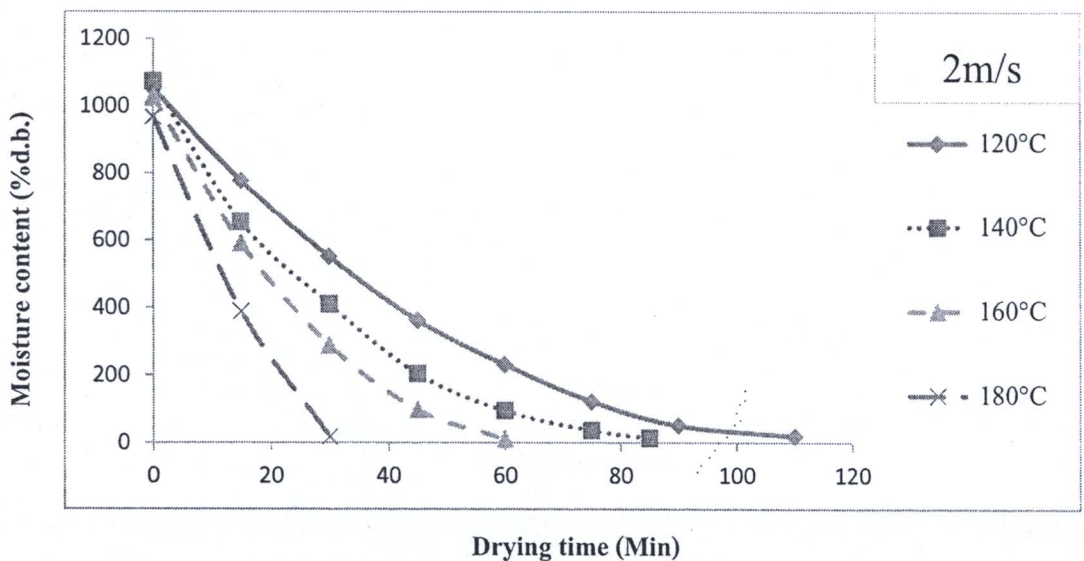


บทที่ 4

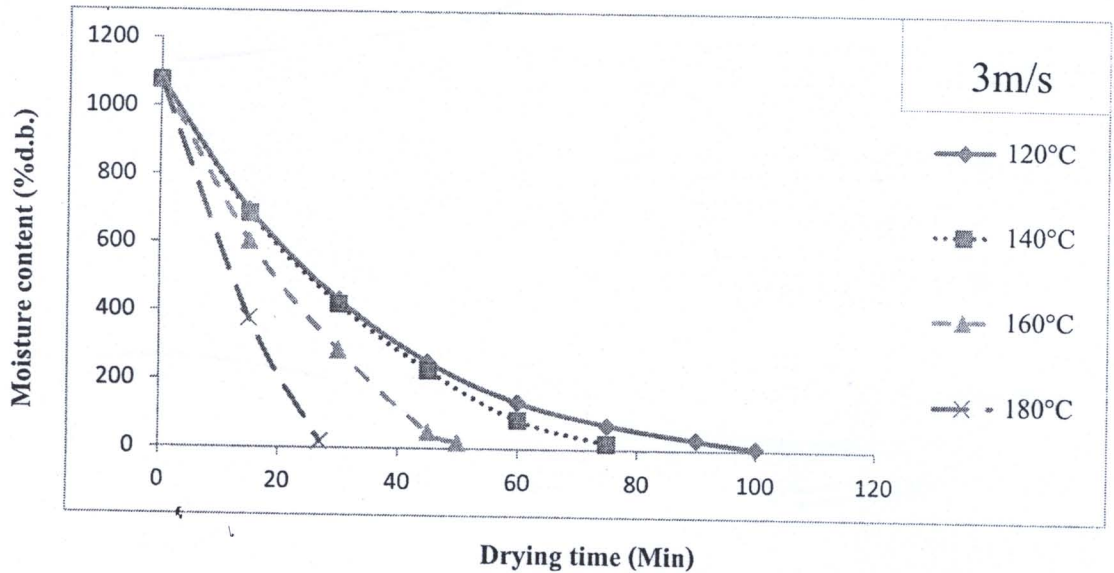
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองหาการลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนขวดย้ง

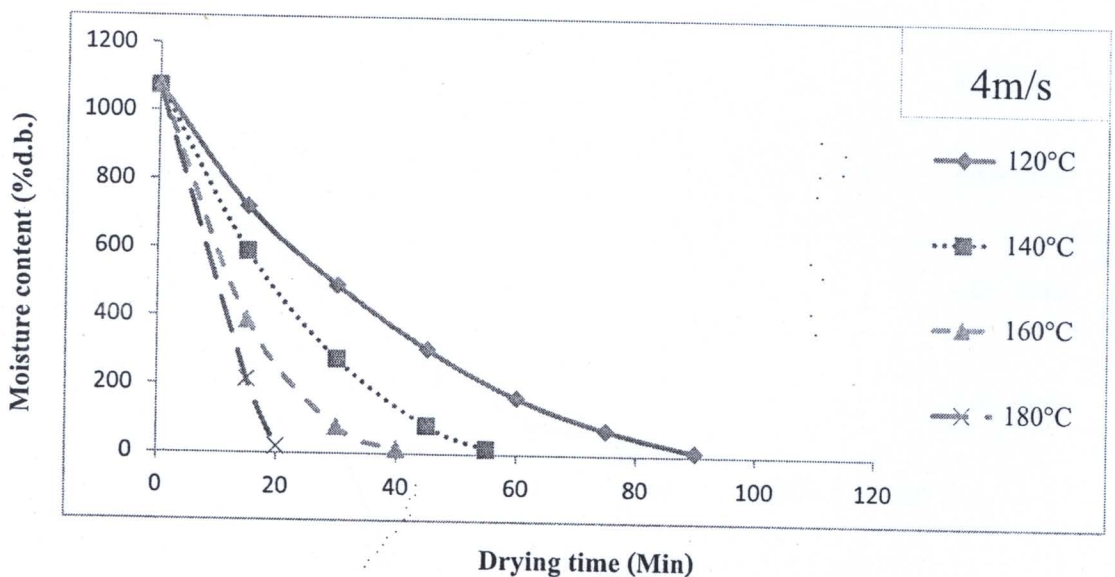
รูป 4.1 – 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นของแครอทที่อบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขวดย้งที่อุณหภูมิ 120, 140, 160 และ 180°C ความเร็ว 2, 3 และ 4 m/s ในวัสดุในช่วงแรกความชื้นในวัสดุจะลดลงอย่างรวดเร็วและช้าลงในช่วงหลังของการอบแห้ง เห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งมาก (รูป 4.1 – 4.3) ส่วนความเร็วของไอน้ำร้อนขวดย้งมีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าผลของอุณหภูมิ (รูป 4.4 – 4.7) โดยเมื่ออุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนขวดย้งมากขึ้นระยะเวลาในการอบแห้งจะลดลง จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนขวดย้ง 120, 140, 160 และ 180°C ความเร็วของไอน้ำร้อนขวดย้ง 2 m/s เวลาที่ใช้ในการอบแห้งคือ 110, 80, 60 และ 30 นาที ตามลำดับ และ ที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนขวดย้ง 120, 140, 160 และ 180°C ความเร็วของไอน้ำร้อนขวดย้ง 4 m/s เวลาที่ใช้ในการอบแห้งคือ 90, 55, 45 และ 20 นาที ตามลำดับ



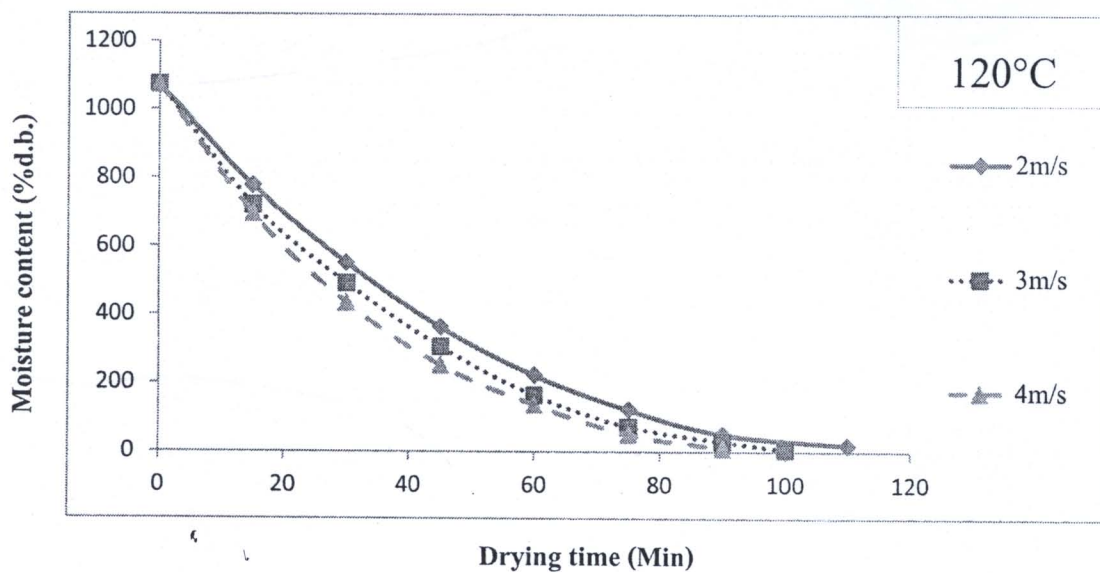
รูป 4.1 การลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนขวดย้งจากการอบแห้งแครอทแผ่นที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนขวดย้ง 120 - 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนขวดย้ง 2 m/s



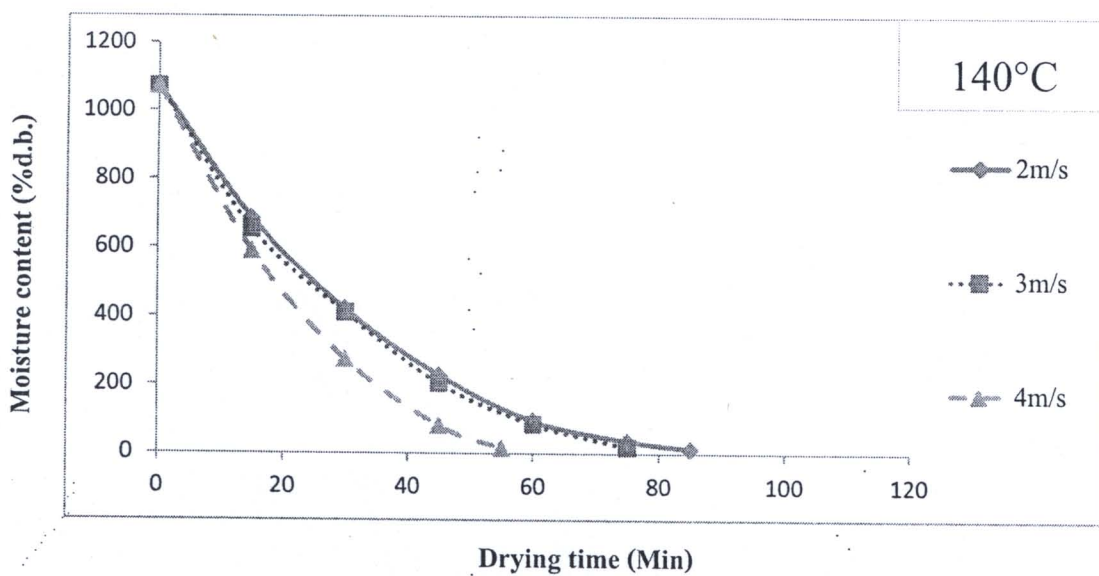
รูป 4.2 การลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนขดยิ่งจากการอบแห้งแครอทแผ่นที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนขดยิ่ง 120 - 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนขดยิ่ง 3 m/s



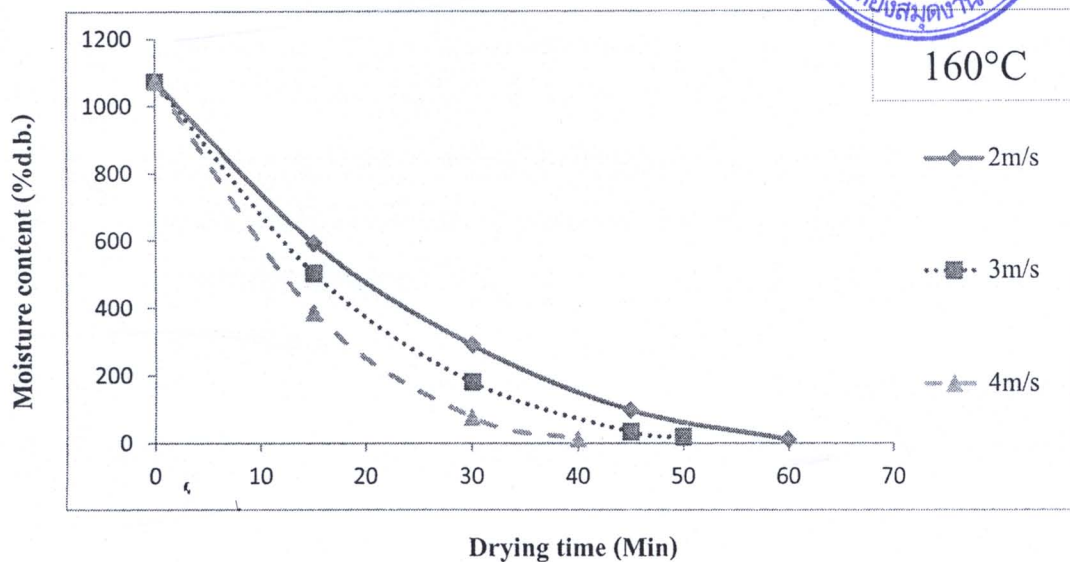
รูป 4.3 การลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนขดยิ่งจากการอบแห้งแครอทแผ่นที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนขดยิ่ง 120 - 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนขดยิ่ง 4 m/s



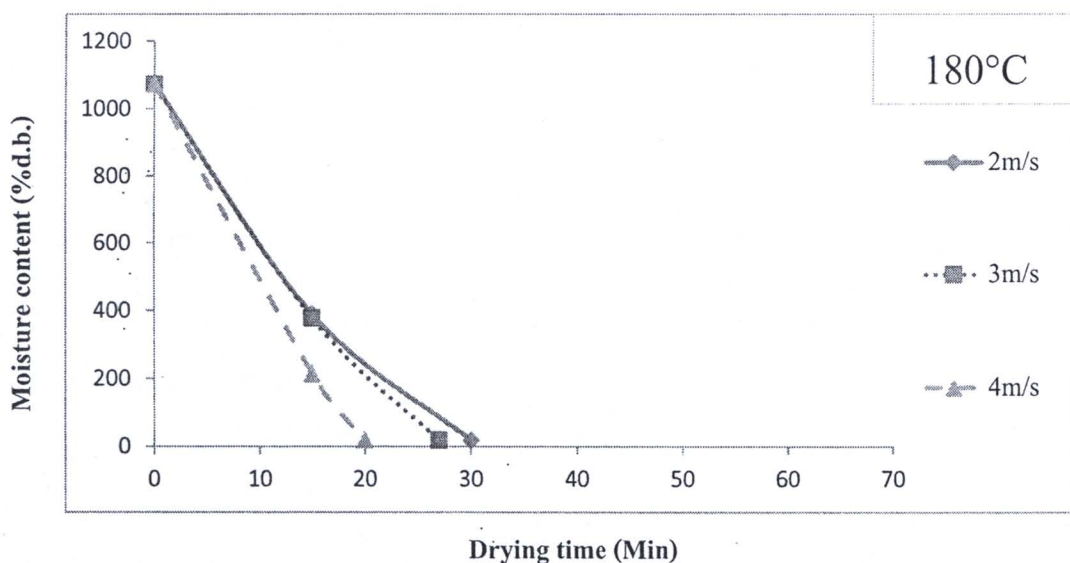
รูป 4.4 การลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนชนิดยิ่งจากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 2 - 4 m/s อุณหภูมิไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 120°C



รูป 4.5 การลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนชนิดยิ่งจากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 2 - 4 m/s อุณหภูมิไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 140°C



รูป 4.6 การลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 - 4 m/s อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 160°C

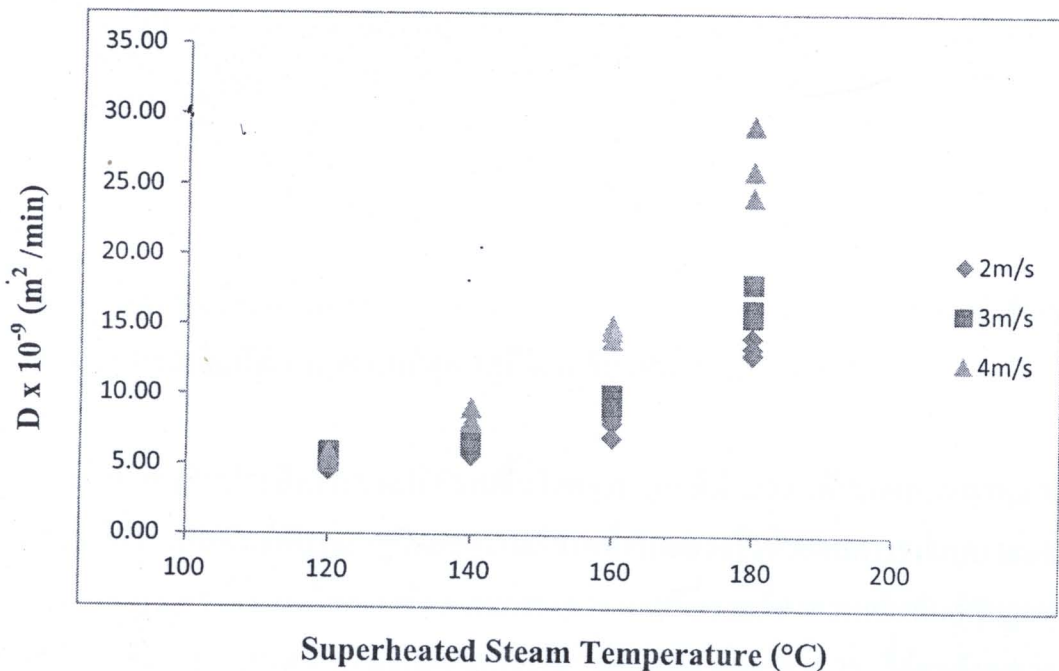


รูป 4.7 การลดลงของความชื้นหลังการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 - 4 m/s อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 180°C

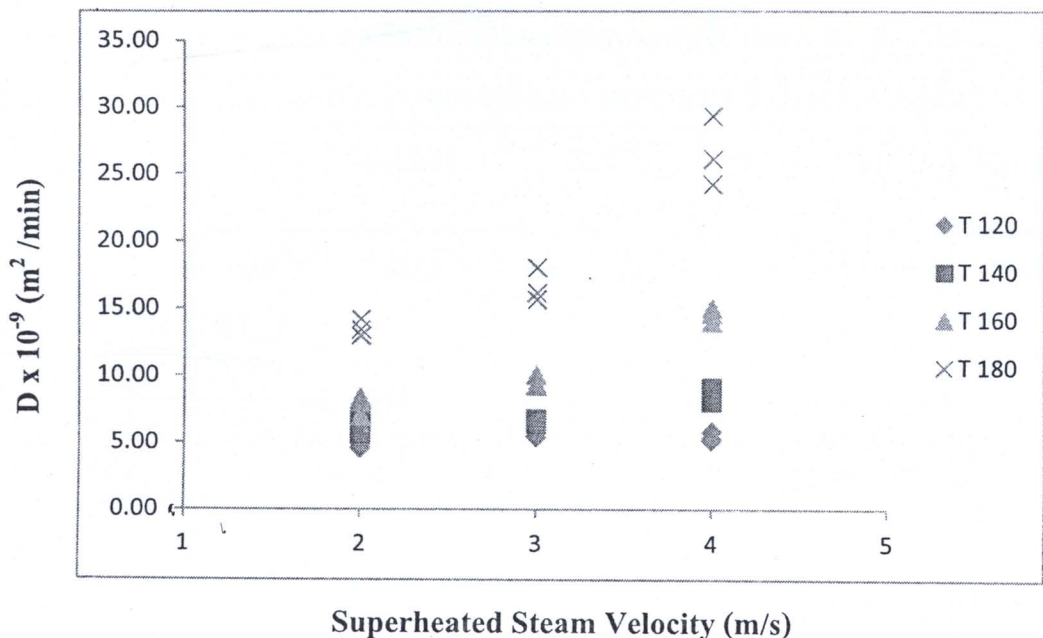
4.2 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ของสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม (D) ของสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี

ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมที่เงื่อนไขการอบแห้งต่าง ๆ โดยนำผลการลดลงของความชื้นมาวิเคราะห์สมการถดถอยโดยใช้สมการ (2.11) จำนวน 20 เทอม จะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม (แสดงค่าในภาคผนวก) แสดงดัง รูป 4.8 และ 4.9

ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2-4 m/s และอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120-180°C พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมมีค่าขึ้นกับอุณหภูมิและความเร็วลมของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยเมื่ออุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมจะเพิ่มขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าที่อุณหภูมิไม่สูงมากนักความเร็วที่เพิ่มขึ้นแทบจะไม่มีผลกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม



รูป 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยรวมกับอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง จากการทดลองอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 – 4 m/s



รูป 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนโดยรวมกับความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากการทดลองอบแห้งแครอทแผ่นที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120 - 180°C

เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนโดยรวม (D) ที่คำนวณได้ในแต่ละการทดลองมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งด้วยสมการรูปแบบ Modified Arrhenius สมการ (4.1) และ โพลีโนเมียล สมการ (4.2) และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียวในรูปแบบสมการ Arrhenius สมการ (4.3) ได้ผลดังตาราง 4.1 พบว่า แบบจำลอง 2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีกว่าเนื่องจากมีค่า R^2 มากกว่าและมีค่า MRS ต่ำกว่าแบบจำลอง 1 และแบบจำลอง 3 โดยค่า D จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

รูป 4.10 - 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อนโดยรวมจากการทดลองกับแบบจำลองที่เงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง 2 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีในทุกเงื่อนไขซึ่งสอดคล้องกับค่า R^2 และ MRS

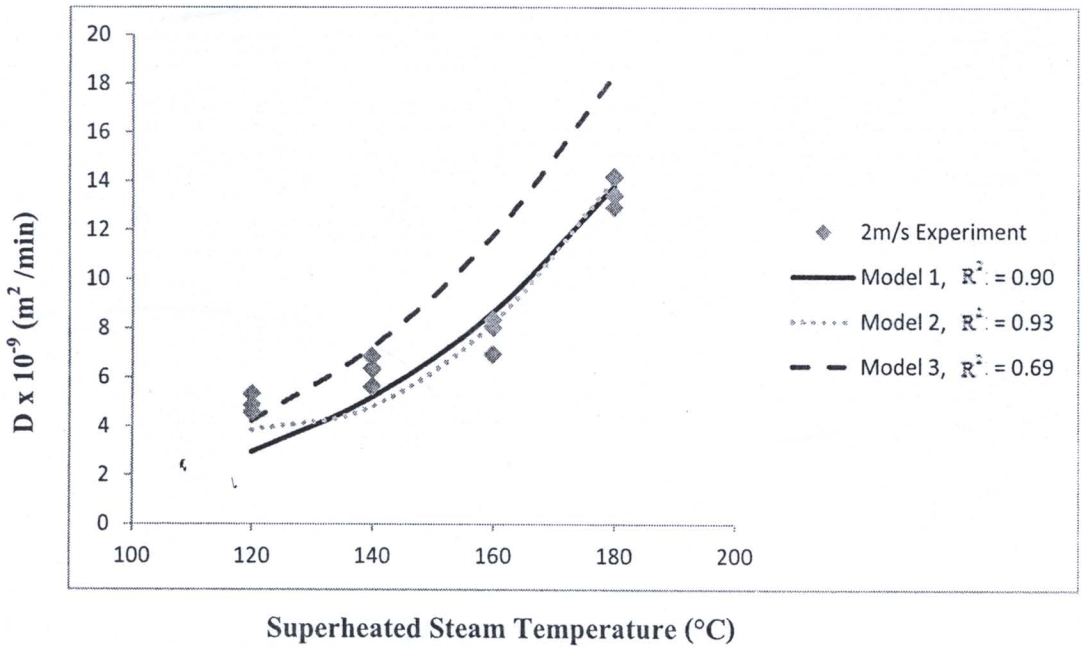
ตาราง 4.1 สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (D) สำหรับการอบแห้ง
แครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 120 - 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 – 4 m/s

Model	Equation	*R ²	**MRS	Equation
Model 1 (DF =32)	$D = (7 \times 10^{-5} V^2 - 2.8 \times 10^{-4} V + 6.1 \times 10^{-4}) \exp(-37.97/RT_{abs})$	0.950	1.90×10^{-18}	(4.1)
Model 2 (DF =27)	$D = (6.35 \times 10^{-13} V^2 T_{abs}^2 - 5.02 \times 10^{-10} V^2 T_{abs} - 2.55 \times 10^{-12} V T_{abs}^2 + 9.99 \times 10^{-8} V^2 + 5.59 \times 10^{-12} T_{abs}^2 - 4.01 \times 10^{-7} V - 4.42 \times 10^{-9} T_{abs} + 8.81 \times 10^{-7})$	0.986	1.37×10^{-18}	(4.2)
Model 3 (DF =34)	$D = 0.000275 \exp\left[\frac{-36.22427}{RT_{abs}}\right]$	0.750	1.13×10^{-17}	(4.3)

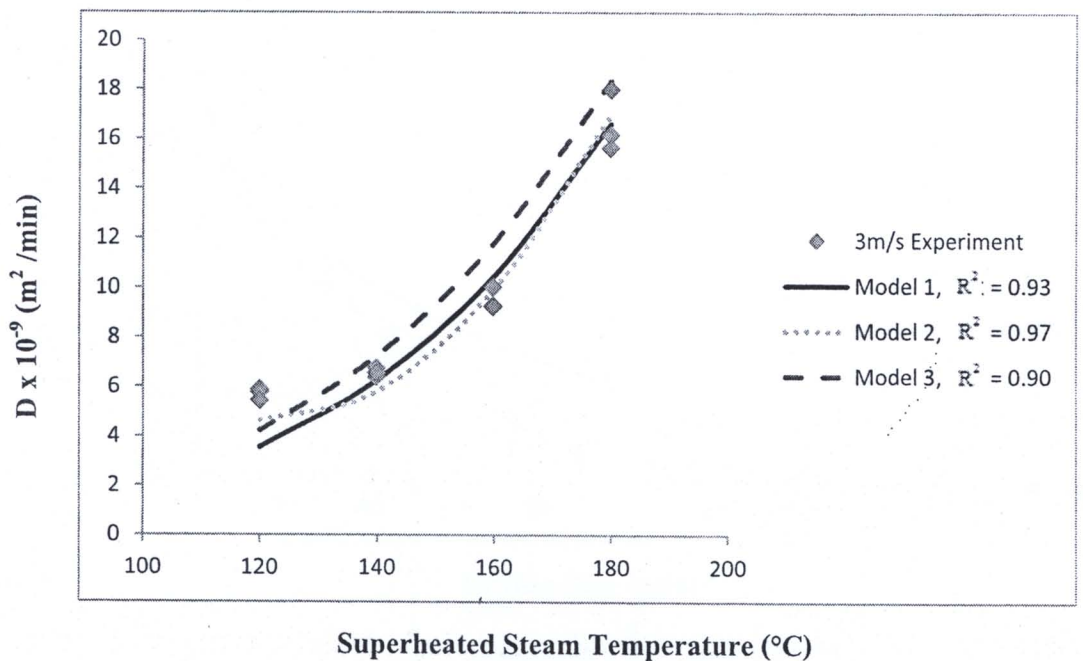
$$*R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n (MR_{exp} - MR_{pr})^2}{\sum_{j=1}^n (\overline{MR} - MR_{pr})^2}, \quad **MRS = \frac{\sum_{j=1}^n (MR_{pr} - MR_{exp})^2}{N}$$

- เมื่อ MR_{pr} = ค่าตัวแปรตามที่กำหนดได้จากสมการการวิเคราะห์แบบกำลังสองน้อยที่สุด
 $\overline{MR}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง
 MR_{exp} = ค่าของตัวแปรตามที่ได้จากการทดลอง
N = จำนวนข้อมูลทั้งหมด
DF = Degree of Freedom

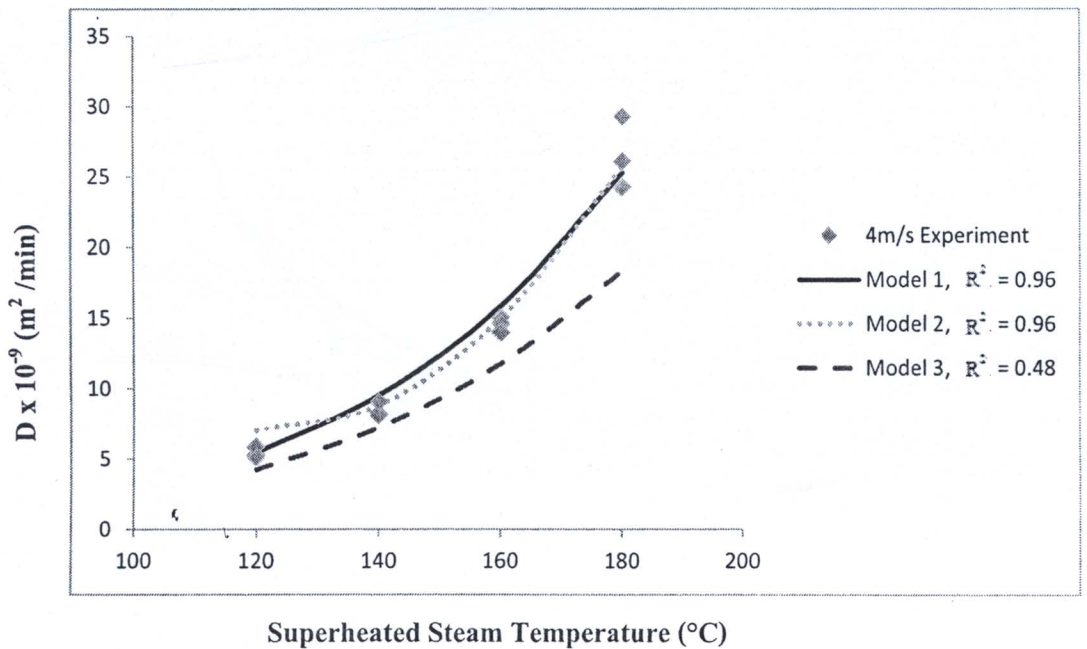
รูป 4.13 - 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการคำนวณจากสมการ (2.11) โดยใช้ค่า D จากสมการ (4.1), (4.2) และ (4.3) พบว่าค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองกับค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120, 140, 160 และ 180°C และที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2, 3 และ 4 m/s แบบจำลอง 1 และ แบบจำลอง 2 ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนแบบจำลอง 3 จะให้ค่าที่แตกต่างจากสองโมเดลแรกอย่างชัดเจน



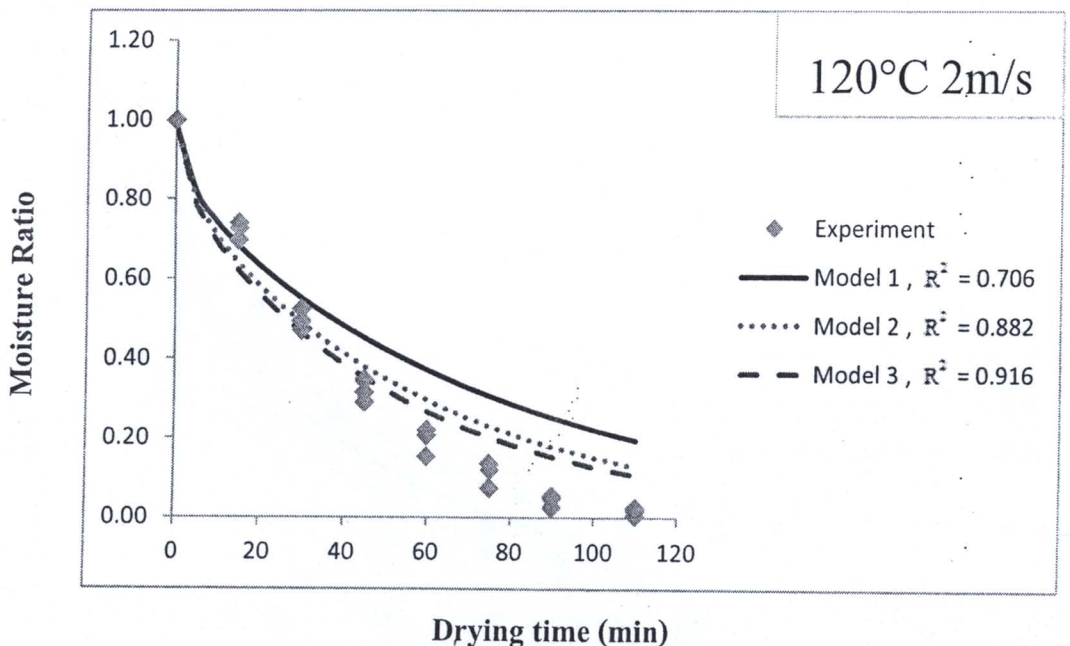
รูป 4.10 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 จากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยังคง 2 m/s



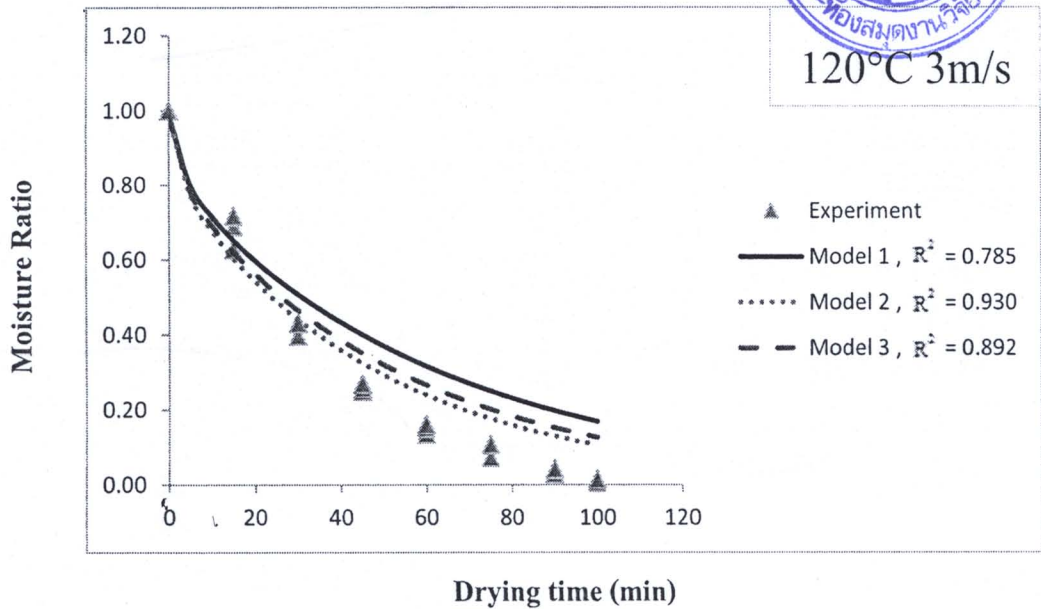
รูป 4.11 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 จากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยังคง 3 m/s



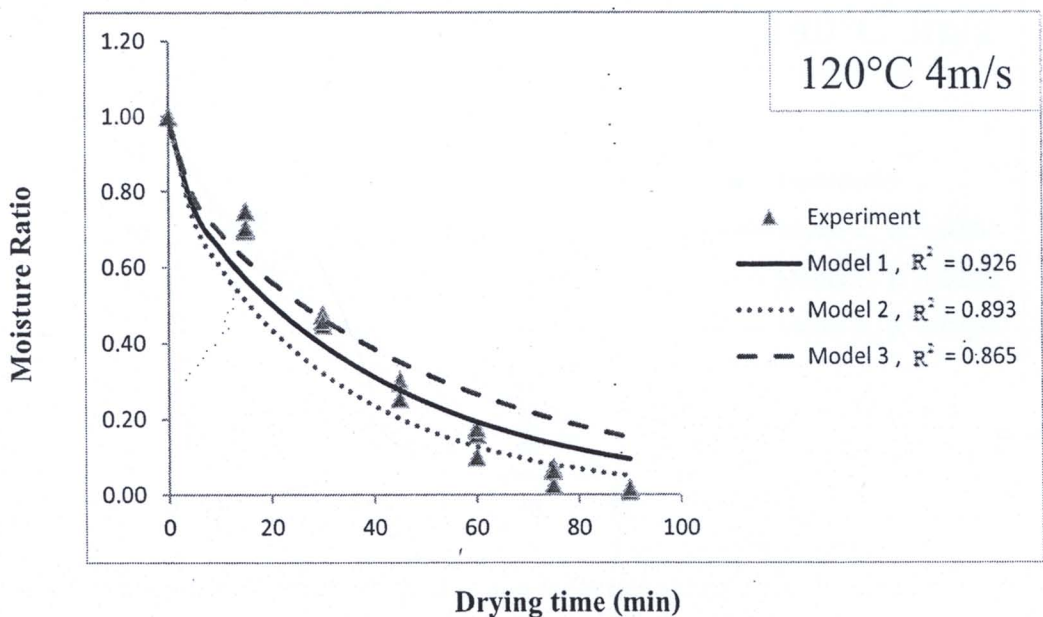
รูป 4.12 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองที่ 1, 2 และ 3 จากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s



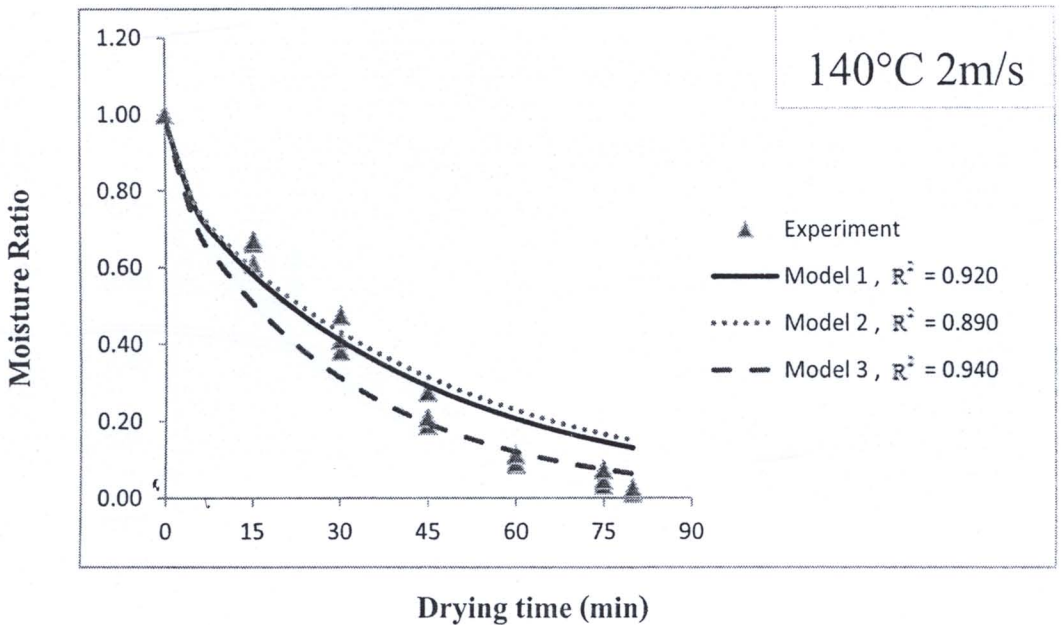
รูป 4.13 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s



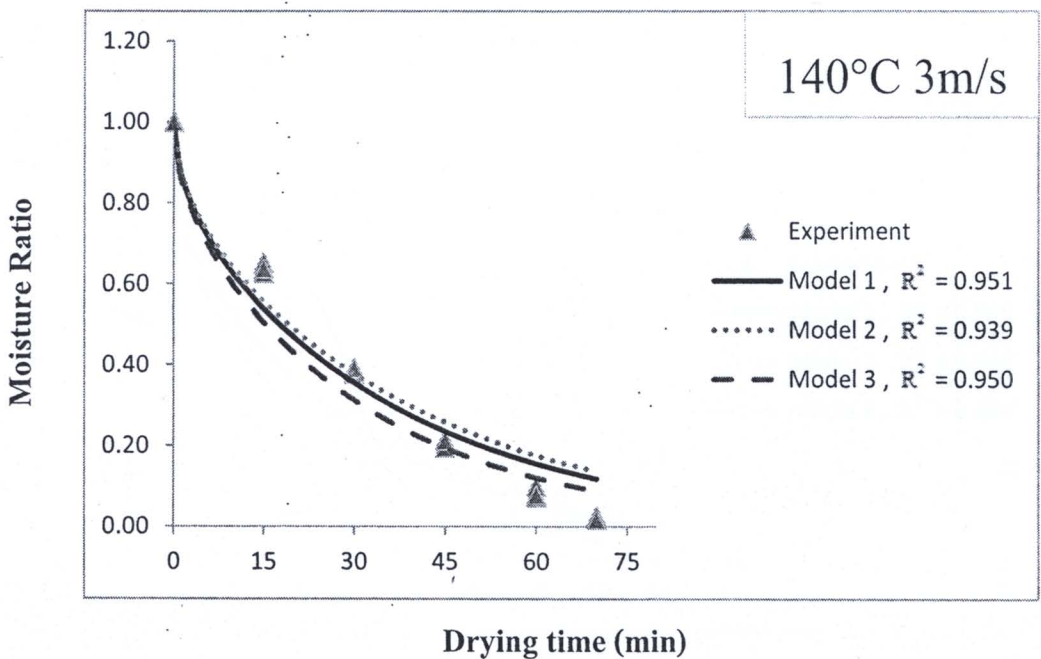
รูป 4.14 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 m/s



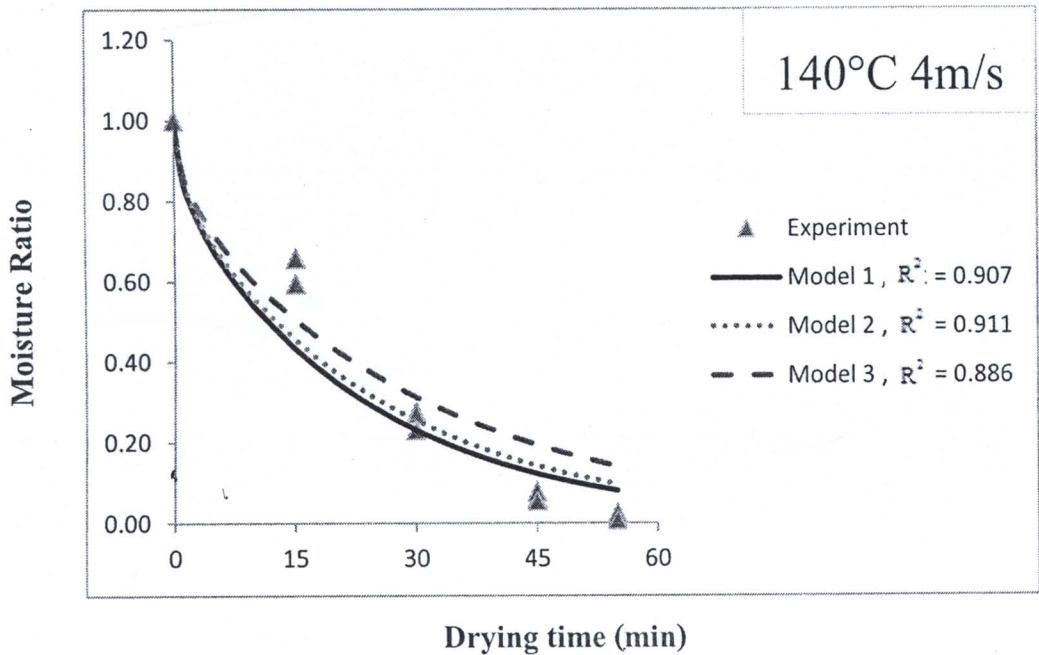
รูป 4.15 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s



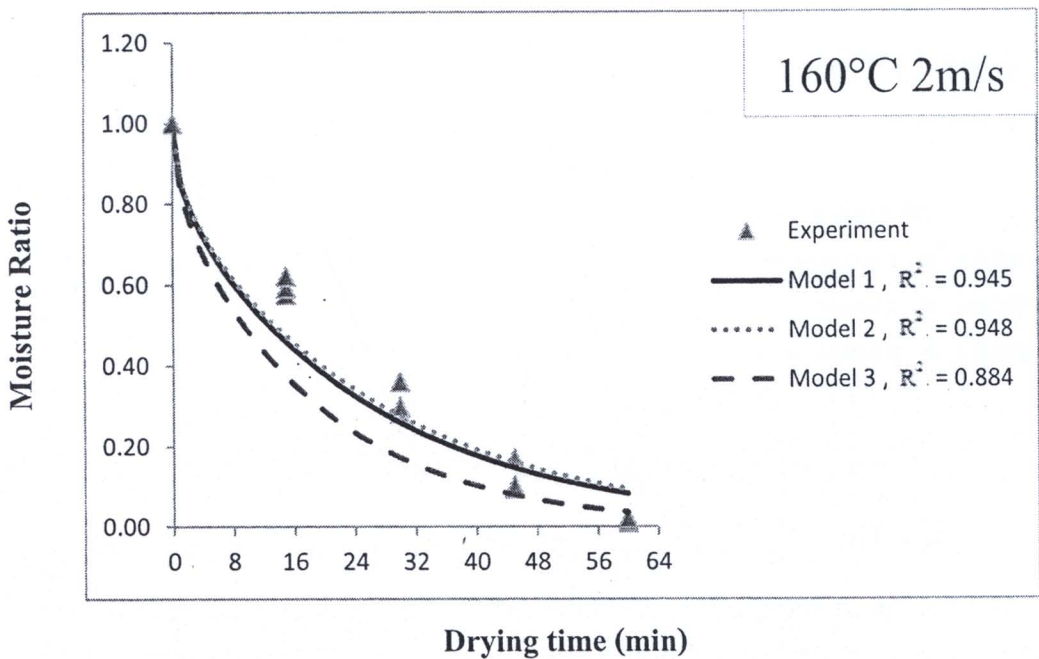
รูป 4.16 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s



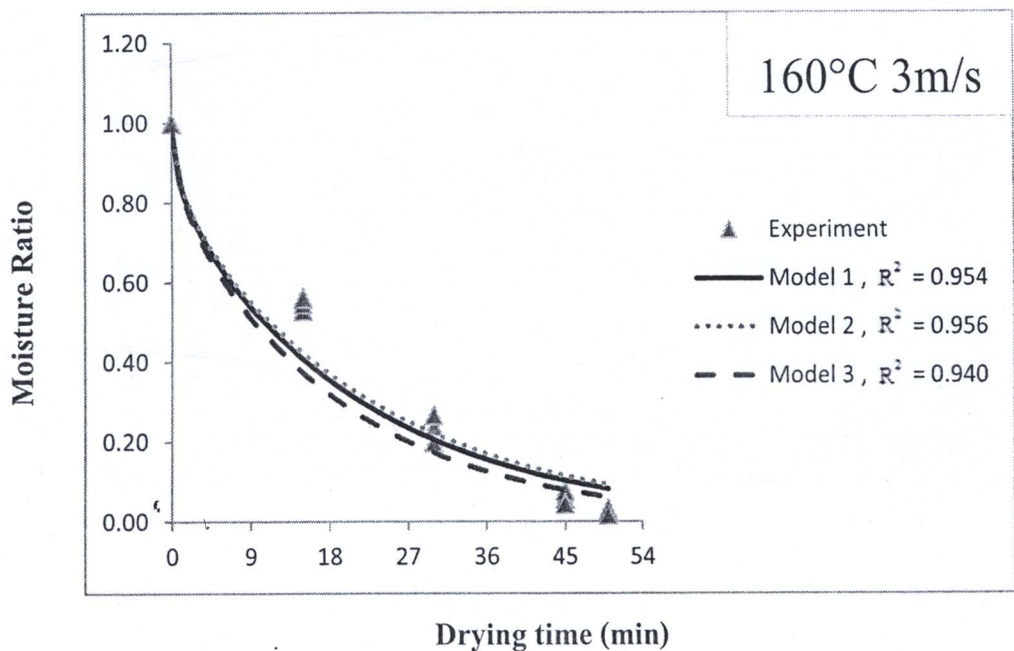
รูป 4.17 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 m/s



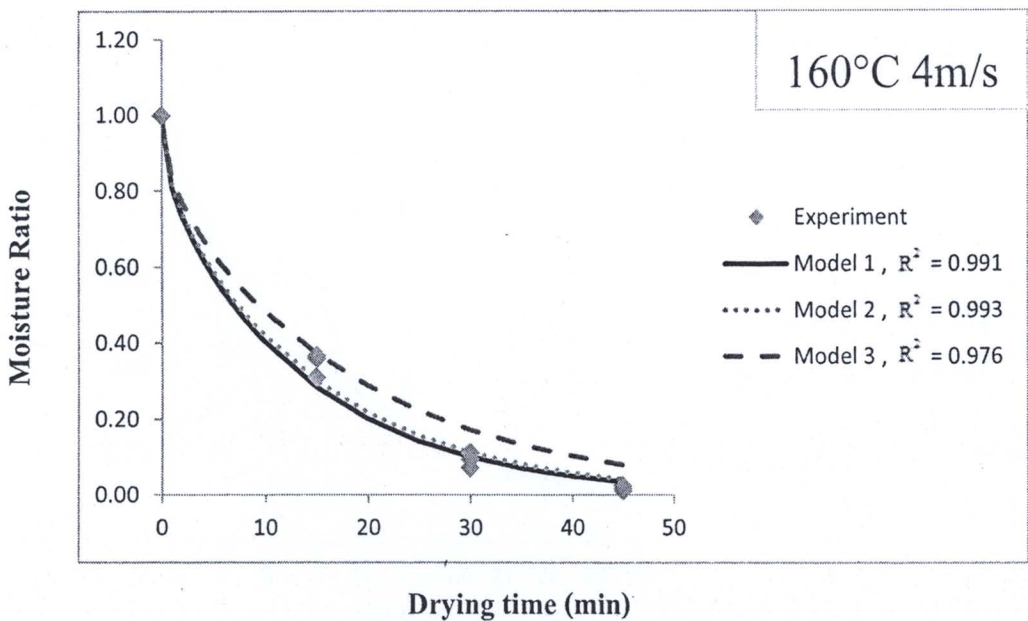
รูป 4.18 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s



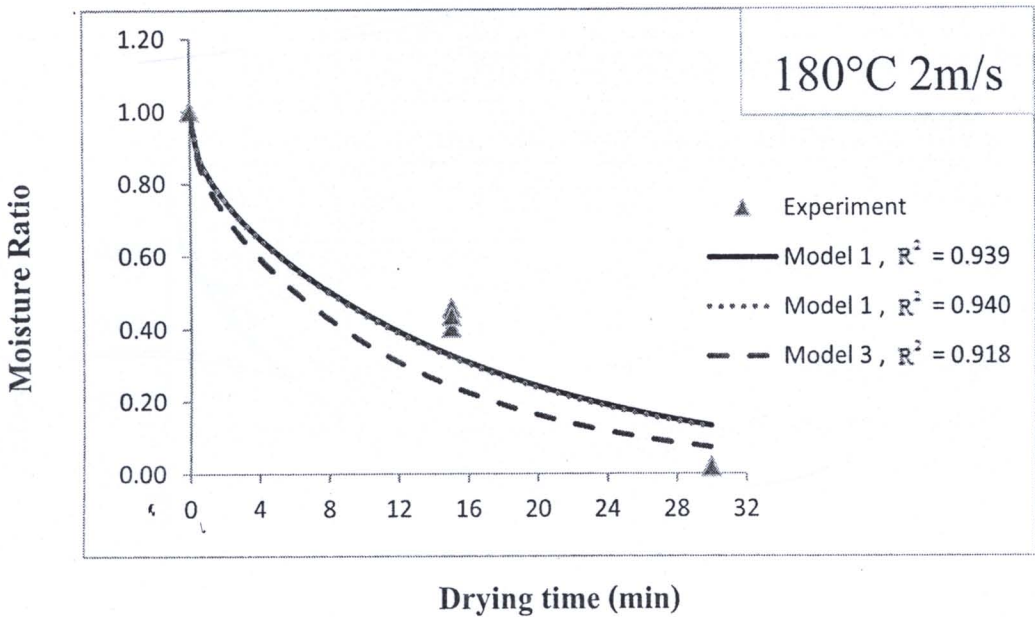
รูป 4.19 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s



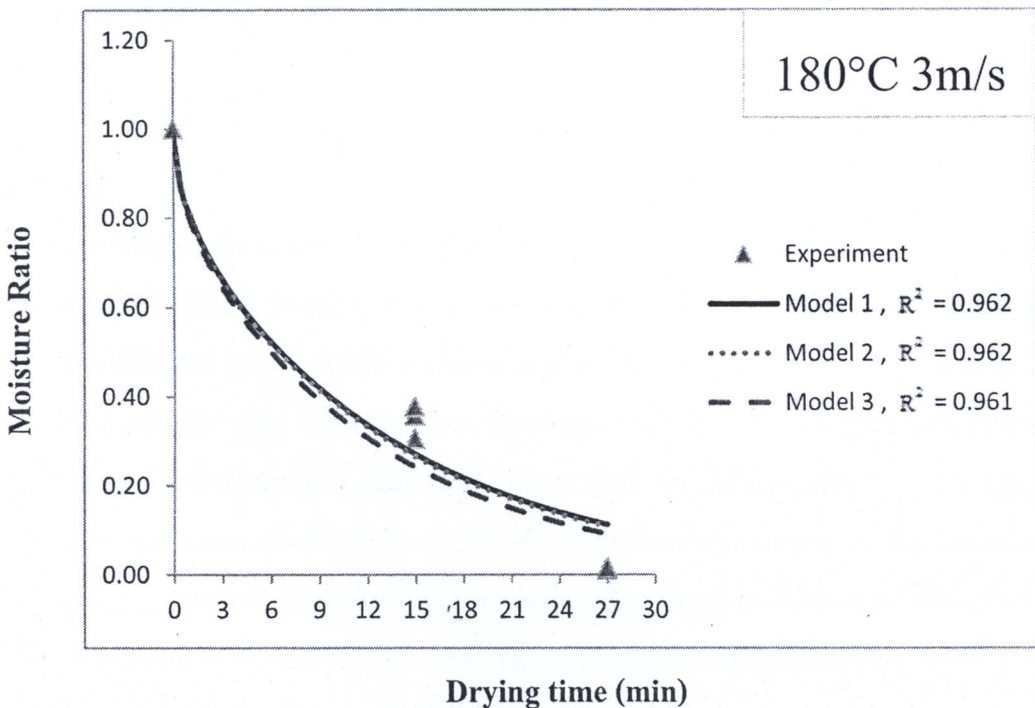
รูป 4.20 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 m/s



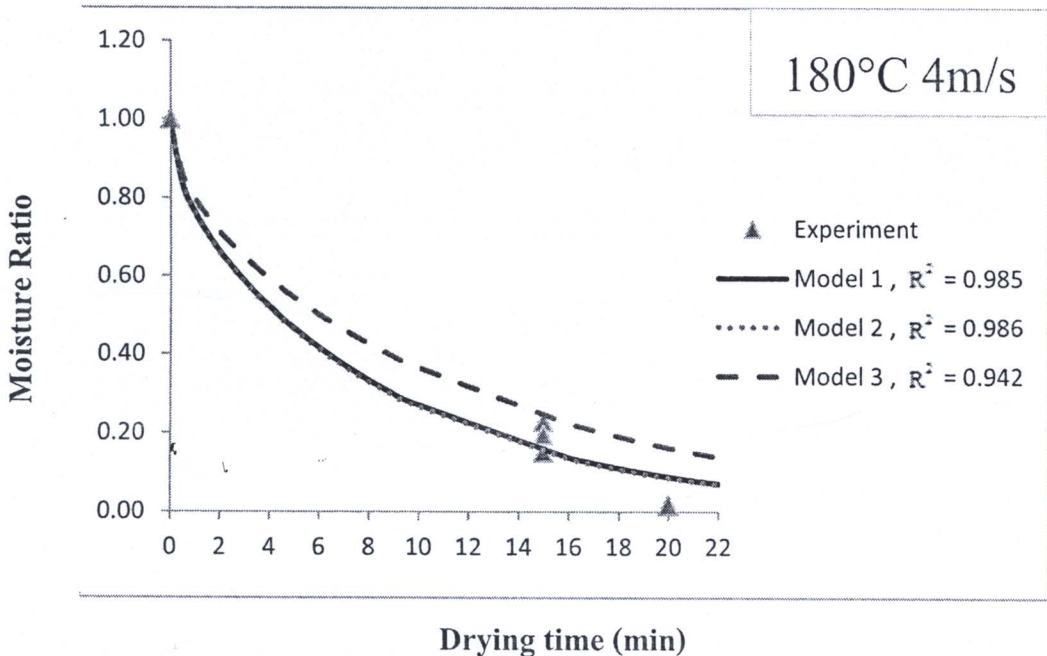
รูป 4.21 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 160°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s



รูป 4.22 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 180°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 2 m/s



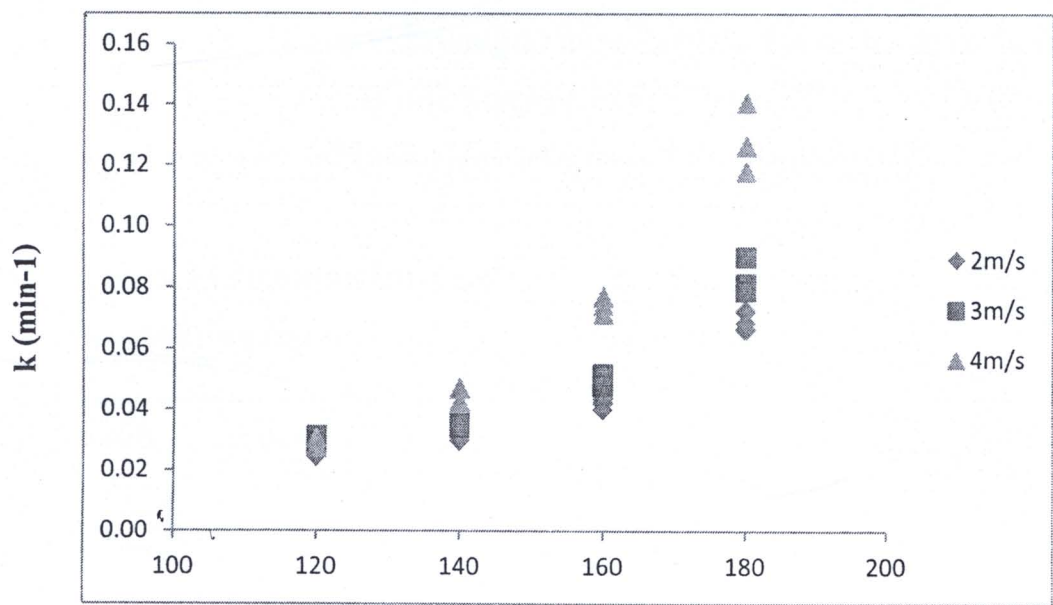
รูป 4.23 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 180°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 3 m/s



รูป 4.24 การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นจากผลการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าสัมประสิทธิ์การแพร่โดยรวมของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 180°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s

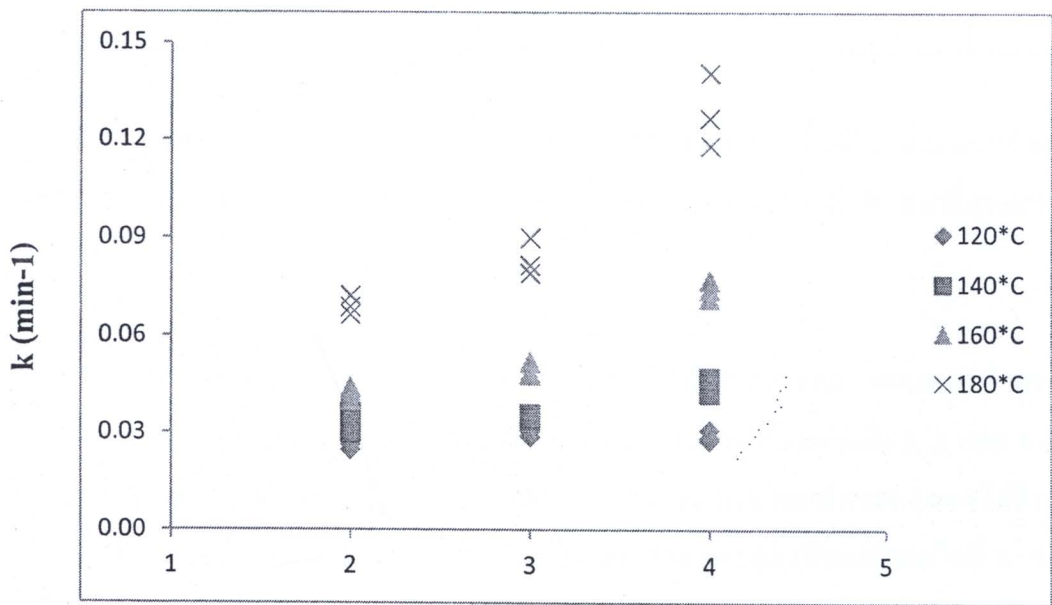
4.3 การวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ค่าคงที่การอบแห้งของสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี

จากการวิเคราะห์หาค่าคงที่การอบแห้งจากสมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎีที่เงื่อนไขการอบแห้งต่าง ๆ โดยนำผลการทดลองของความชื้นมาวิเคราะห์สมการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุดโดยใช้สมการ (2.16) จะได้ค่าคงที่การอบแห้งที่แต่ละการทดลอง (แสดงค่าที่คำนวณได้ในภาคผนวก) รูป 4.25 และ 4.26 แสดงค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นจากการทดลองที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120-180°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2-4 m/s พบว่าแนวโน้มของค่าคงที่การอบแห้งเป็นไปในทางเดียวกันกับสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น โดยจะมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือ เมื่ออุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าคงที่การอบแห้งจะเพิ่มขึ้น และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีผลต่อค่าคงที่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโดยค่าคงที่การอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น



Superheated Steam Temperature (°C)

รูป 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับอุณหภูมิไอน้ำร้อนขดขึงจากการทดลองอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนขดขึง 2 – 4 m/s



Superheated Steam Temperature (°C)

รูป 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่การอบแห้งกึ่งทฤษฎีกับความเร็วไอน้ำร้อนขดขึงจากการทดลองอบแห้งแครอทแผ่นที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนขดขึง 120 - 180 °C



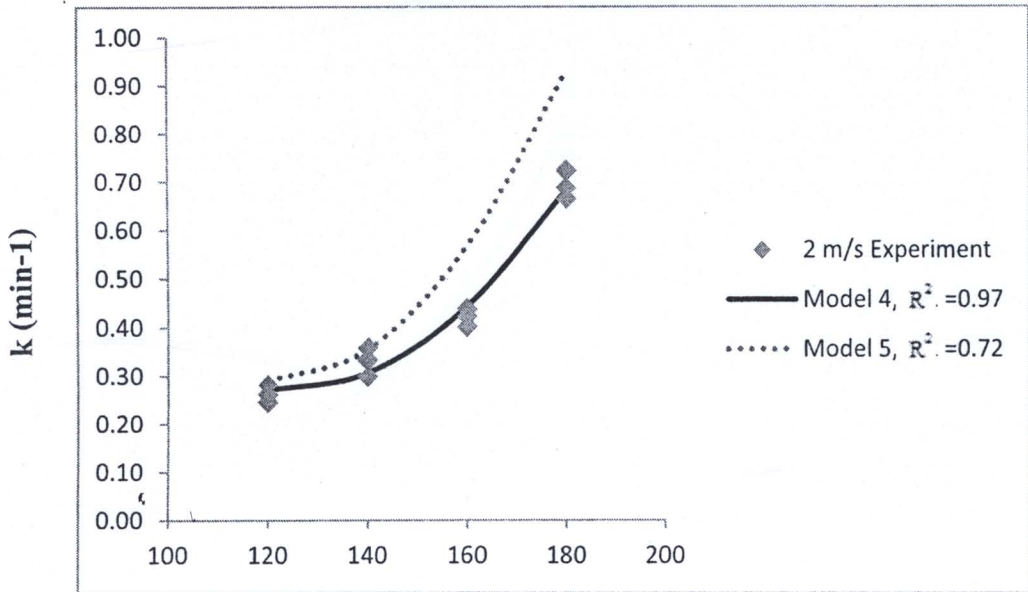
เมื่อนำค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (k) ที่เงื่อนไขการอบแห้งต่างๆ มาหาความสัมพันธ์กับอุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพียงอย่างเดียวและความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในรูปแบบสมการโพลิโนเมียลได้สมการคงที่การอบแห้ง ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 สมการแบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (k) สำหรับการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 120 - 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 – 4 m/s

Type	Model	Equation	R ²	MRS	Equation
semi-theoretical Eq.	Model 4 (DF = 27)	$k = (0.000002T^2 - 0.098976V^2 + 0.000493T + 1.451191V - 0.005695VT + 0.000005T^2V + 0.000202TV^2 - 0.480961)$	0.984	0.00001	(4.4)
	Model 5 (DF = 33)	$k = (0.000019T^2 - 0.014640T + 2.915848)$	0.734	0.00023	(4.5)

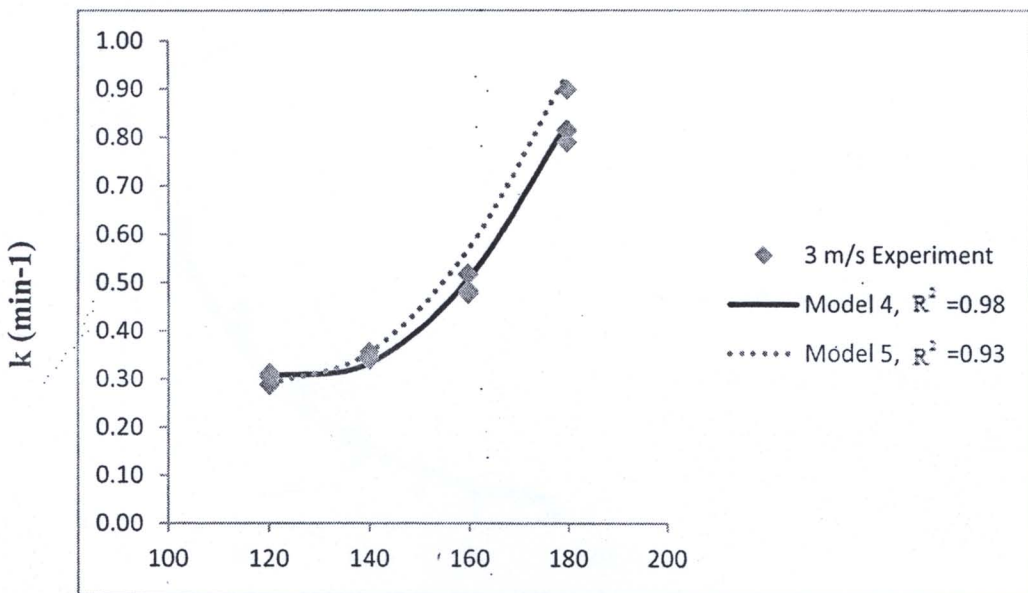
รูป 4.27 - 4.29 แสดงการเปรียบเทียบค่า k ที่คำนวณได้จากทดลองกับค่าที่ได้ในแต่ละแบบจำลอง จากรูปพบว่าแบบจำลอง 4 สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีที่สุดเนื่องจากมีค่า R² มากที่สุดและค่า MRS น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับแบบจำลอง 5

รูป 4.30 - 4.41 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองที่อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 120, 140, 160 และ 180°C ที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2, 3 และ 4 m/s พบว่าแบบจำลองค่าคงที่การอบแห้ง แบบจำลอง 4 สามารถทำนายผลการทดลองได้ดีกว่าแบบจำลอง 5 เนื่องจากมีค่า R² มากกว่าในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง (มีบางเงื่อนไขที่ R² ของแบบจำลอง 5 มากกว่าแบบจำลอง 4 แต่ถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก)



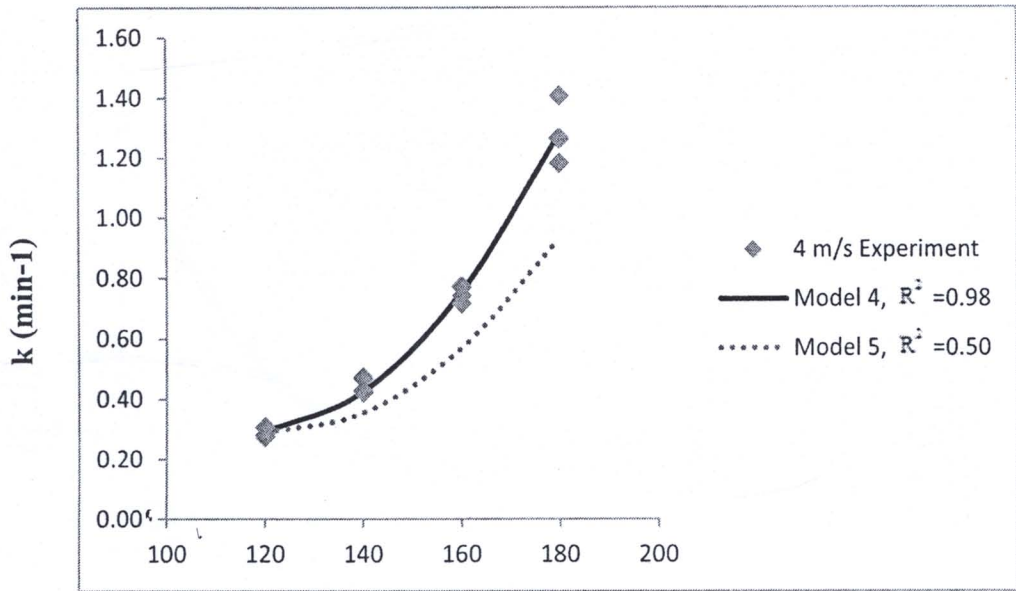
Superheated Steam Temperature (°C)

รูป 4.27 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาจาก Semi - Theoretical Equation แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยังคง 2 m/s



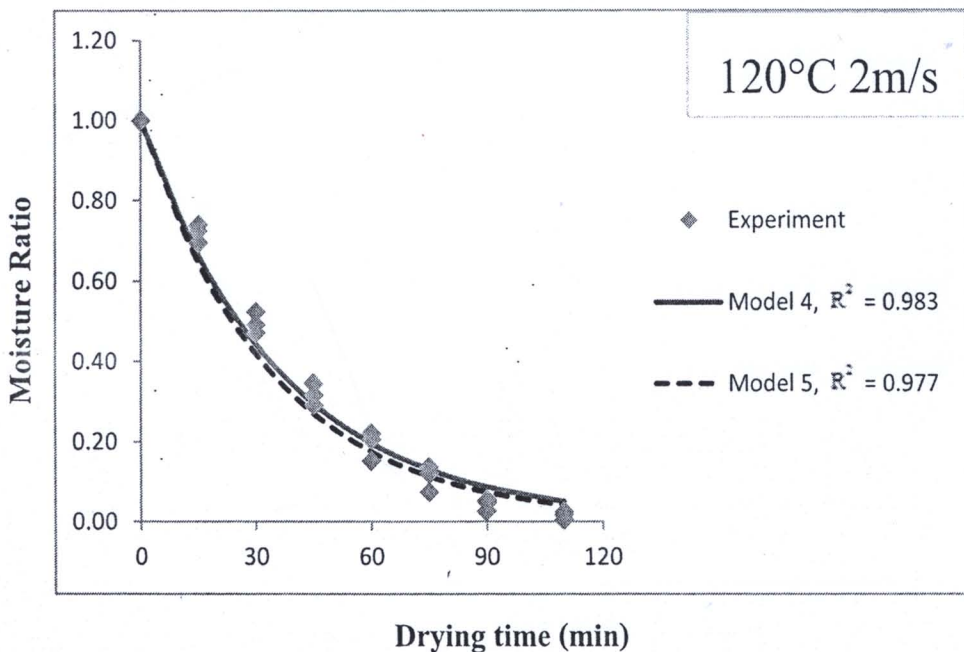
Superheated Steam Temperature (°C)

รูป 4.28 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาจาก Semi - Theoretical Equation แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยังคง 3 m/s

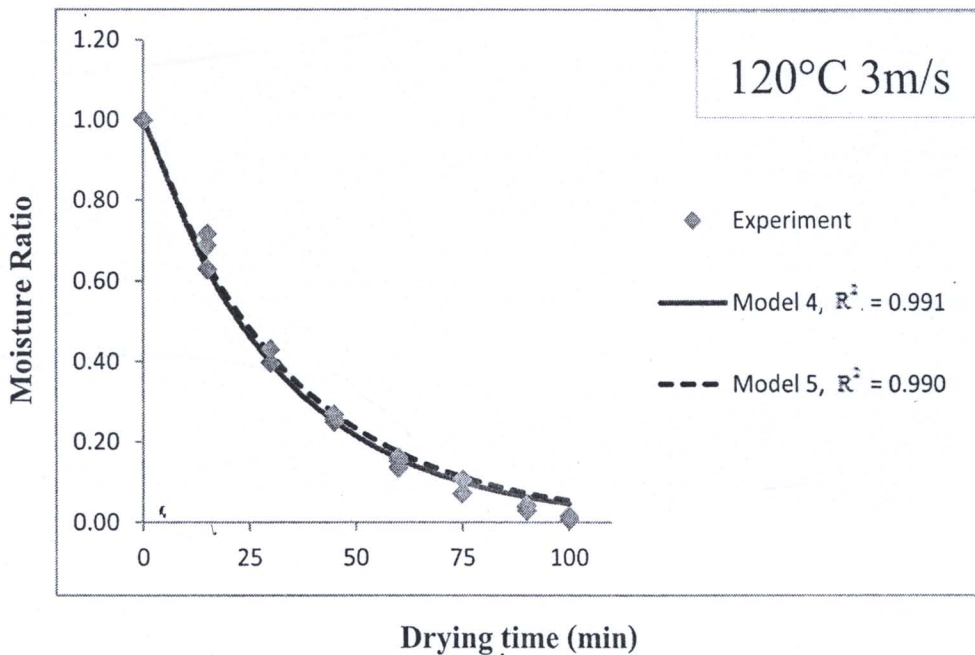


Superheated Steam Temperature (°C).

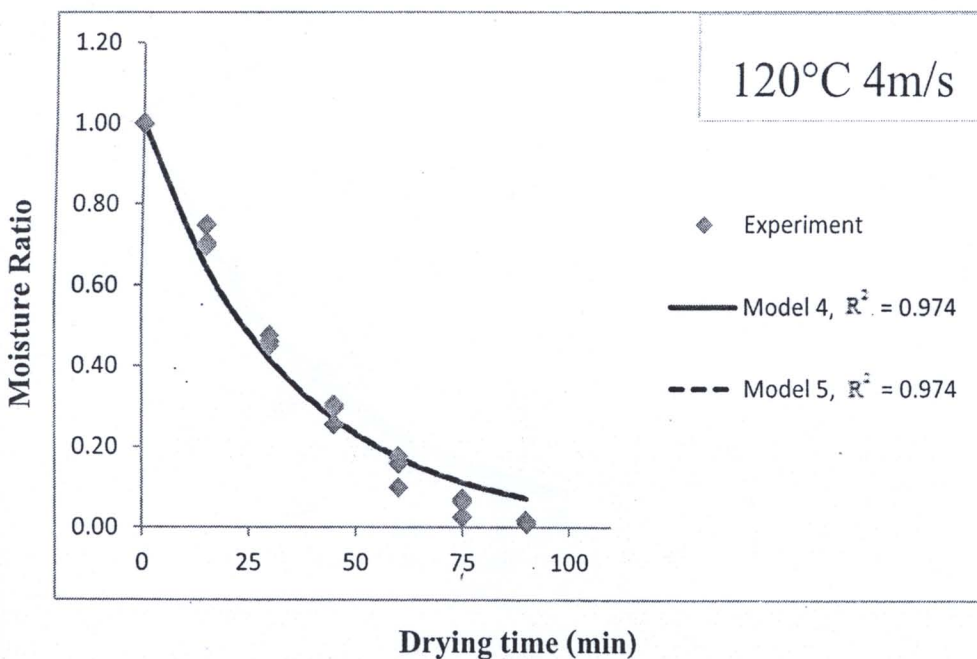
รูป 4.29 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของการอบแห้งที่หาได้จากการทดลองกับค่าที่หาจาก Semi - Theoretical Equation แบบจำลองที่ 4 และ 5 จากการอบแห้งแครอทแผ่นที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s



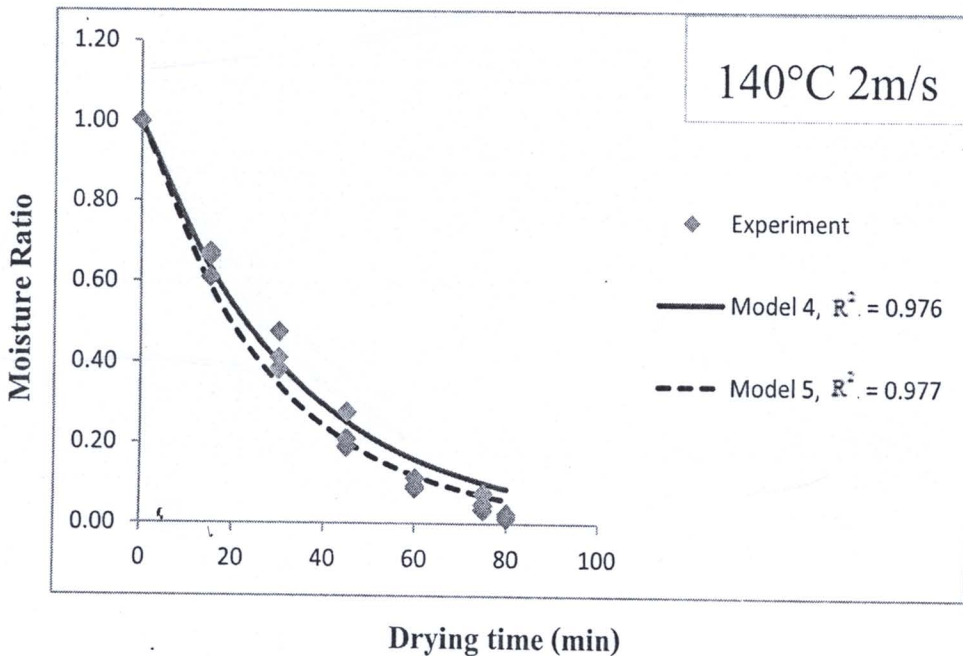
รูป 4.30 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s



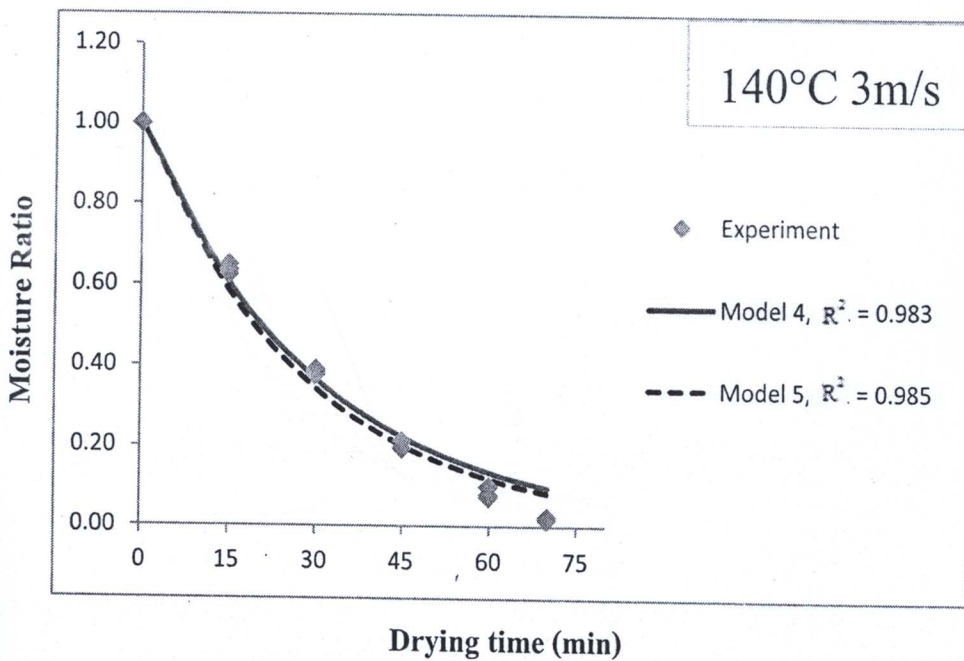
รูป 4.31 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยั้งที่อุณหภูมิ 120°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยั้ง 3 m/s



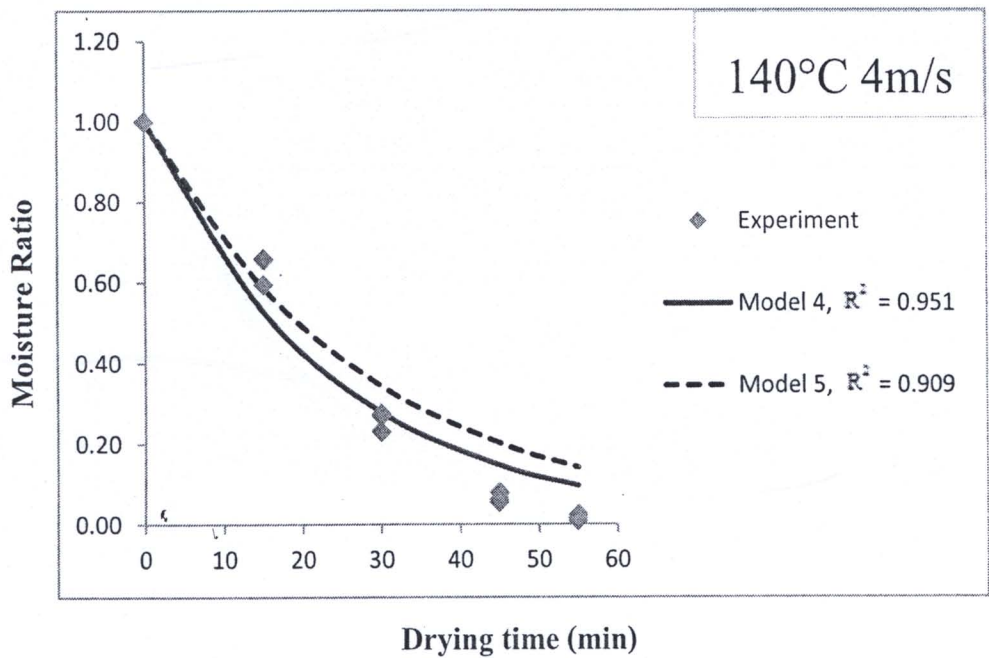
รูป 4.32 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยั้งที่อุณหภูมิ 120°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยั้ง 4 m/s



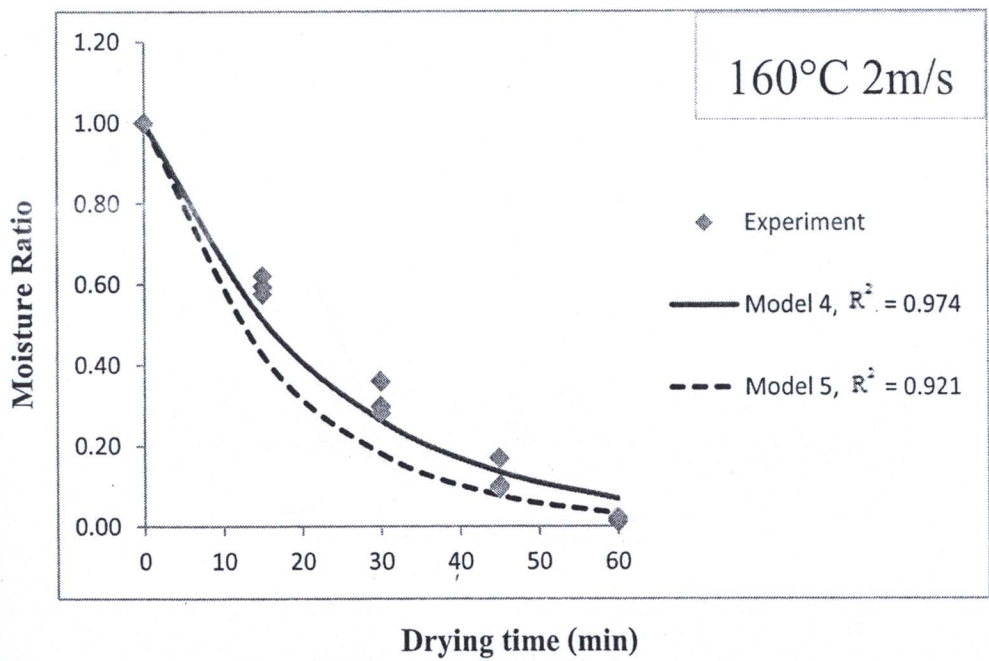
รูป 4.33 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2 m/s



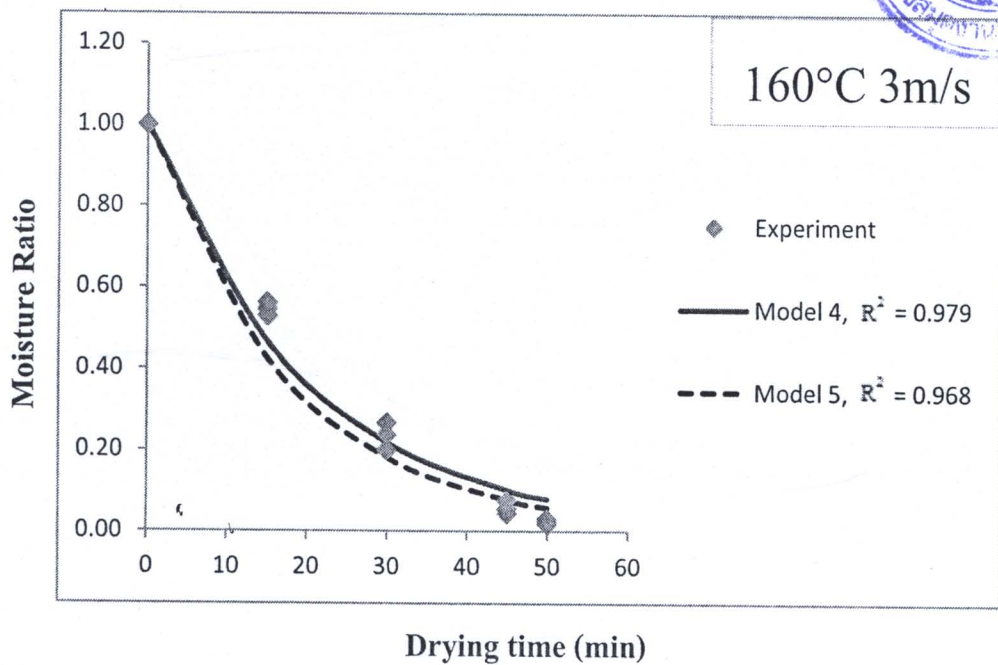
รูป 4.34 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 3 m/s



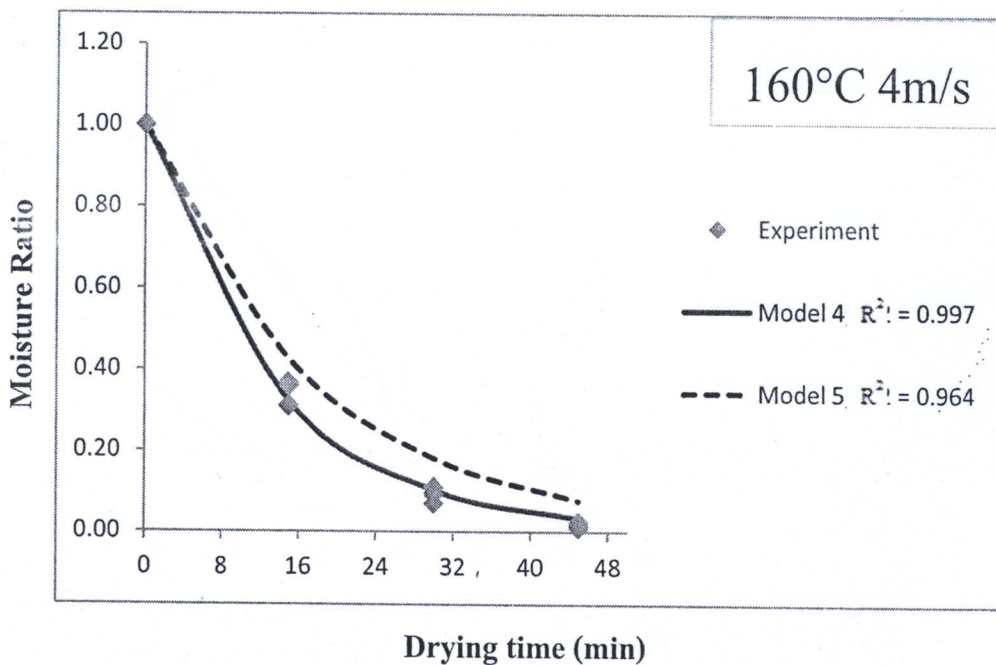
รูป 4.35 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 4 m/s



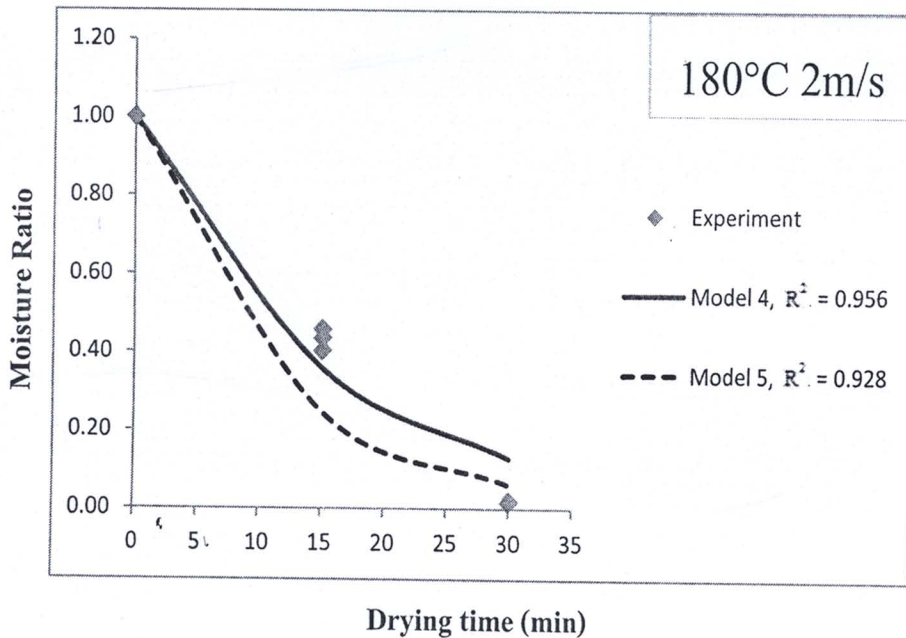
รูป 4.36 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 160°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 2 m/s



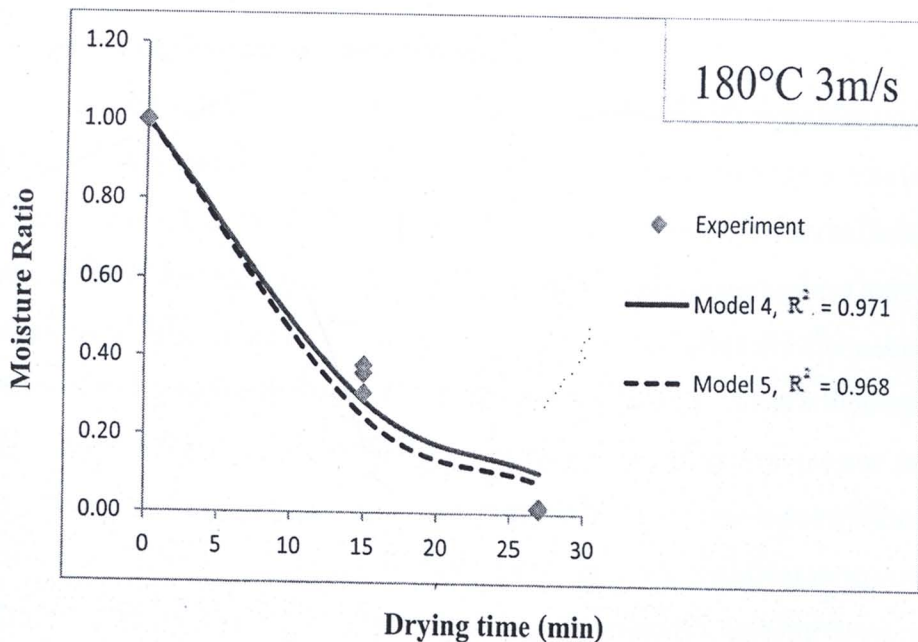
รูป 4.37 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 160°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 3 m/s



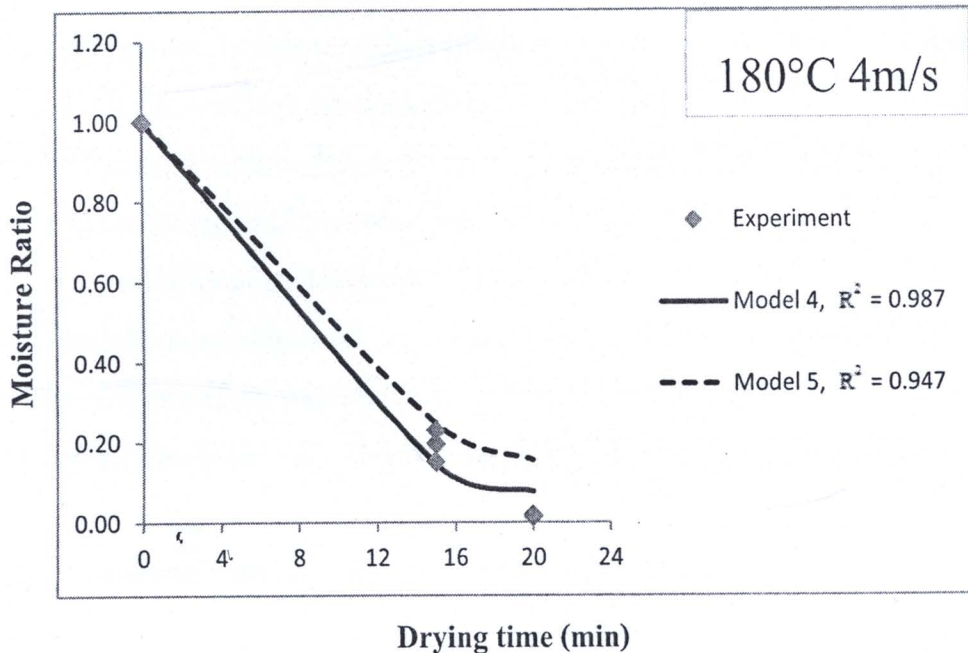
รูป 4.38 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 160°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 4 m/s



รูป 4.39 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 180°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 2 m/s



รูป 4.40 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งที่อุณหภูมิ 180°C และความเร็วไอน้ำร้อนชนิดยิ่ง 3 m/s



รูป 4.41 การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ได้จากการทดลองและค่าที่คำนวณโดยใช้แบบจำลองค่าคงที่การอบแห้งของการอบแห้งแครอทแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 180°C และความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s

4.4 ผลการทดลองวัดค่าสีของแครอทแผ่นอบแห้ง

จากผลการวัดค่าสีของแครอทและนำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลแสดงดังตาราง 4.3 โดยค่าสีเริ่มต้นของแครอทมีค่า L^* ประมาณ 46.67 ± 0.79 ค่า a^* ประมาณ 25.15 ± 0.86 และค่า b^* ประมาณ 21.99 ± 0.78 จากการวิเคราะห์ค่าสีของแครอทคือ ค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลือง พบว่า กรณีการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เมื่ออุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงขึ้น จะทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มมากขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีแดงมีค่าน้อยลงจากแครอทสดโดยแนวโน้มของสีจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 120 เป็น 140°C เนื่องจากที่อุณหภูมิ 140°C ใช้เวลาการอบแห้งสั้นกว่า 120°C ทำให้สีแดงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนกรณีอุณหภูมิ 160 และ 180°C ค่าความเป็นสีแดงกลับลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงมากทำให้โครงสร้างของแครอทที่เป็นแป้งโดนทำลาย สีแดงจึงมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 160°C เป็น 180°C ทั้งนี้เนื่องจากเวลาการอบแห้งที่ 180°C สั้นกว่าช่วง 160°C มาก โครงสร้างจึงโดนทำลายน้อยกว่า และในส่วนค่าความเป็นสีเหลืองพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

ส่วนกรณีของความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่าถ้าความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าของสีแดงพบว่า มีแนวโน้มเดียวกับค่าของสีเหลืองกล่าวคือ ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพิ่มสูงขึ้นค่าสีแดงและสีเหลืองของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น

ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนขดยิ่งต่ำ (ช่วงอุณหภูมิ 120 - 140°C) และมีค่าลดลงในกรณีที่ใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนขดยิ่งสูง (ช่วงอุณหภูมิ 160 - 180°C) โดยพบว่าค่าสีอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือจะอยู่ในโทนสีน้ำตาลเข้มถึงส้มแดง เนื่องจากการอบแห้งอยู่ในอุณหภูมิสูงตลอดกระบวนการจึงเกิดลักษณะเหมือนการไหม้ขึ้นบนผลิตภัณฑ์

จากการพิจารณาสถานะที่เหมาะสมต่อค่าสีของแครอทหลังการอบแห้งพบว่าการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนขดยิ่งที่อุณหภูมิ 140°C ความเร็วลม 3 m/s ให้สีของแครอทที่ผ่านการอบแห้งได้ใกล้เคียงแครอทสดที่สุด และการอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนขดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนขดยิ่ง 4 m/s เป็นสถานะที่ค่าสียังเป็นสีส้มอ่อนซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตาราง 4.3 ค่าสีของแครอทแผ่นหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนขดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วต่าง ๆ

Condition	Color parameter		
	L*	a*	b*
Fresh carrot	46.71 ± 0.79 ^{b,c}	25.15 ± 0.86 ^g	21.99 ± 0.78 ^b
SSD120°C 2m/s	45.09 ± 2.78 ^a	17.94 ± 1.42 ^{b,c}	20.16 ± 2.41 ^a
SSD140°C 2m/s	45.81 ± 0.80 ^{a,b}	22.42 ± 1.25 ^e	23.07 ± 3.13 ^b
SSD160°C 2m/s	48.27 ± 1.56 ^{e,f}	17.23 ± 0.34 ^b	33.79 ± 1.76 ^g
SSD180°C 2m/s	52.96 ± 1.30 ^h	18.66 ± 1.24 ^c	35.63 ± 2.80 ^h
SSD120°C 3m/s	49.94 ± 1.71 ^g	20.81 ± 2.25 ^d	25.35 ± 2.13 ^{c,d}
SSD140°C 3m/s	46.97 ± 1.40 ^{c,d}	24.09 ± 1.34 ^f	26.38 ± 1.65 ^d
SSD160°C 3m/s	49.79 ± 1.30 ^g	16.28 ± 0.34 ^a	32.33 ± 1.58 ^f
SSD180°C 3m/s	51.90 ± 1.28 ^h	17.92 ± 1.19 ^{b,c}	33.98 ± 1.79 ^g
SSD120°C 4m/s	48.35 ± 3.17 ^{e,f}	20.72 ± 1.65 ^d	24.54 ± 4.54 ^c
SSD140°C 4m/s	47.85 ± 1.07 ^{d,e}	25.71 ± 0.81 ^g	28.09 ± 1.17 ^e
SSD160°C 4m/s	49.13 ± 2.59 ^{f,g}	16.38 ± 1.27 ^a	28.92 ± 1.52 ^c
SSD180°C 4m/s	52.09 ± 1.51 ^h	17.41 ± 1.45 ^b	31.55 ± 1.94 ^f

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5 ผลการทดลองวัดค่าเนื้อสัมผัสของแครอทแผ่นอบแห้ง

จากผลการทดลองวัดค่าเนื้อสัมผัสของแครอทอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนขวดยิ่ง แสดงดังตาราง 4.4 พบว่าเมื่ออุณหภูมิไอน้ำร้อนขวดยิ่งสูงขึ้น มีผลทำให้แครอทอบแห้งมีค่าความแข็งและความเหนียวลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิไอน้ำร้อนขวดยิ่งสูงขึ้นจะทำให้วัสดุมีการพองตัวมากกว่าและมีความพรุนมากกว่า จึงทำให้วัสดุเมื่ออบแห้งแล้วมีความแข็งและเหนิวน้อยกว่าการใช้ไอน้ำร้อนขวดยิ่งอุณหภูมิต่ำกว่า

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งและความเหนียวของแครอทอบแห้ง โดยใช้ไอน้ำร้อนขวดยิ่งที่ความเร็วต่าง ๆ พบว่าความแข็งและความเหนียวมีค่าลดลงเมื่อความเร็วของไอน้ำร้อนขวดยิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วเพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง จึงช่วยลดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ ทำให้ความแข็งและความเหนียวมีค่าลดลง

จากการพิจารณาสถานะที่เหมาะสมต่อค่าเนื้อสัมผัสของแครอทหลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนขวดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนขวดยิ่ง 4 m/s เป็นสถานะที่ให้คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสดีที่สุด คือ มีความแข็งและความเหนิวน้อยที่สุด

ตาราง 4.4 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสได้แก่ ค่า Hardness และ Toughness ของแครอทแผ่นที่อบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วต่างๆ

Condition	Hardness (N)	Toughness (N)
SSD120°C 2 m/s	54.93 ± 2.74 ^b	15.17 ± 1.29 ^f
SSD140°C 2 m/s	47.35 ± 1.19 ^f	10.78 ± 1.70 ^d
SSD160°C 2 m/s	25.93 ± 2.92 ^c	7.04 ± 1.71 ^c
SSD180°C 2 m/s	23.78 ± 3.01 ^{b,c}	2.57 ± 1.57 ^a
SSD120°C 3 m/s	51.08 ± 1.91 ^g	13.87 ± 1.92 ^{e,f}
SSD140°C 3 m/s	42.86 ± 1.43 ^e	10.18 ± 1.11 ^d
SSD160°C 3 m/s	23.96 ± 2.31 ^{b,c}	6.67 ± 1.16 ^c
SSD180°C 3 m/s	22.30 ± 1.81 ^b	1.96 ± 0.57 ^a
SSD120°C 4 m/s	47.22 ± 1.25 ^f	13.41 ± 1.63 ^e
SSD140°C 4 m/s	39.40 ± 1.05 ^d	9.25 ± 1.78 ^d
SSD160°C 4 m/s	21.65 ± 2.32 ^b	4.59 ± 0.95 ^b
SSD180°C 4 m/s	18.82 ± 1.47 ^a	1.07 ± 0.72 ^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.6 ผลการทดลองวัดค่าการหดตัวของแครอทแผ่นอบแห้ง

ผลการทดลองการวัดค่าการหดตัวของแครอทอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง แสดงดังตาราง 4.5 พบว่าเมื่ออุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงขึ้น จะทำให้การหดตัวของแครอทมีค่าน้อยลง เนื่องจากการใช้อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงขึ้นจะทำให้วัสดุมีการพองตัวมากขึ้นในระหว่างการอบแห้ง โครงสร้างของผลิตภัณฑ์จึงยุบตัวน้อยกว่าทำให้การหดตัวลดลง ซึ่งส่งผลสอดคล้องกับค่าเนื้อสัมผัสในตาราง 4.4 คือ ถ้าผลิตภัณฑ์มีการพองตัวมาก ก็จะมีรูพรุนมาก ผลิตภัณฑ์จึงหดตัว

ลดลง ทำให้มีความแข็งและความเหนียวน้อยลง ส่วนความเร็วของไอน้ำร้อนยิ่งที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การหดตัวลดลงเนื่องมาจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง การหดตัวจึงน้อยลงโดยผลของความเร็วมีผลต่อการหดตัวน้อยกว่าผลของอุณหภูมิ

จากการพิจารณาสถานะที่เหมาะสมต่อค่าการหดตัวของแครอทหลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งแครอทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s เป็นสถานะที่ให้คุณภาพด้านหดตัวน้อยที่สุด

ตาราง 4.5 คุณภาพด้านการหดตัวของแครอทแผ่นหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิและความเร็วต่างๆ

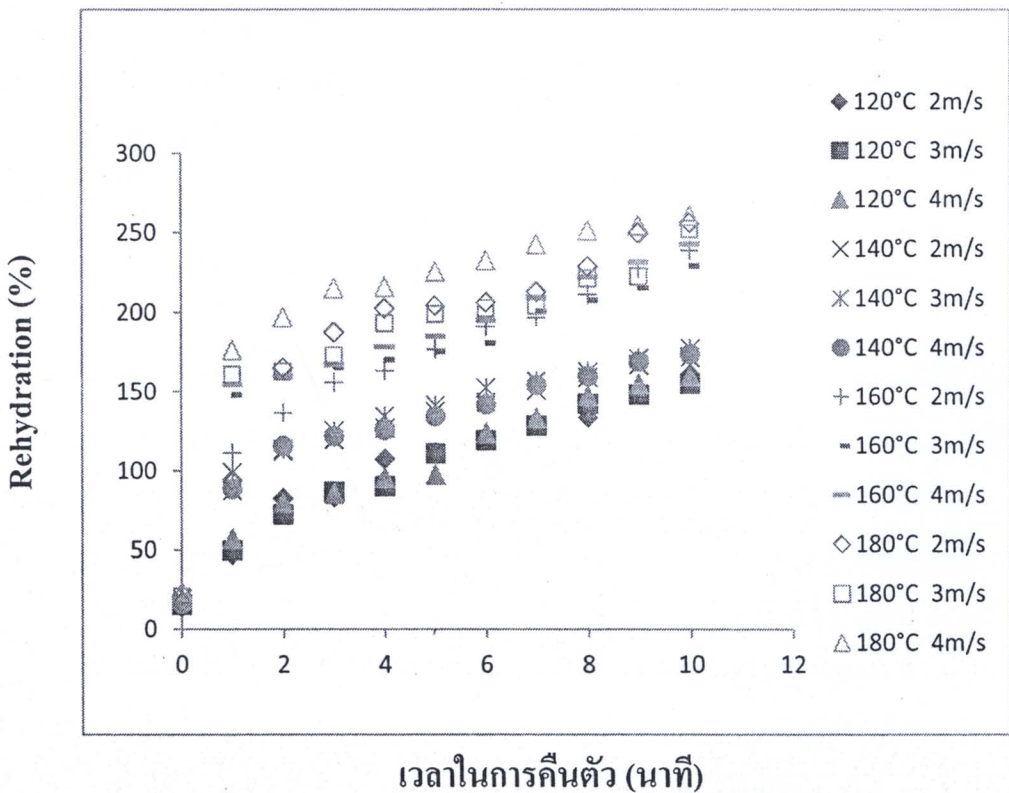
Drying process	Shrinkage (%)
SSD120°C 2 m/s	91.80 ± 0.54 ^f
SSD140°C 2 m/s	89.79 ± 0.84 ^f
SSD160°C 2 m/s	83.79 ± 2.57 ^d
SSD180°C 2 m/s	56.63 ± 3.93 ^b
SSD120°C 3 m/s	91.31 ± 1.71 ^f
SSD140°C 3 m/s	86.75 ± 3.19 ^e
SSD160°C 3 m/s	79.75 ± 3.15 ^c
SSD180°C 3 m/s	51.05 ± 4.14 ^a
SSD120°C 4 m/s	90.90 ± 1.05 ^f
SSD140°C 4 m/s	85.84 ± 4.28 ^{d,e}
SSD160°C 4 m/s	78.43 ± 2.80 ^c
SSD180°C 4 m/s	49.65 ± 5.21 ^a

หมายเหตุ : ค่าของข้อมูลแสดงในรูปของค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในแนวดิ่งเดียวกัน แสดงว่าให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.7 ผลการทดลองวัดค่าการคืนตัวของแคโรทแผ่นอบแห้ง

จากรูป 4.42 แสดงความชื้นของแคโรทแผ่นในแต่ละเวลาในขณะที่คืนตัว พบว่าการคืนตัวของแคโรทแผ่นหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิต่ำจะมีค่าน้อยกว่าการคืนตัวของแคโรทแผ่นที่หลังการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากการอบแห้งแคโรทแผ่นที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้เนื้อแคโรทจับตัวกันแน่นกว่า และหดตัวมากกว่าการอบแห้งแคโรทแผ่นที่อุณหภูมิสูง ทำให้มีช่องว่างระหว่างเนื้อแคโรทน้อย จึงทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในเนื้อแคโรทได้ยากกว่าการอบแห้งแคโรทแผ่นที่อุณหภูมิสูงซึ่งมีรูพรุนมากกว่า จึงเป็นเหตุให้ค่าการคืนตัวของแคโรทแผ่นที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การคืนตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเร็วที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาในการอบแห้งลดลง การหดตัวจึงน้อยลงทำให้การคืนตัวของแคโรทหลังการอบแห้งที่ความเร็วสูงมีค่ามากกว่าที่ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความเร็วต่ำ

จากการพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมต่อค่าการหดตัวของแคโรทหลังการอบแห้งพบว่า การอบแห้งแคโรทแผ่นโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 180°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 4 m/s เป็นสภาวะที่ให้คุณภาพด้านคืนตัวมากที่สุด



รูป 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการคืนตัวกับเวลาที่แช่ในน้ำเดือดของแคโรทแผ่นหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิ 120, 140, 160 และ 180°C และความเร็ว 2, 3 และ 4 m/s