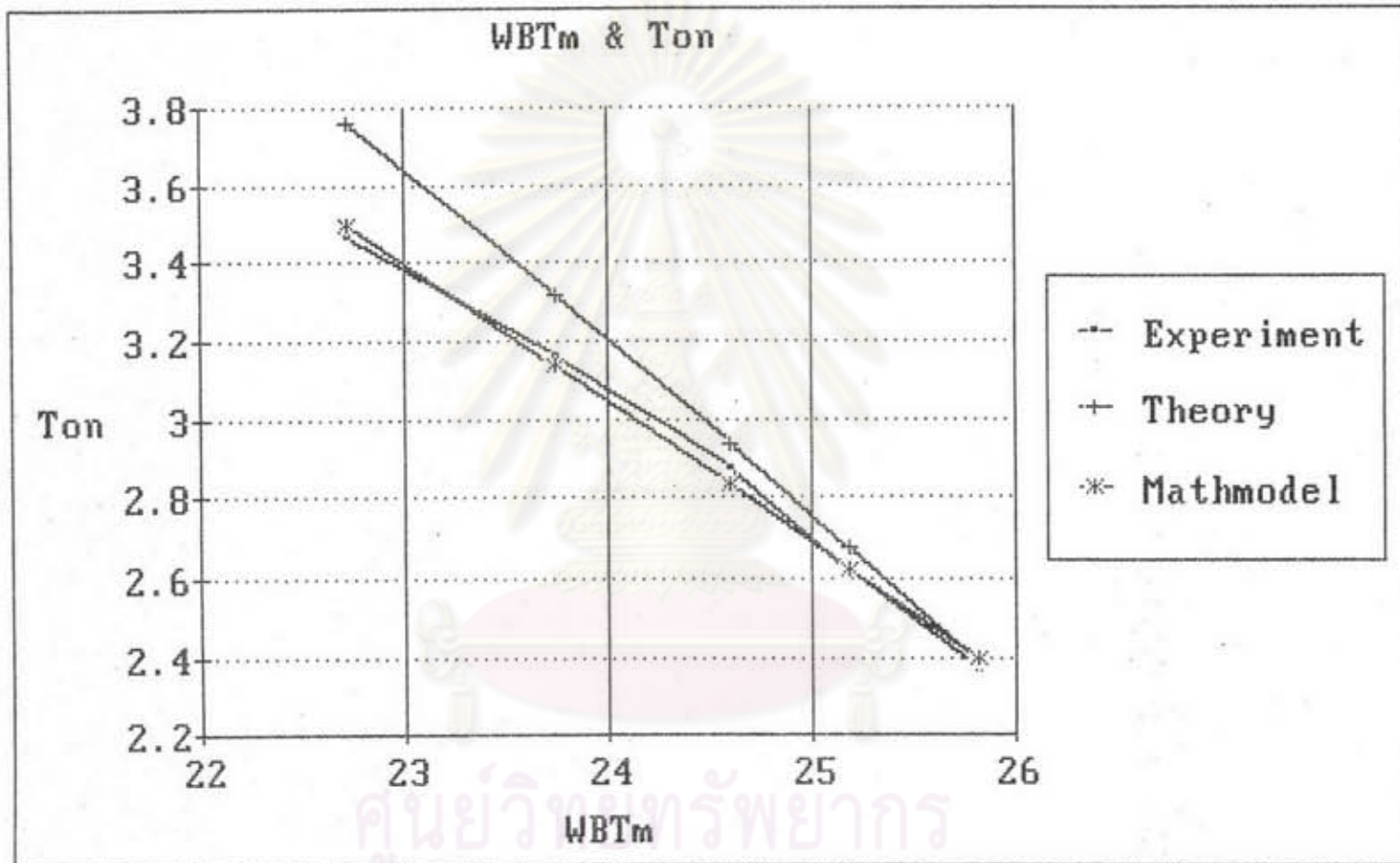
รูปที่ 5.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Range_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า WBT_m = 27.5 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



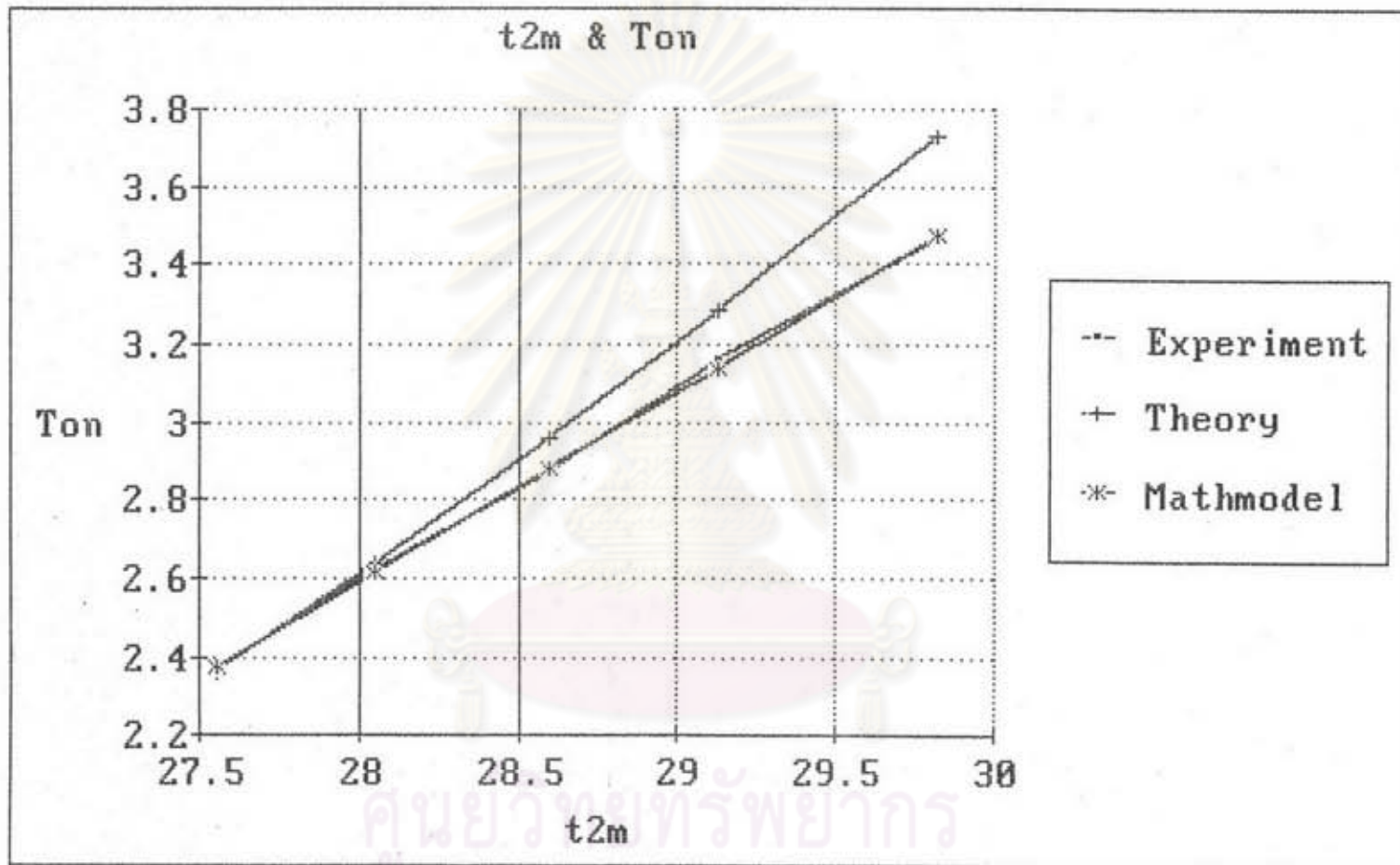
รูปที่ 5.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า R_m = 5 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



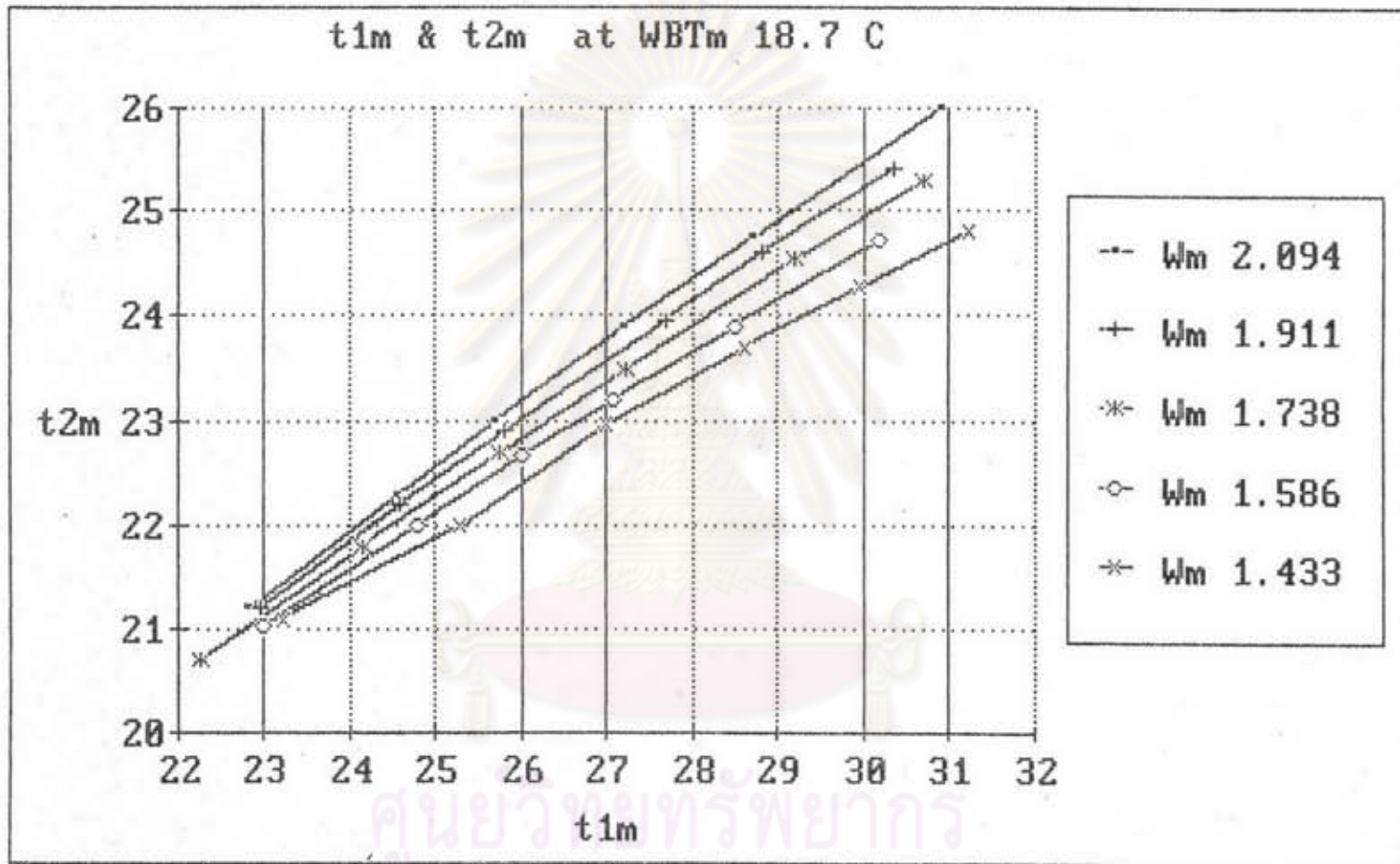
รูปที่ 5.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เปรียบเทียบโดย การทดลอง, ทฤษฎี และ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อคงที่ค่า R_m = 5 °C, W_m = 1.738 m³/hr., G_m = 0.4882 Kg/sec.



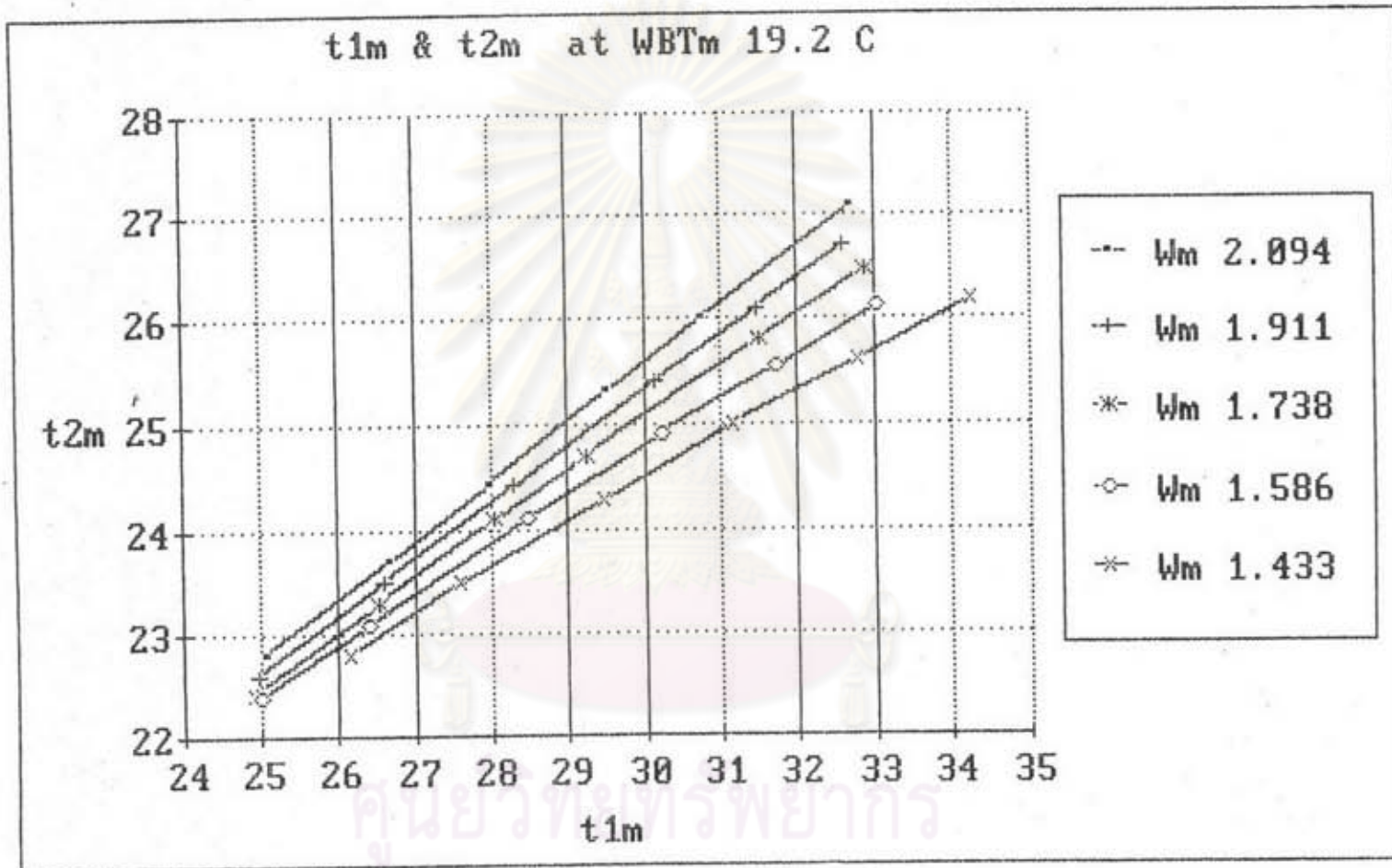
รูปที่ 5.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ Ton เปรียบเทียบโดยการทดลอง, ทฤษฎี และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า W_m คงที่ค่า $t_{2m} = 29^\circ\text{C}$, $R_m = 5^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec}$.



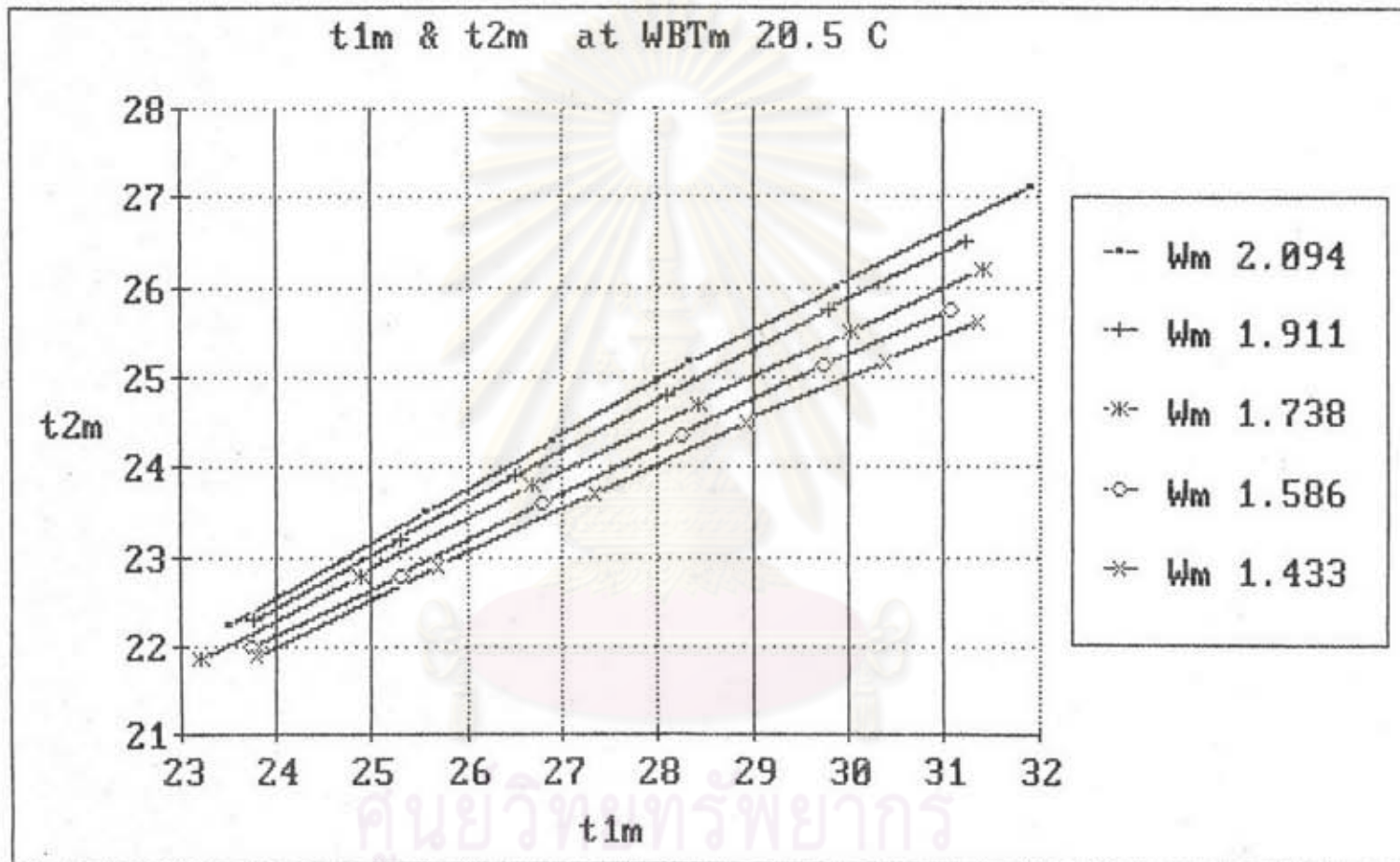
รูปที่ 5.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{2m} กับ Ton เปรียบเทียบโดยการทดลอง, ทฤษฎี และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า w_m คงที่ค่า $R_m = 5^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec}$.



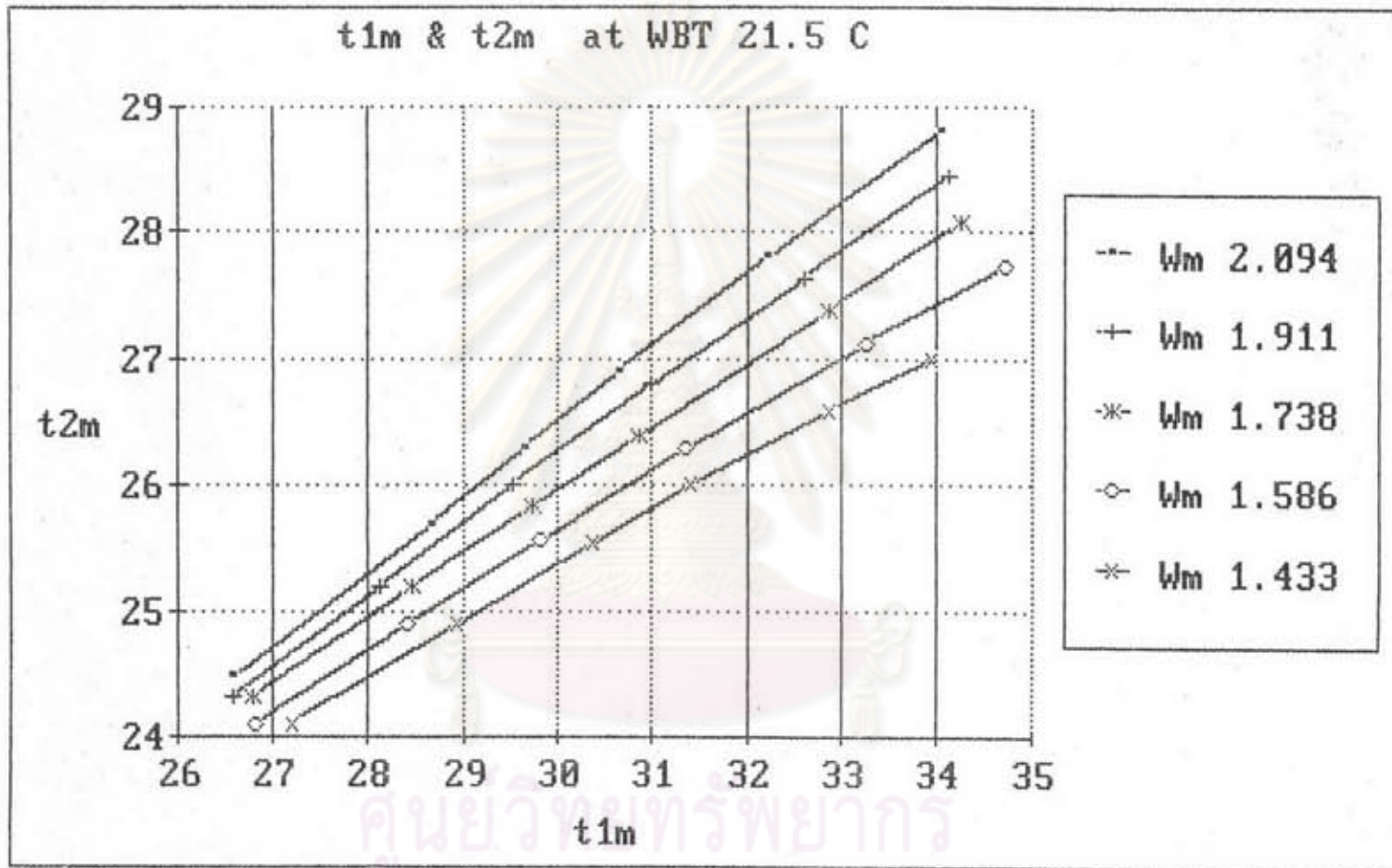
รูปที่ 5.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 18.7^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



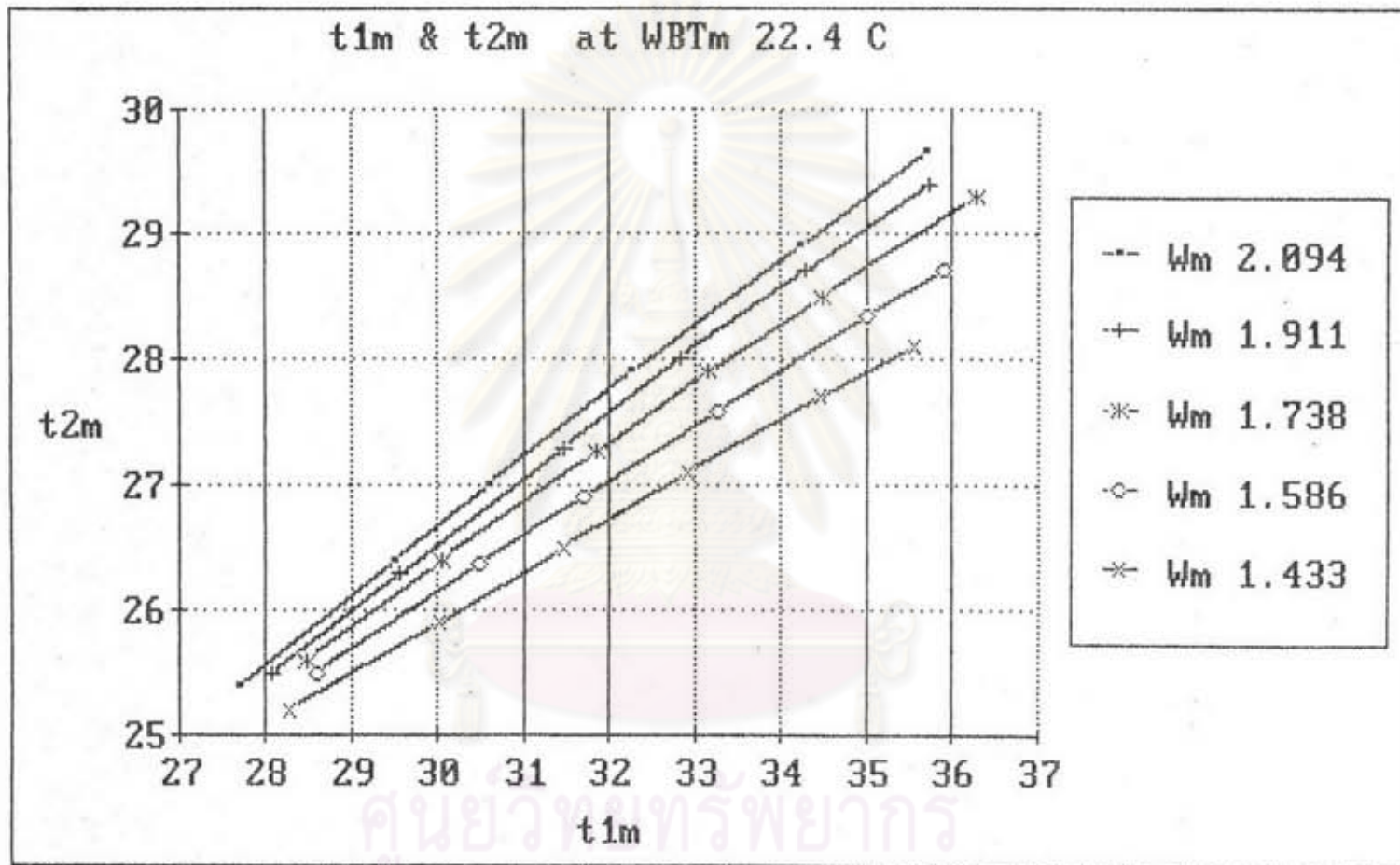
รูปที่ 5.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อ คงที่ค่า $WBT_m = 19.2^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



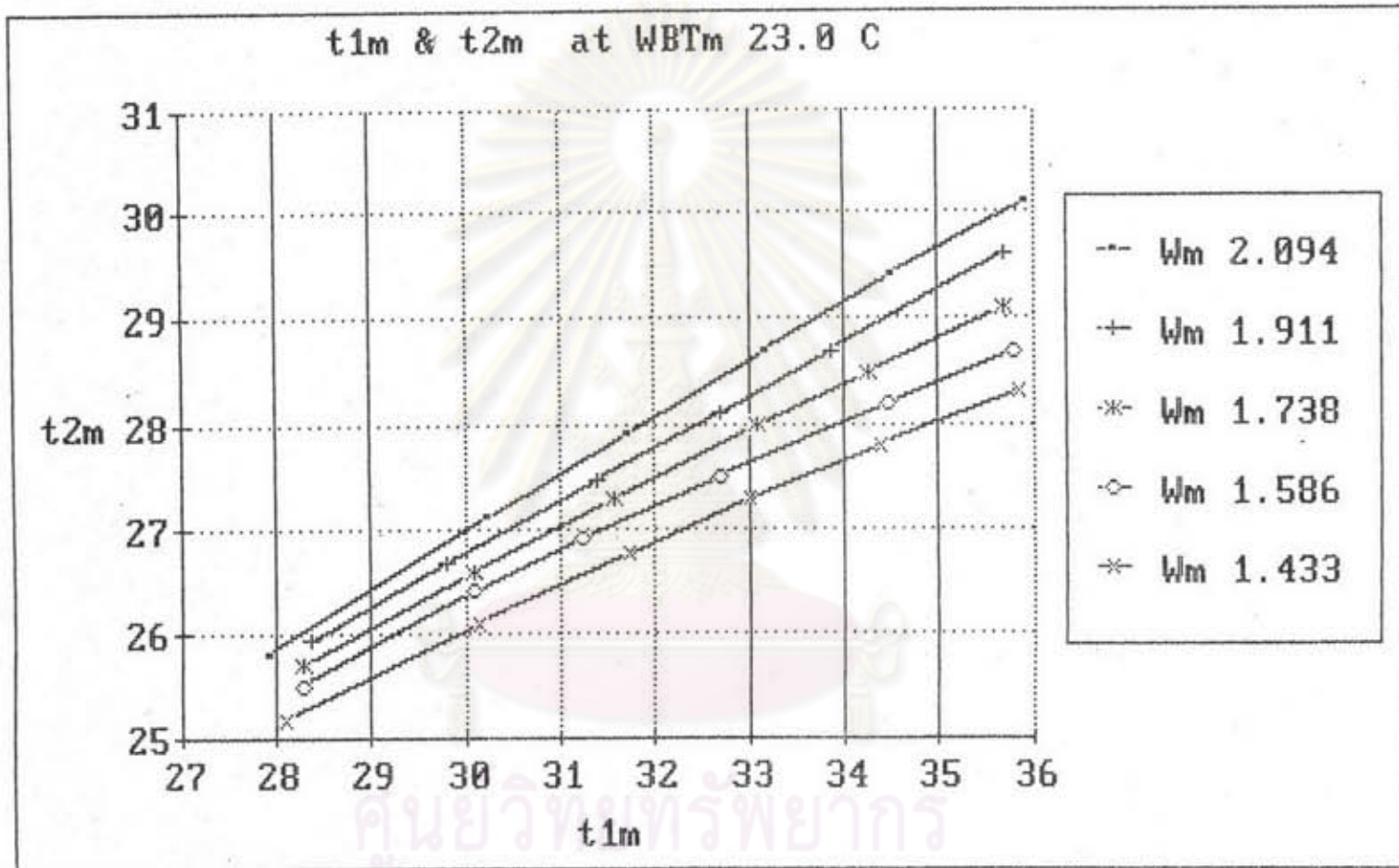
รูปที่ 5.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 20.5^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



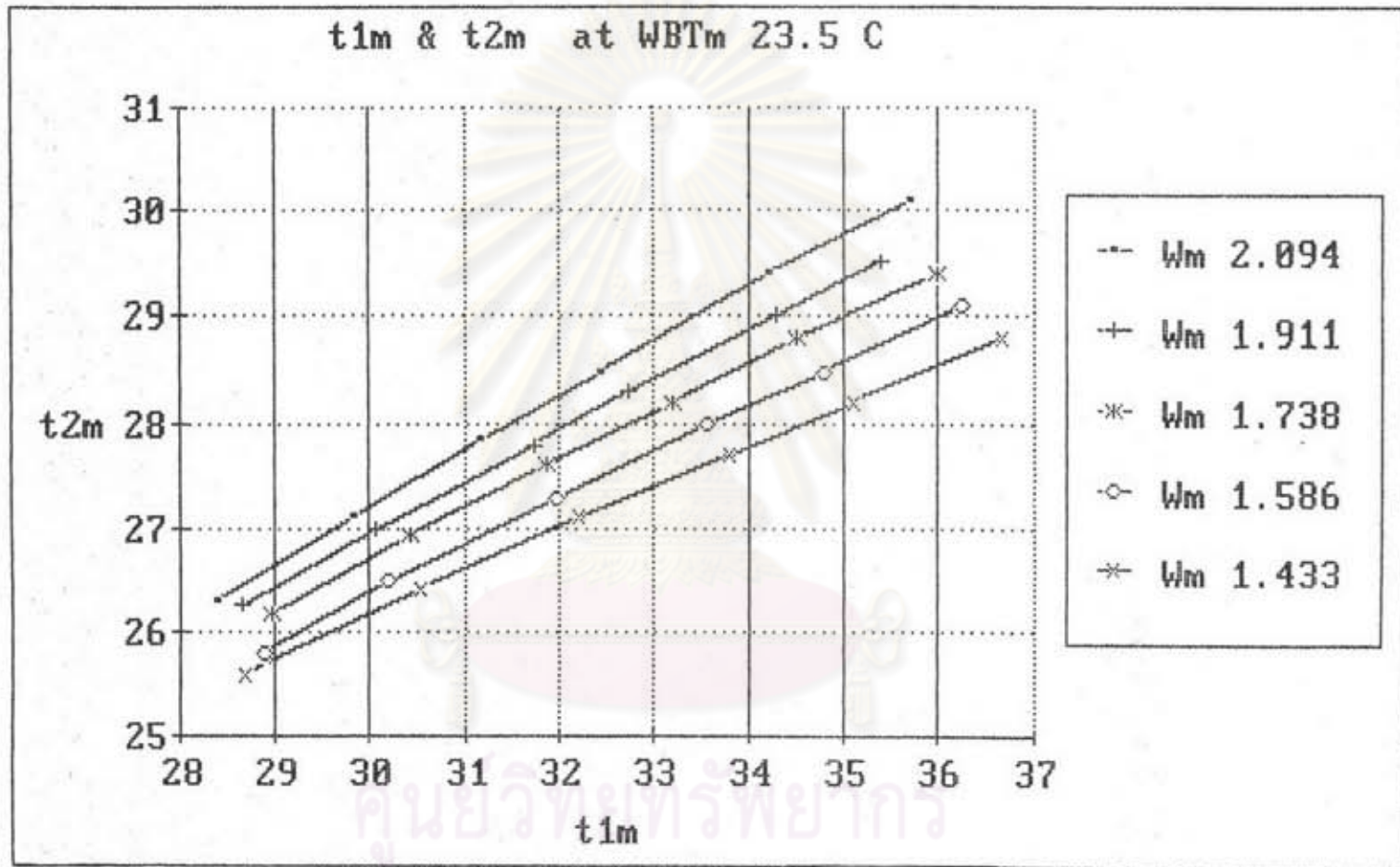
รูปที่ 5.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 21.5^\circ C$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



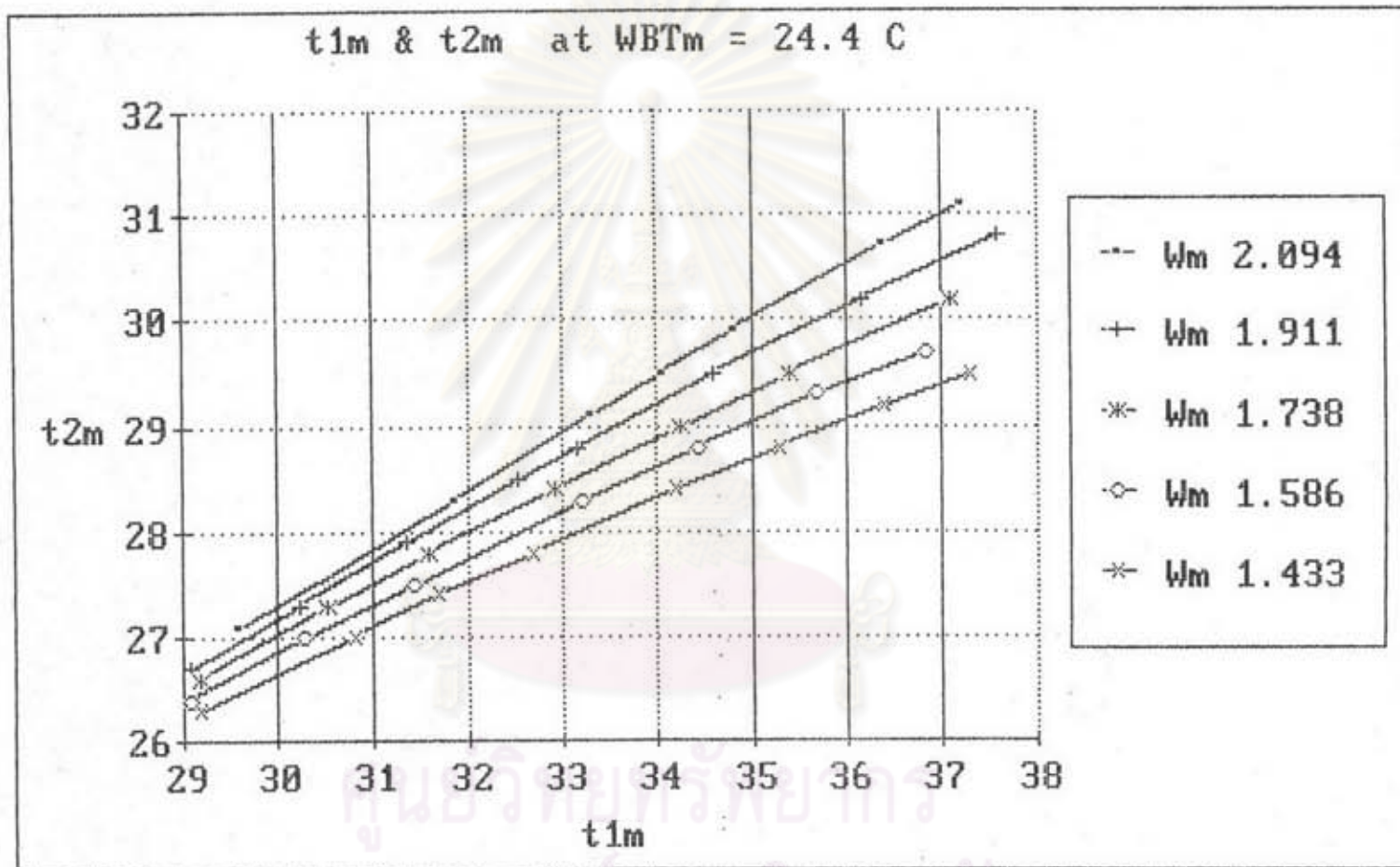
รูปที่ 5.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 22.4$ °C , $G_m = 0.4882$ Kg/sec. (จากการทดลอง)



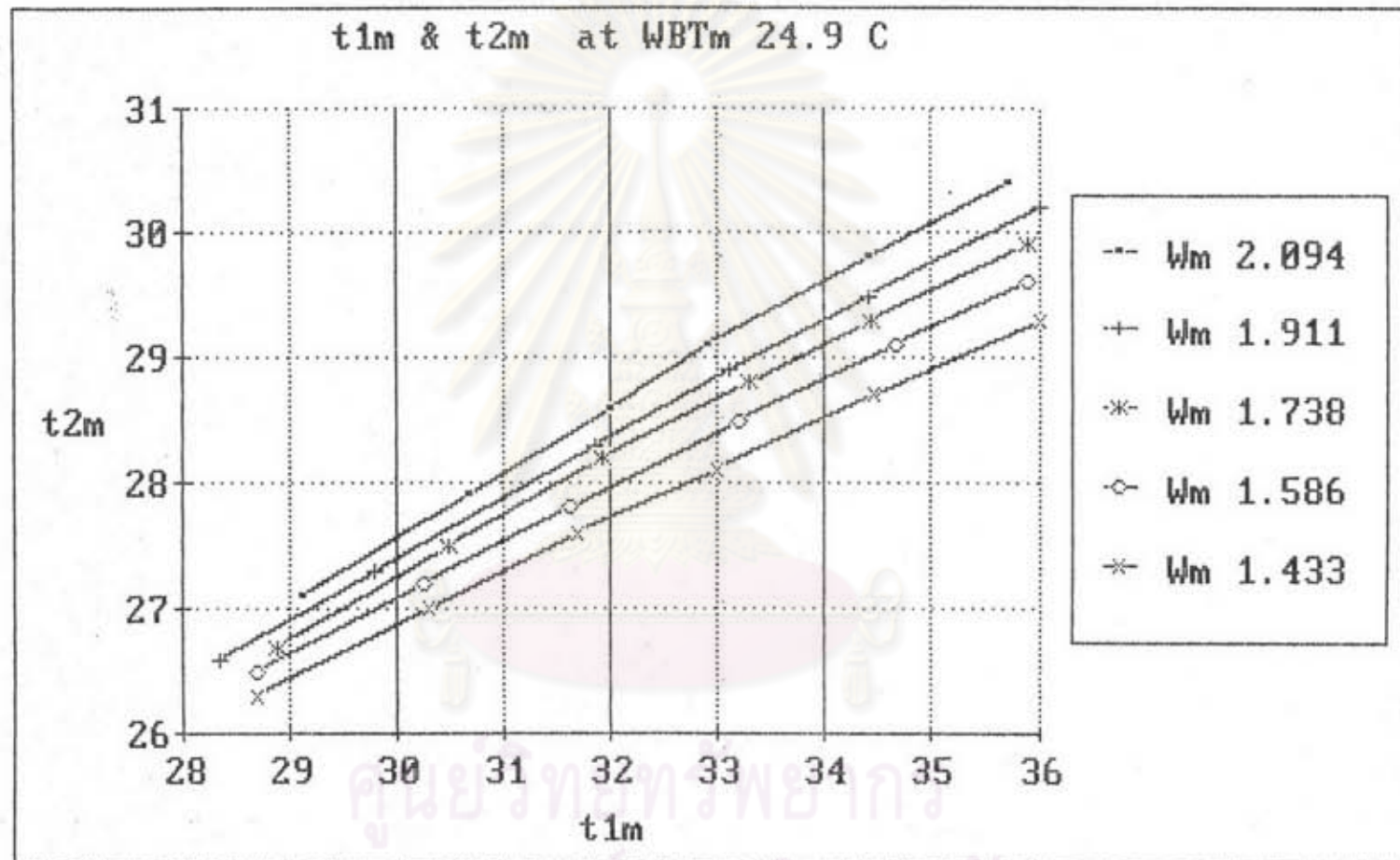
รูปที่ 5.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 23.0^{\circ}C$, $G_m = 0.4882$ Kg/sec. (จากการทดลอง)



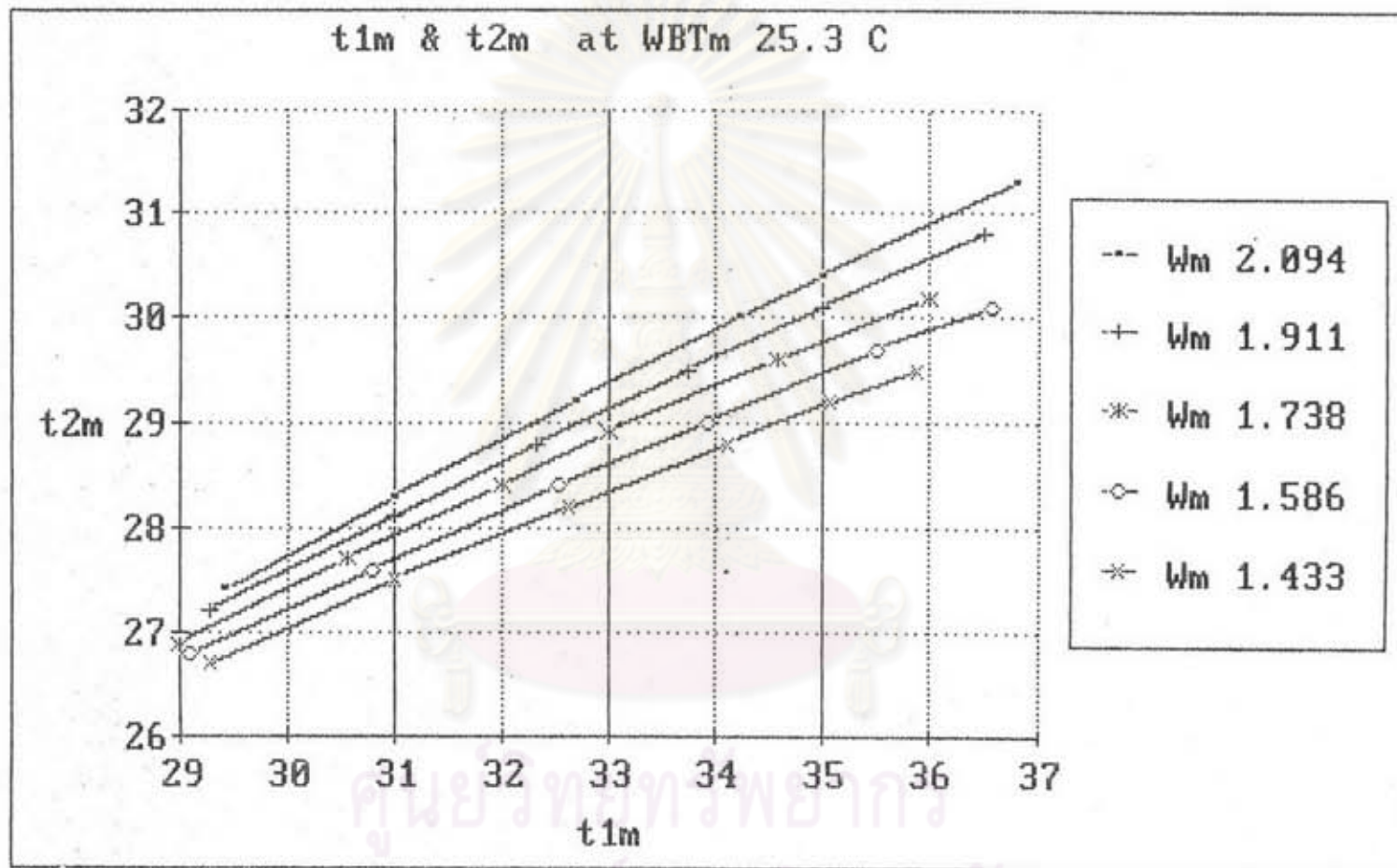
รูปที่ 5.31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของไอน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 23.5^{\circ}C$, $G_m = 0.4882$ Kg/sec. (จากการทดลอง)



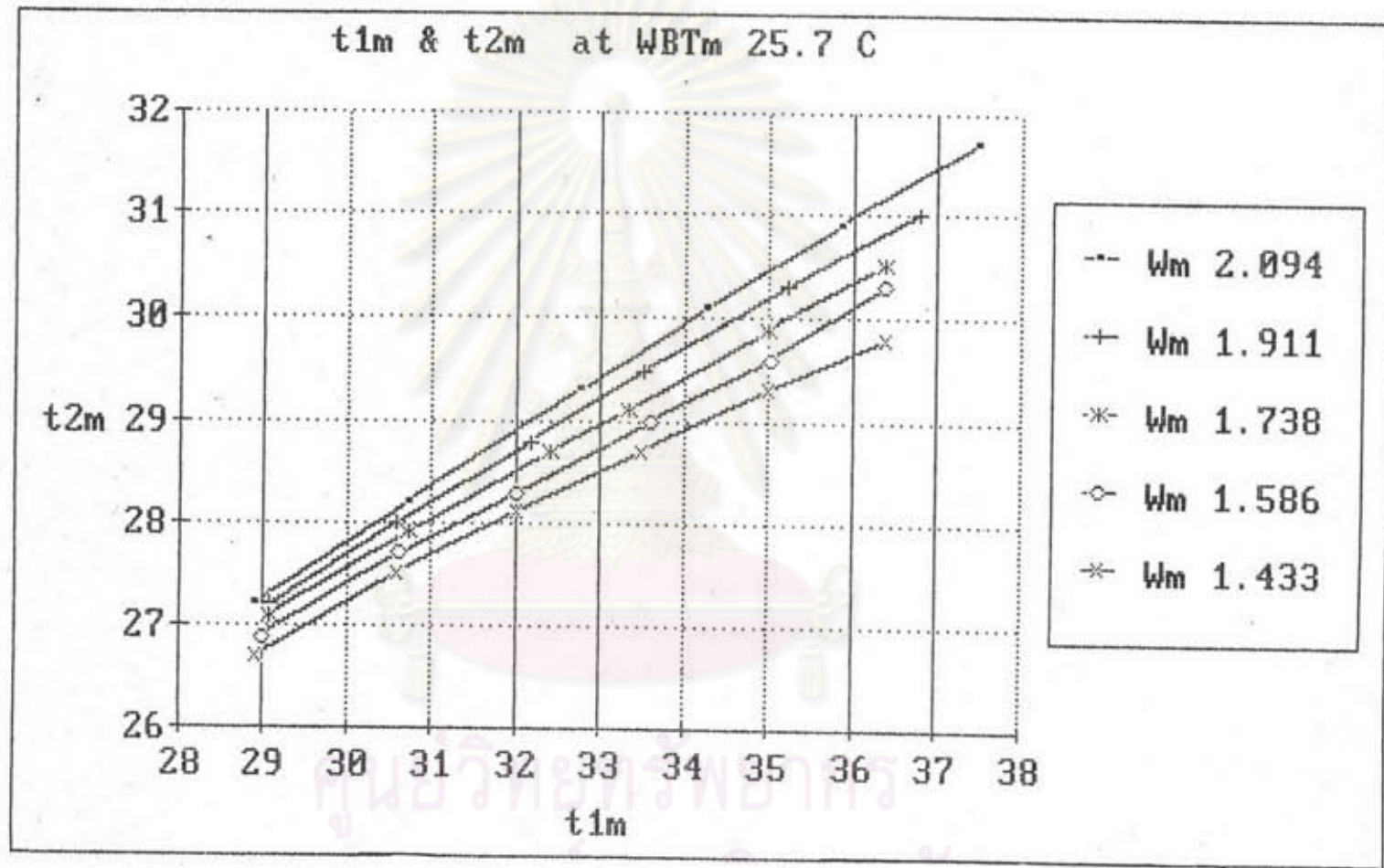
รูปที่ 5.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 24.4$ C , $G_m = 0.4882$ Kg/sec. (จากการทดลอง)



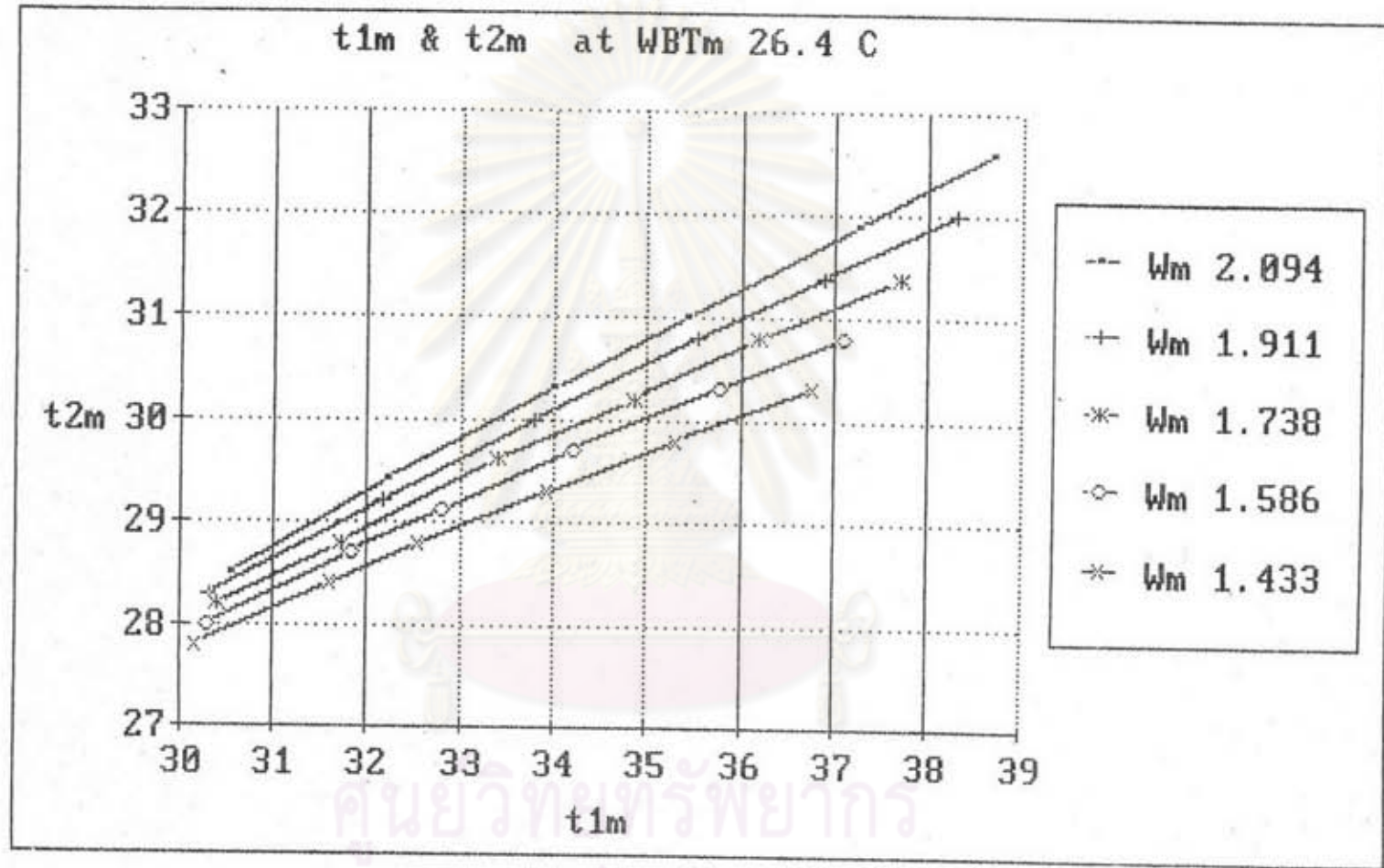
รูปที่ 5.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 24.9^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



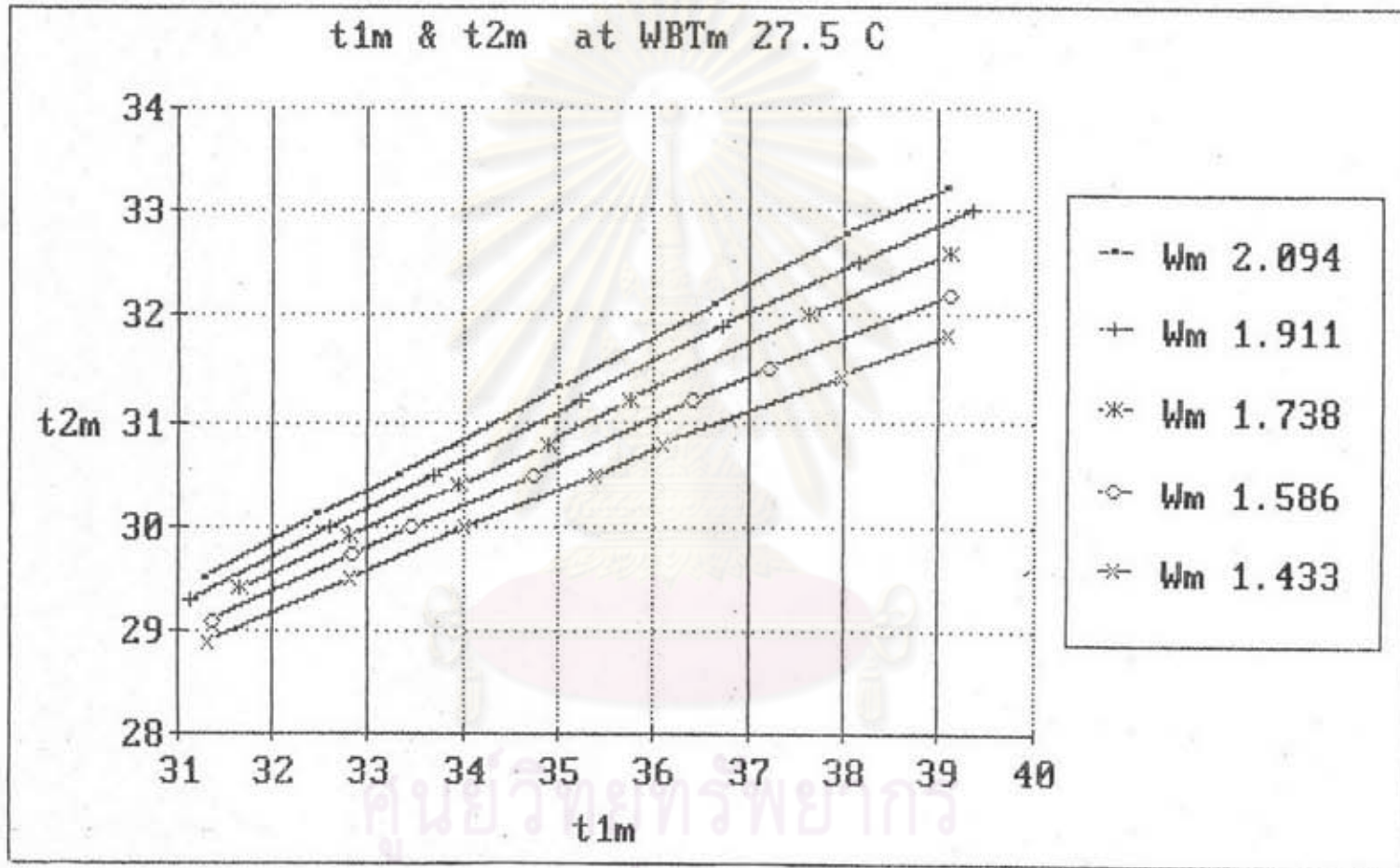
รูปที่ 5.34 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 25.3^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



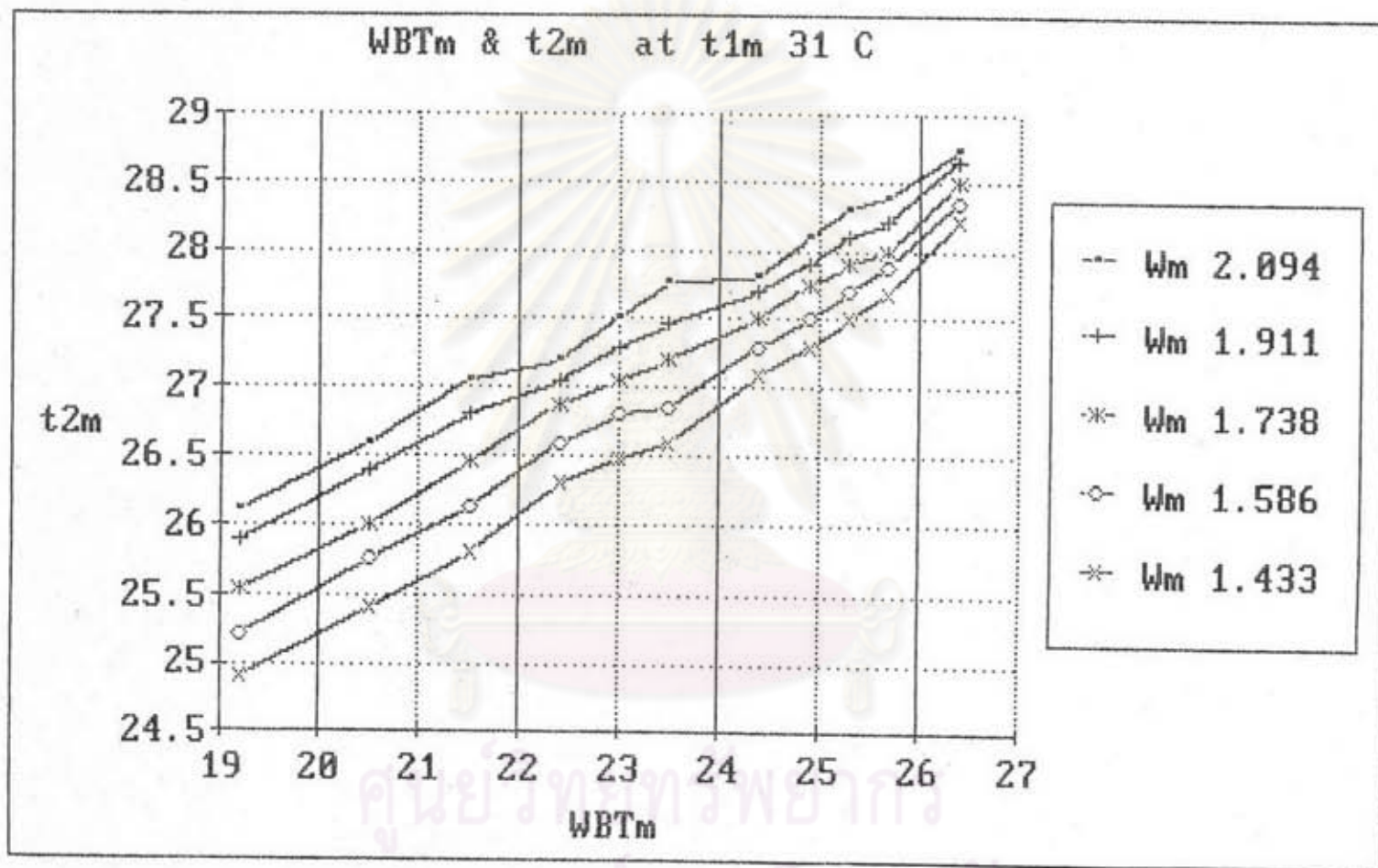
รูปที่ 5.35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 25.7$ °C , $G_m = 0.4882$ Kg/sec. (จากการทดลอง)



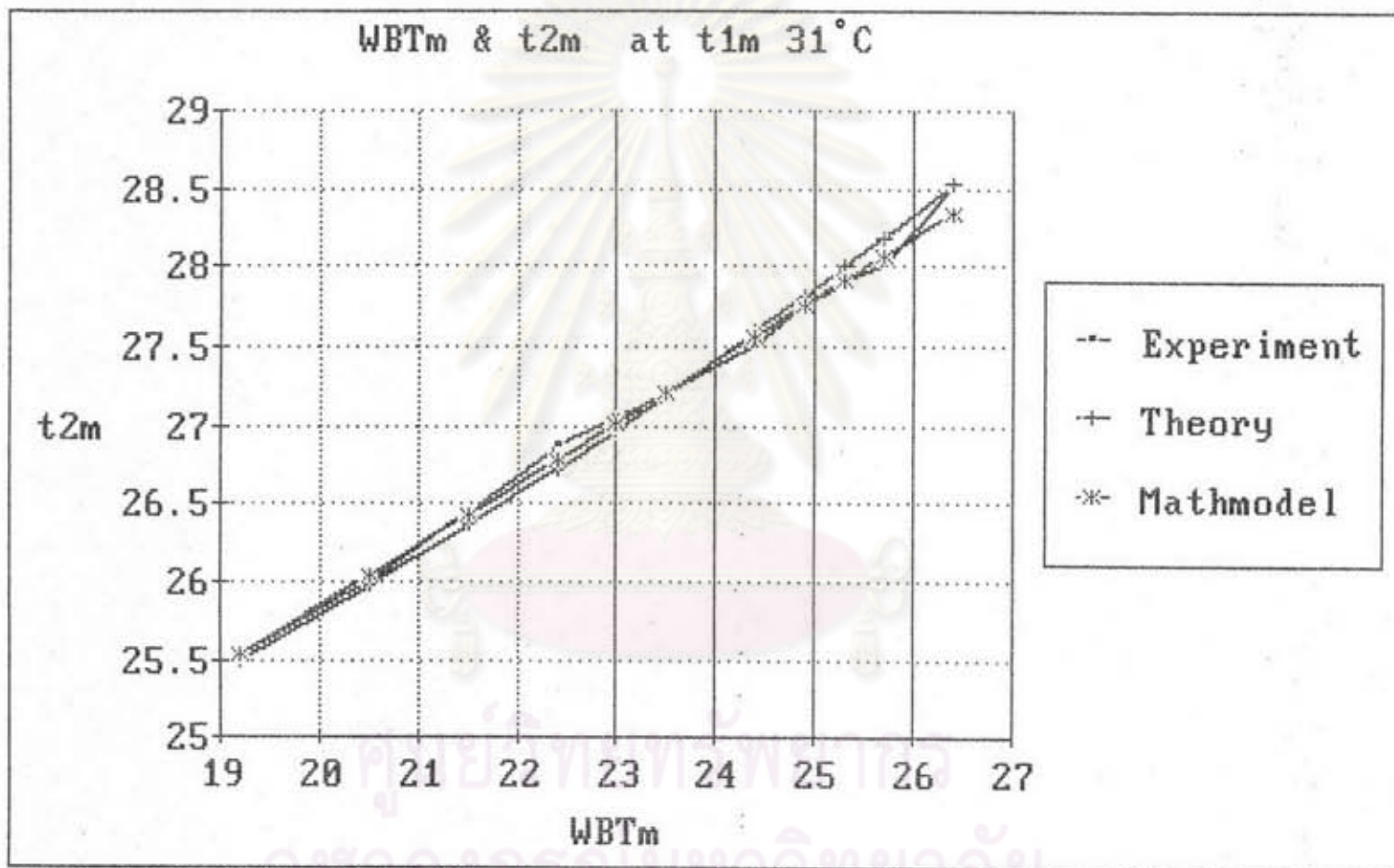
รูปที่ 5.36 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 26.4^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



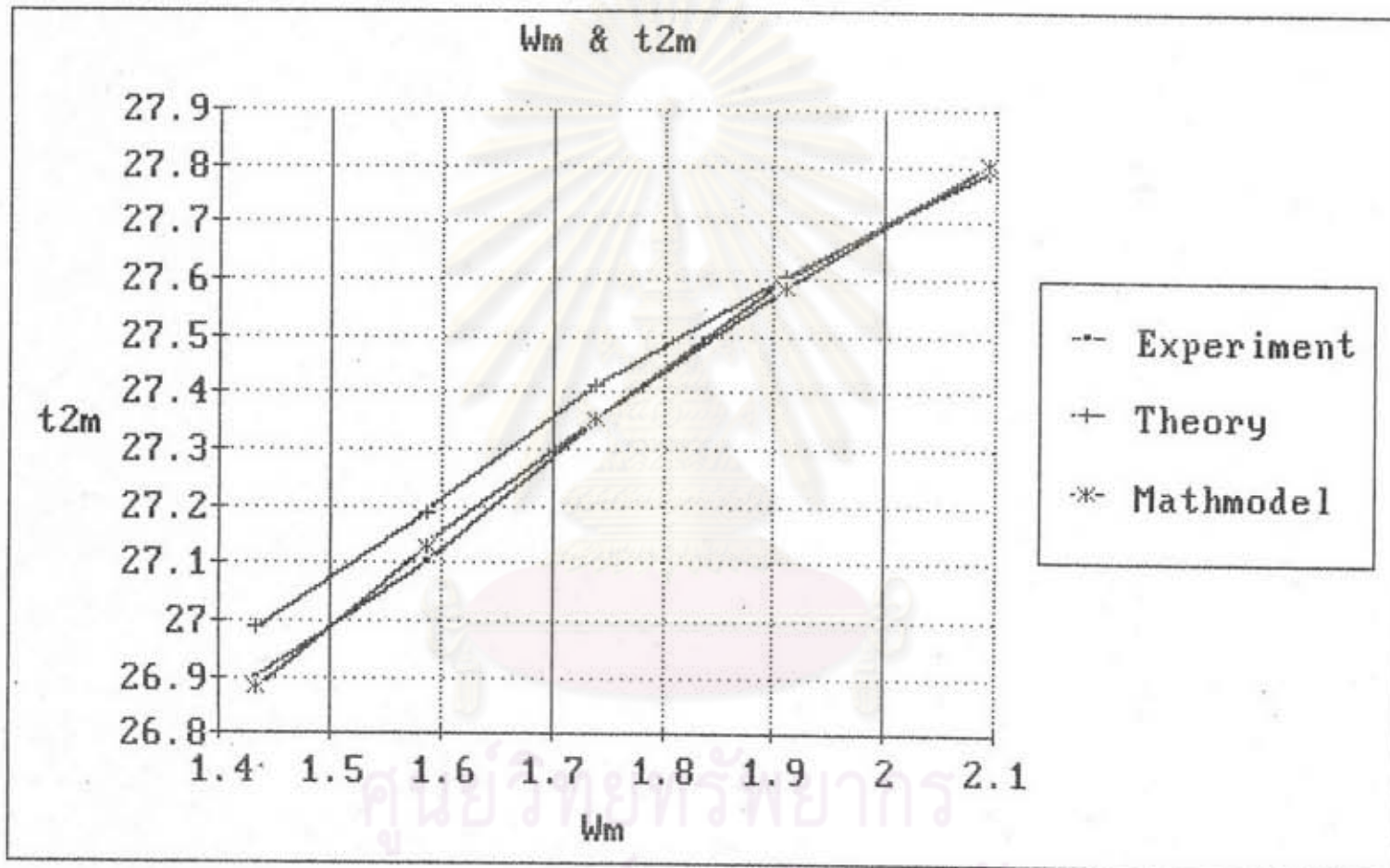
รูปที่ 5.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง t_{1m} กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า $WBT_m = 27.5^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec.}$ (จากการทดลอง)



รูปที่ 5.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} ที่อัตราการไหลของน้ำต่าง ๆ กัน เมื่อคงที่ค่า t_{1m} = 31 °C , G_m = 0.4882 Kg/sec. (จากการทดลอง)



รูปที่ 5.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง WBT_m กับ t_{2m} เปรียบเทียบโดยการทดลอง, ทฤษฎี และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อคงที่ค่า t_{1m} = 31°C, w_m = 1.738 m³/hr., G_m = 0.4882 Kg/sec.



รูปที่ 5.40 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง W_m กับ t_{2m} เปรียบเทียบโดย การทดลอง, ทฤษฎี และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เมื่อคงที่ค่า $t_{1m} = 31^\circ\text{C}$, $WBT_m = 24^\circ\text{C}$, $G_m = 0.4882 \text{ Kg/sec}$.