

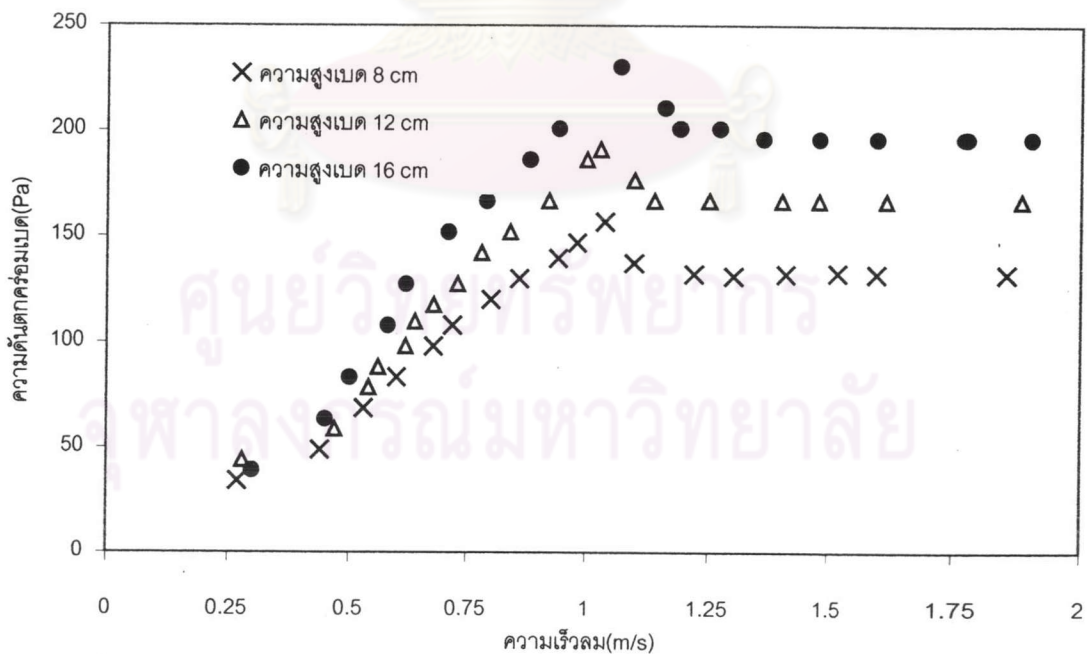
บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

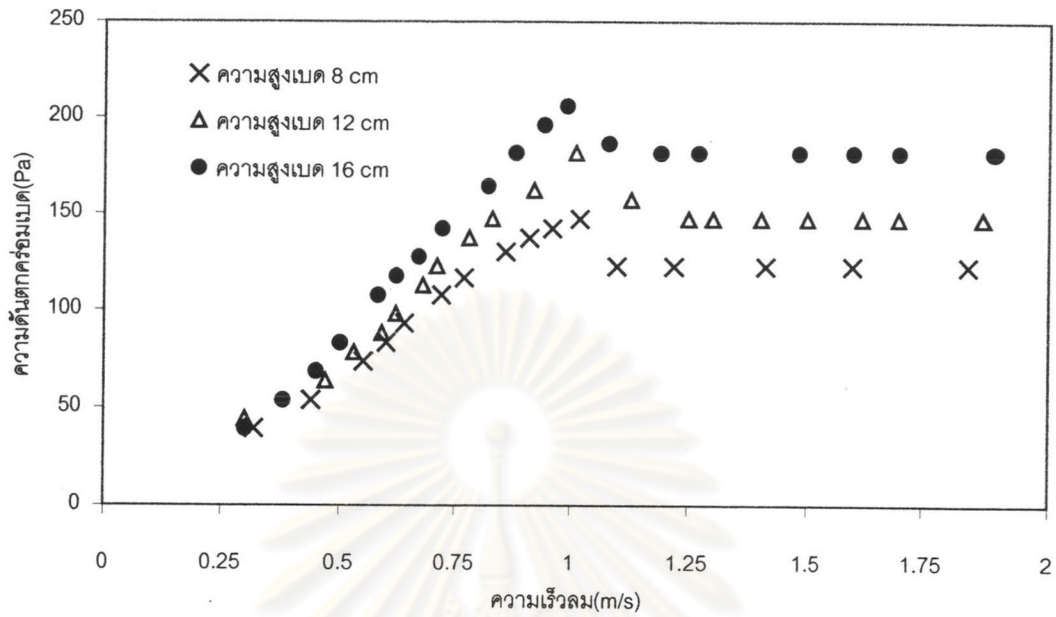
5.1 ความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไชน์เบด

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศที่เข้าเครื่องทดลอง ความดันตกคร่อมระหว่างเบดก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศจนถึงระดับหนึ่ง กากมะพร้าวจะเริ่มขยับตัวและเกิดรอยแยกให้อากาศผ่านมาได้ ความดันตกจะคงที่แม้ว่าจะเพิ่มความเร็วอากาศ ซึ่งจุดนี้เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดที่เกิดฟลูอิดไชน์เบด

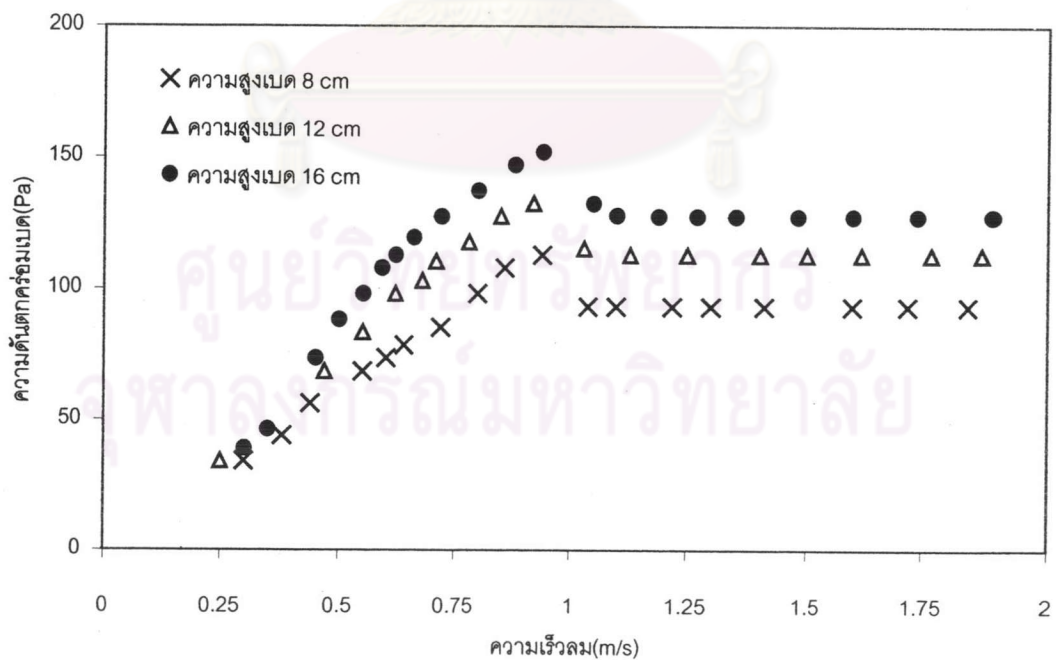
รูปที่ 5.1 – 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบดกับความเร็วอากาศในห้องทดลอง ที่อุณหภูมิอากาศ 33°C ความชื้นกากมะพร้าว 55%, 35%, 20%, 3% มาตรฐานเปียก ณ ความสูงเบด 8, 12, 16 cm พบว่าความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไชน์เบดมีค่าประมาณ 1.05, 1.0, 0.9, 0.6 m/s ตามลำดับ โดยจากการคำนวณที่ความชื้นกากมะพร้าว 55% มาตรฐานเปียก ได้ค่าความเร็วต่ำสุดในการเกิด ฟลูอิดไชน์เบดเท่ากับ 1.193 m/s โดยมีรายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ข.



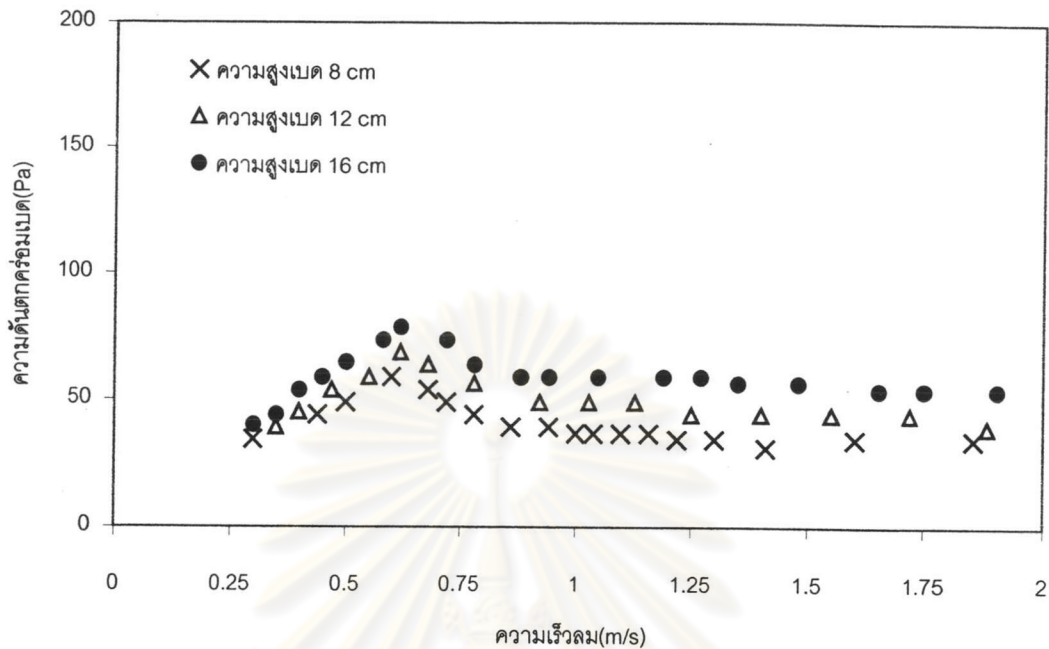
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด (P_2-P_1) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความชื้นกากมะพร้าว 55% มาตรฐานเปียก (ข้อมูลจากตาราง ก.1 ถึง ก.3)



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด (P_2-P_1) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความขึ้นกากมะพร้าว 35% มาตรฐานเปียก (ข้อมูลจากตาราง ก.4 ถึง ก.6)



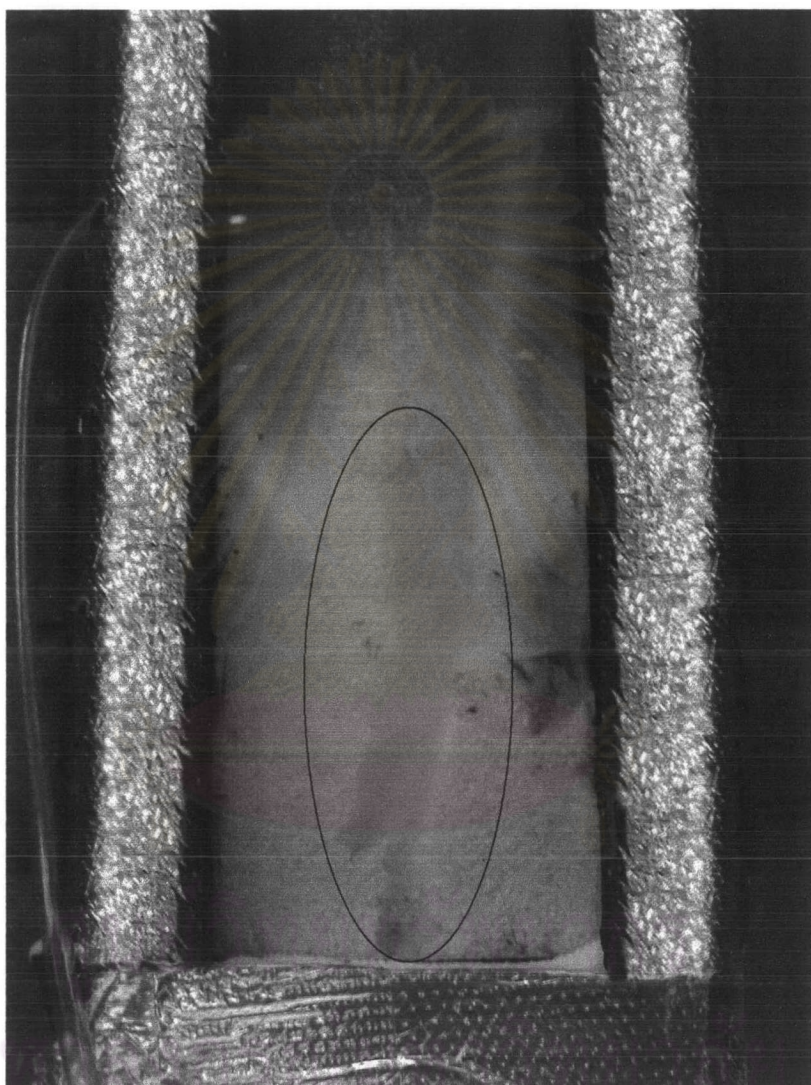
รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด (P_2-P_1) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความขึ้นกากมะพร้าว 20% มาตรฐานเปียก (ข้อมูลจากตาราง ก.7 ถึง ก.9)



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบด ($P_2 - P_1$) กับความเร็วอากาศ V_1 ที่ความชื้นอากาศมะพร้าว 3% มาตรฐานเปียก (ข้อมูลจากตาราง ก.10 ถึง ก.12)

5.2 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไอเซน

จากการทดลองอบแห้งโดยใช้หอทดลองแบบโปร่งใส พบว่าลักษณะของการเกิดฟลูอิดไอเซนเบดเริ่มต้นจะเกิดปรากฏการณ์ channelling คือเกิดการผ่านของอากาศเป็นช่อง ๆ โดยที่กากมะพร้าวที่อยู่ตรงทางผ่านของก๊าซเท่านั้นที่เคลื่อนที่ แต่บริเวณด้านข้างจะอยู่กับที่ไม่เคลื่อนที่ โดยเริ่มต้นจากหนึ่งช่องและจะเพิ่มเป็นหลายช่องเมื่อมีการเพิ่มความเร็วอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มความเร็วขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับหนึ่ง เบดจะยกตัวขึ้นเป็นฟลูอิดไอเซนเบดแบบสมบูรณ์ ดังแสดงในรูป 5.6



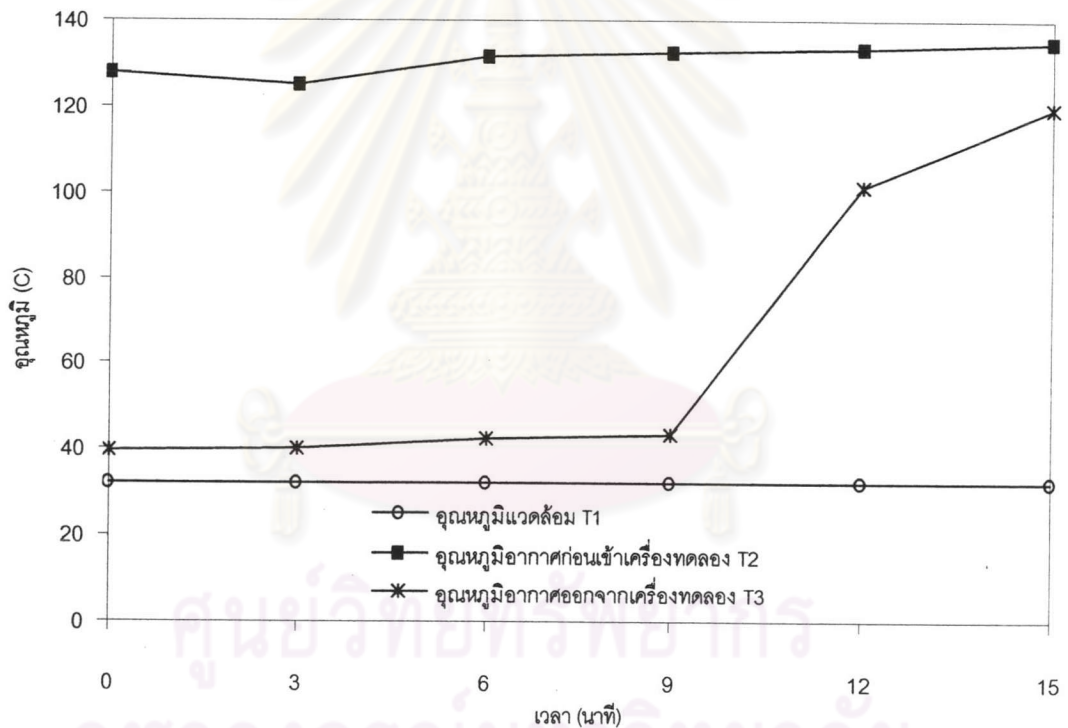
รูปที่ 5.5 ปรากฏการณ์ Channelling ภายในเครื่องทดลอง



รูปที่ 5.6 ลักษณะการเกิดฟลูอิดไคซ์เบคในเครื่องทดลอง

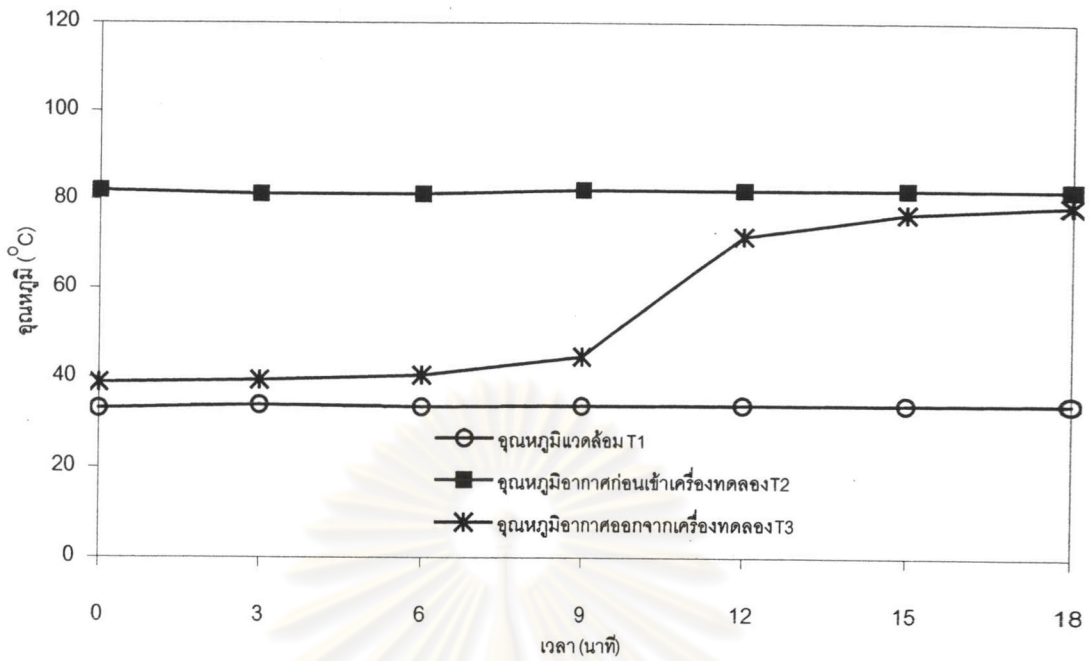
5.3 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการอบแห้ง

จากรูปที่ 5.7 – 5.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิขณะทำการอบแห้งที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม (T1) โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศเข้าเครื่องทดลอง (T2) เท่ากับ 80, 105, 130 °C พบว่าอุณหภูมิอากาศหลังออกจากเครื่องทดลอง (T3) จะมากกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 5 – 10 องศา เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนให้กับกากมะพร้าว กากมะพร้าวเมื่อได้รับความร้อนก็จะระบายความร้อนให้กับอากาศ ทำให้อากาศมีอัตราส่วนความชื้นสูงขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ทำให้อากาศออกจากเครื่องทดลองมีค่าสูงขึ้น เพราะกากมะพร้าวไม่สามารถระเหยความชื้นได้ทัน เมื่อความชื้นของกากมะพร้าวเข้าใกล้อัตราส่วนความชื้นสมดุล อุณหภูมิของอากาศออกจากเครื่องทดลองจะมีค่าเข้าใกล้กับอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องทดลอง

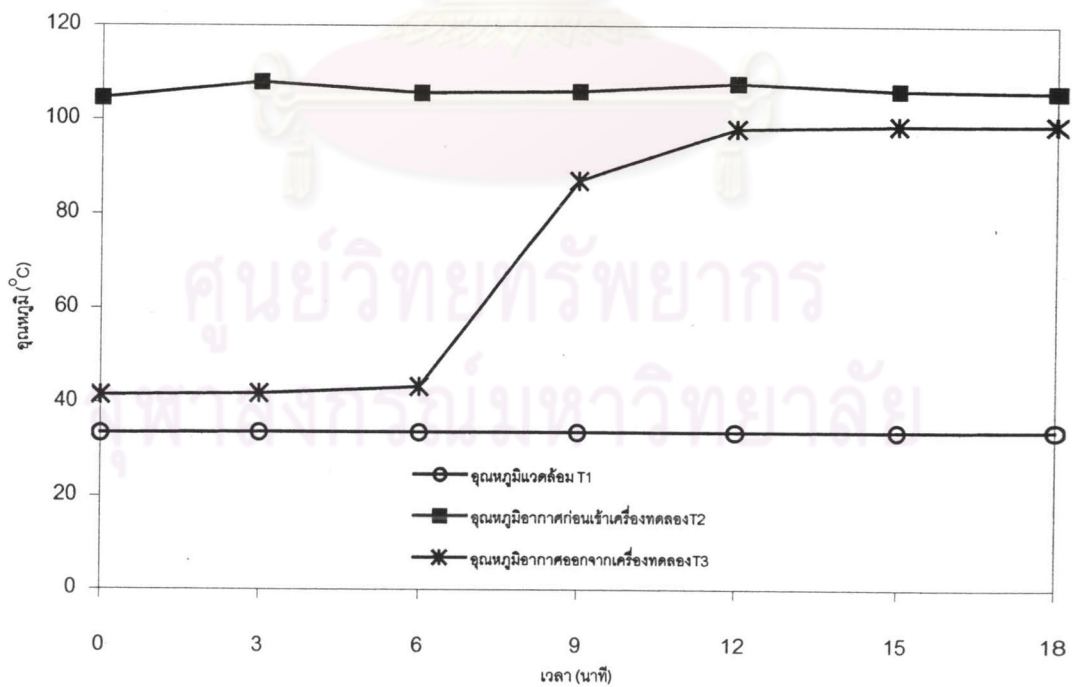


รูปที่ 5.7 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C

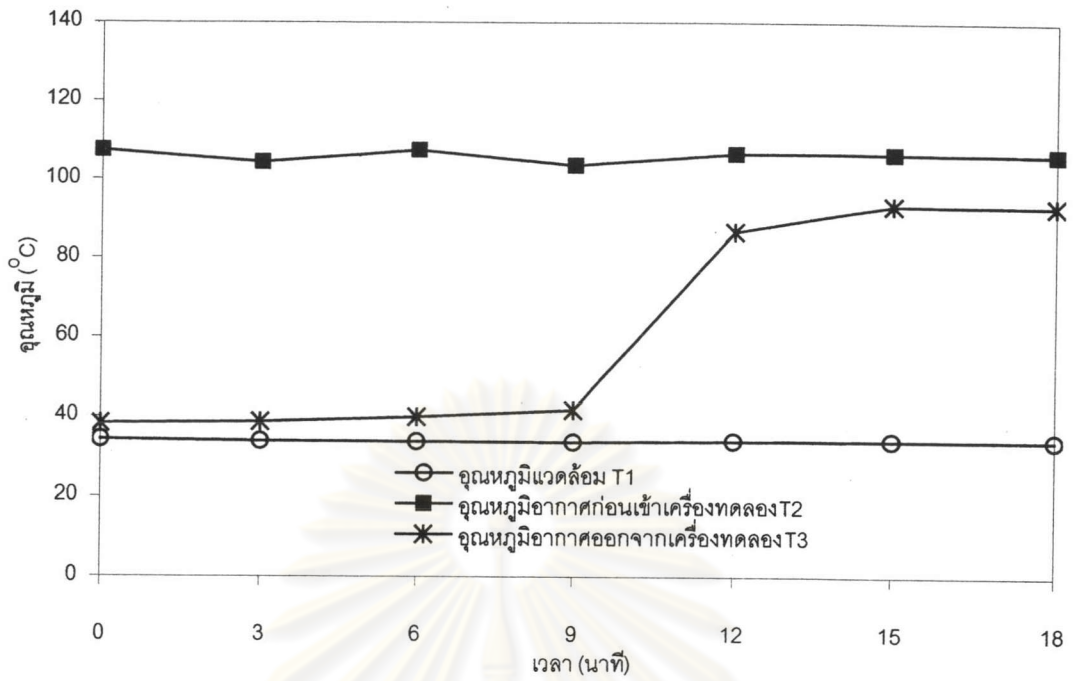
ความเร็วของอากาศ 1.58 m/s ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.20)



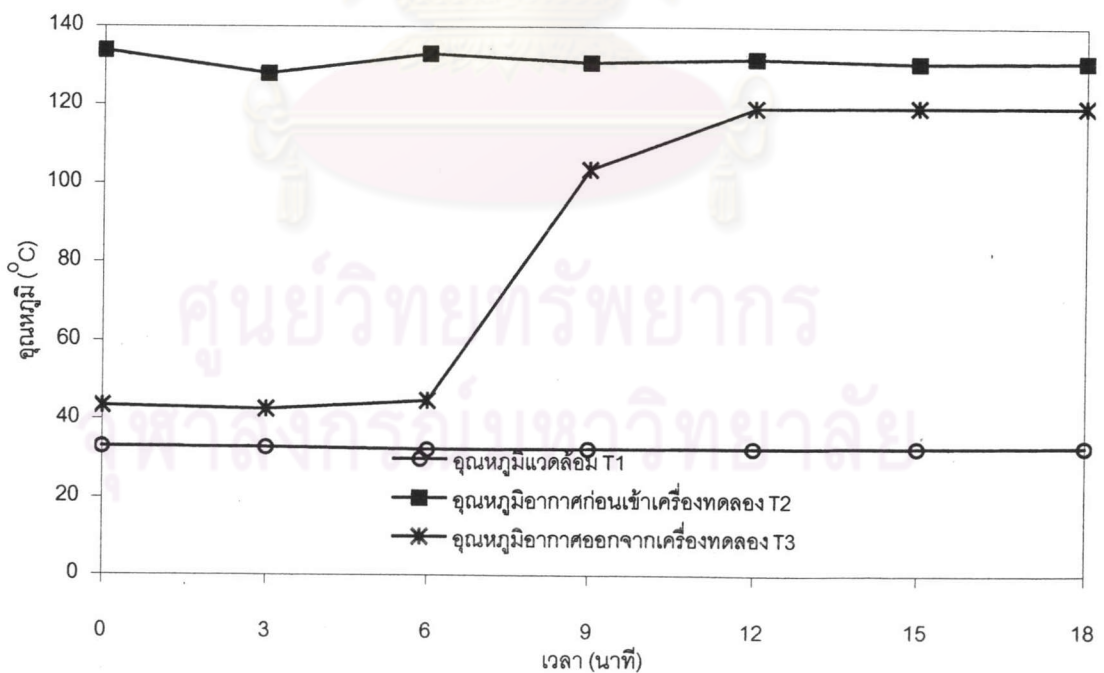
รูปที่ 5.8 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 °C
ความเร็วของอากาศ 2.09 m/s ความสูงเบค 8 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.22)



รูปที่ 5.9 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C
ความเร็วของอากาศ 2.08 m/s ความสูงเบค 8 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.25)



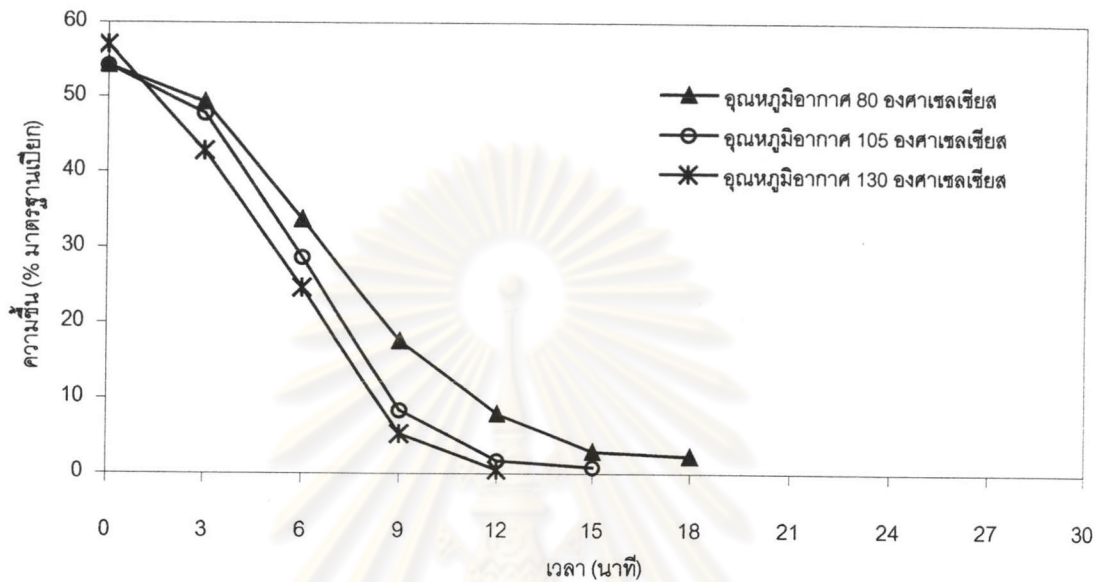
รูปที่ 5.10 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C
ความเร็วของอากาศ 2.53 m/s ความสูงเบด 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.36)



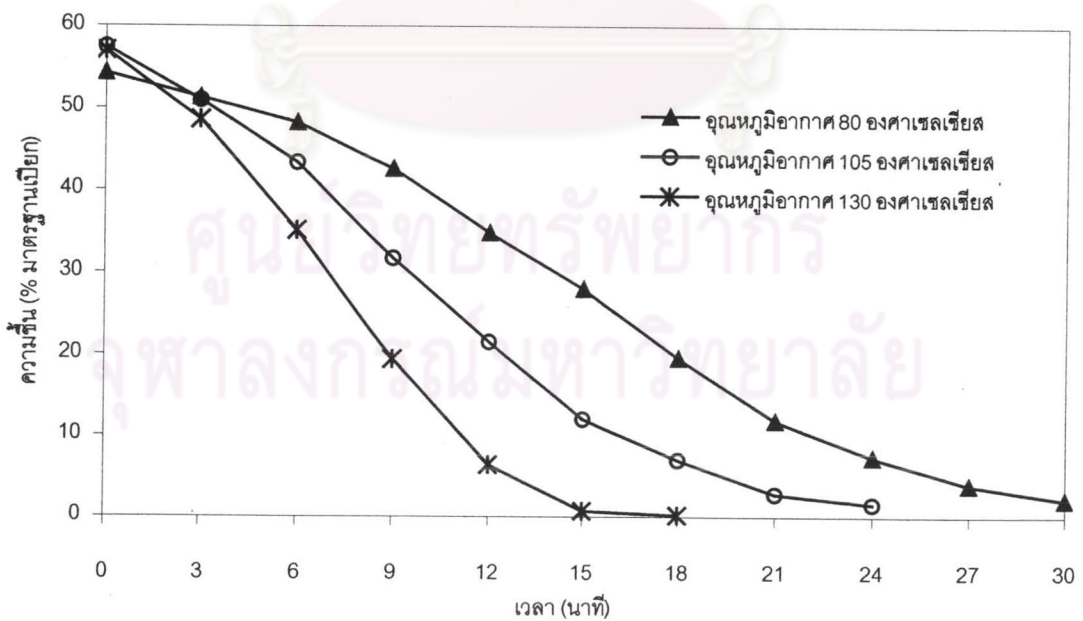
รูปที่ 5.11 อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ขณะทำการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 °C
ความเร็วของอากาศ 2.62 m/s ความสูงเบด 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.39)

5.4 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการอบแห้ง

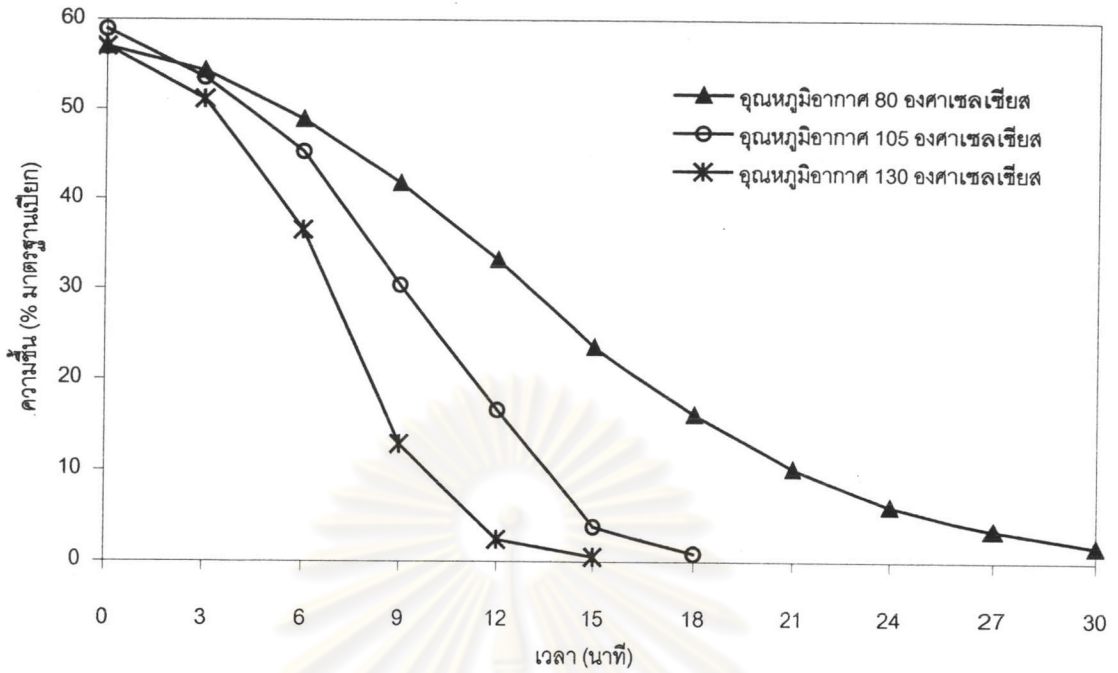
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองสูงขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำของกากมะพร้าวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 5.12 – 5.15



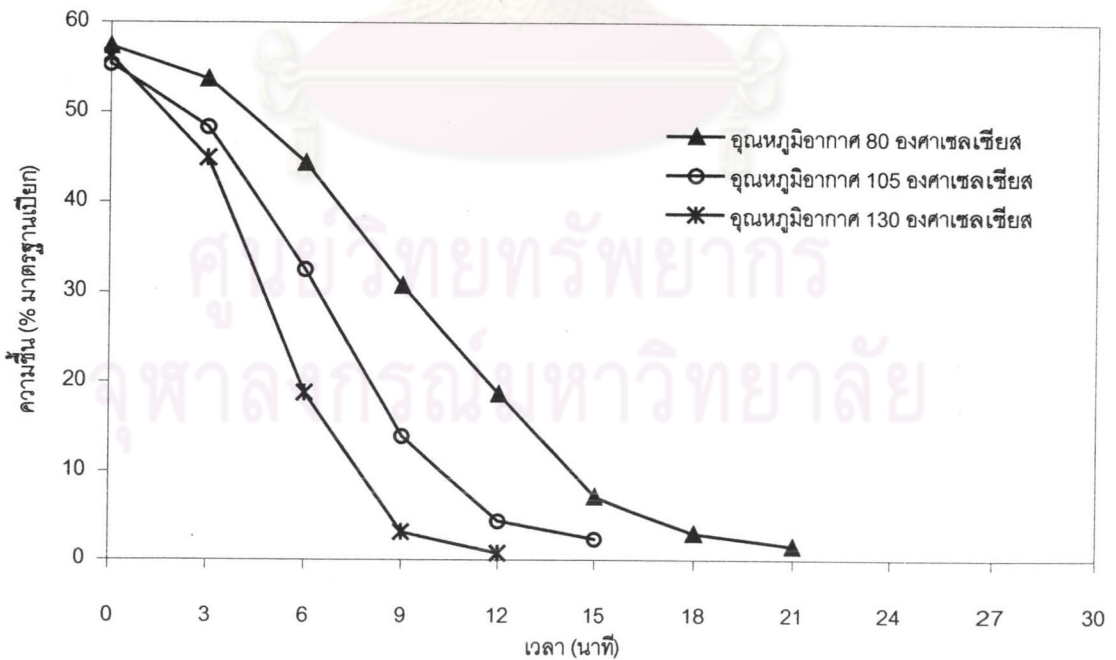
รูปที่ 5.12 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศ 2 m/s ความสูงเบด 8 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.22, ก.25, ก.28)



รูปที่ 5.13 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศ 2 m/s ความสูงเบด 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.24, ก.27, ก.30)



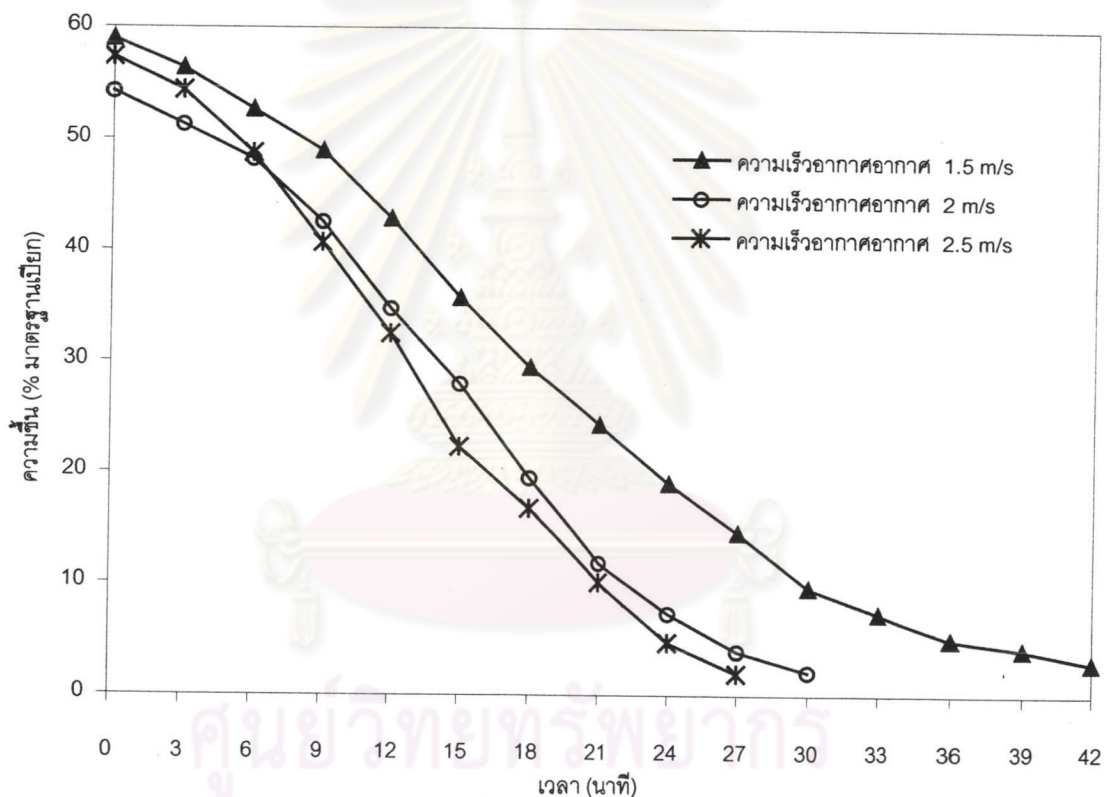
รูปที่ 5.14 อิทธิพลของอนุภาคน้ำอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศ 1.5 m/s ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.14, ก.17, ก.20)



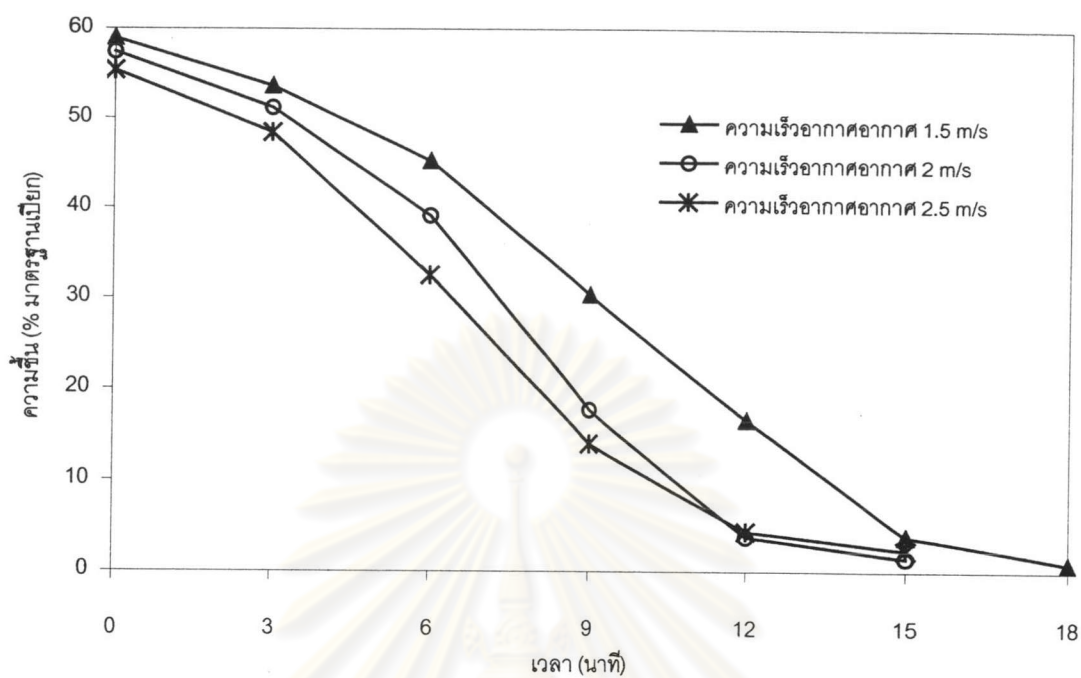
รูปที่ 5.15 อิทธิพลของอนุภาคน้ำอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่อ อัตราการอบแห้ง ที่ความเร็วอากาศ 2.5 m/s ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.32, ก.35, ก.38)

5.5 อิทธิพลของความเร็วอากาศร้อนเข้าเครื่องอบแห้งที่มีผลต่อการอบแห้ง

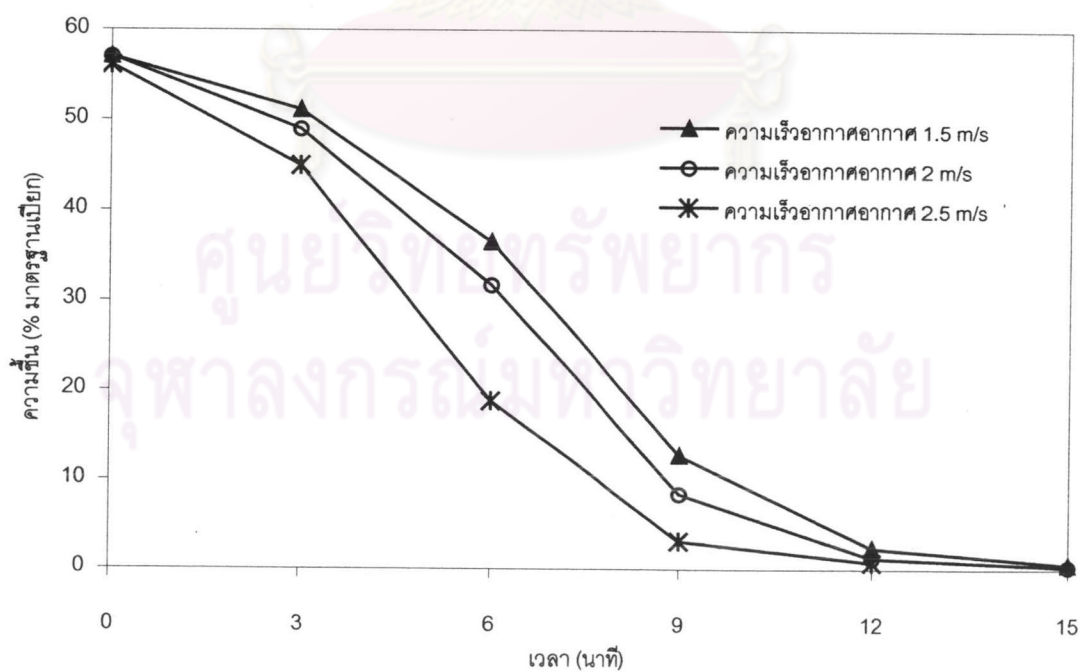
จากรูปที่ 5.16 – 5.18 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศร้อนก่อนเข้าเครื่องอบแห้งที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ ซึ่งสังเกตจากผลการทดลองได้ว่า การเพิ่มขึ้นของความเร็วของอากาศร้อนนั้นจะให้ผลการทดลองที่คล้ายกับการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อน คือ อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและมวลอากาศที่พาความร้อนไปสู่กากมะพร้าวมีค่าสูงขึ้น อัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงขึ้น อัตราการระเหยความชื้นจึงสูงขึ้น



รูปที่ 5.16 อิทธิพลของความเร็วของอากาศเข้าเครื่องอบแห้งที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง
ที่อุณหภูมิอากาศ 80 °C ความสูงเบด 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.15, ก.24, ก.33)



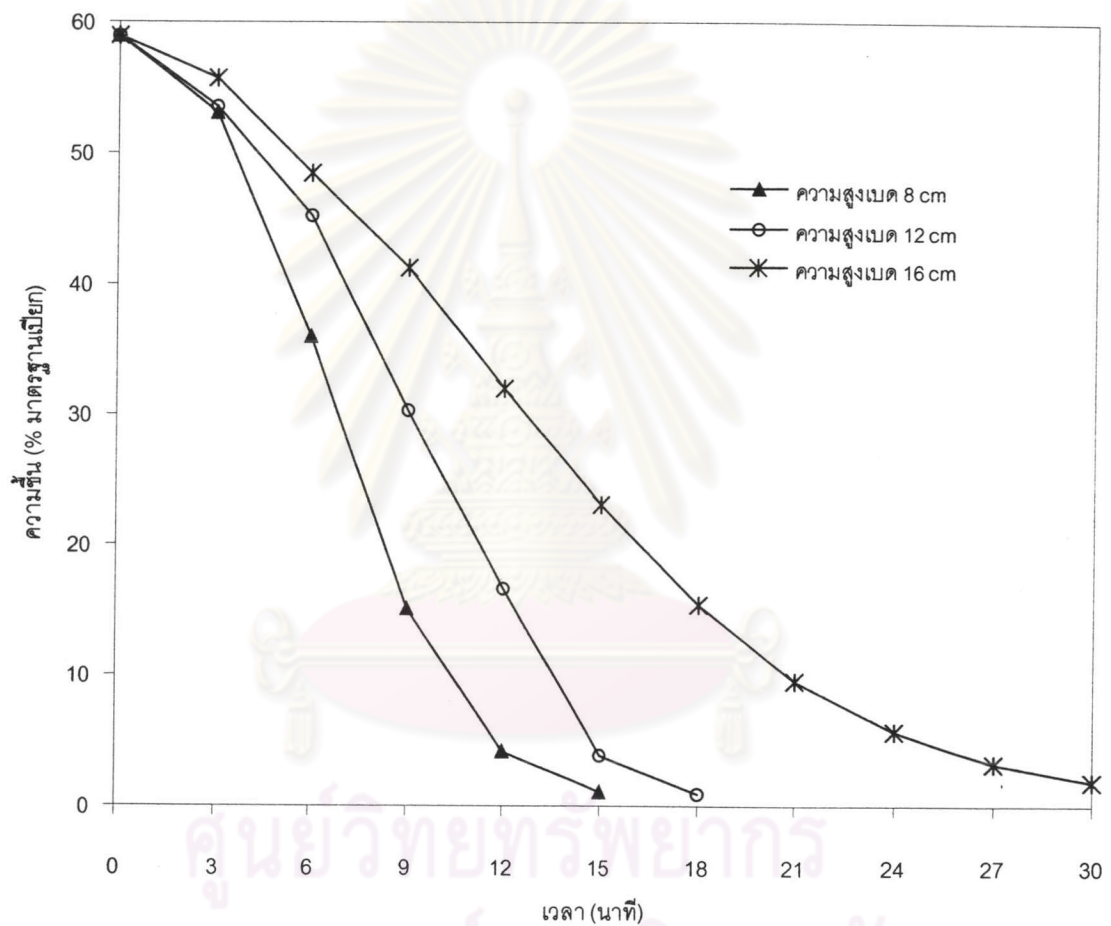
รูปที่ 5.17 อิทธิพลของความของอากาศเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอากาศ 105 °C ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.17, ก.26, ก.35)



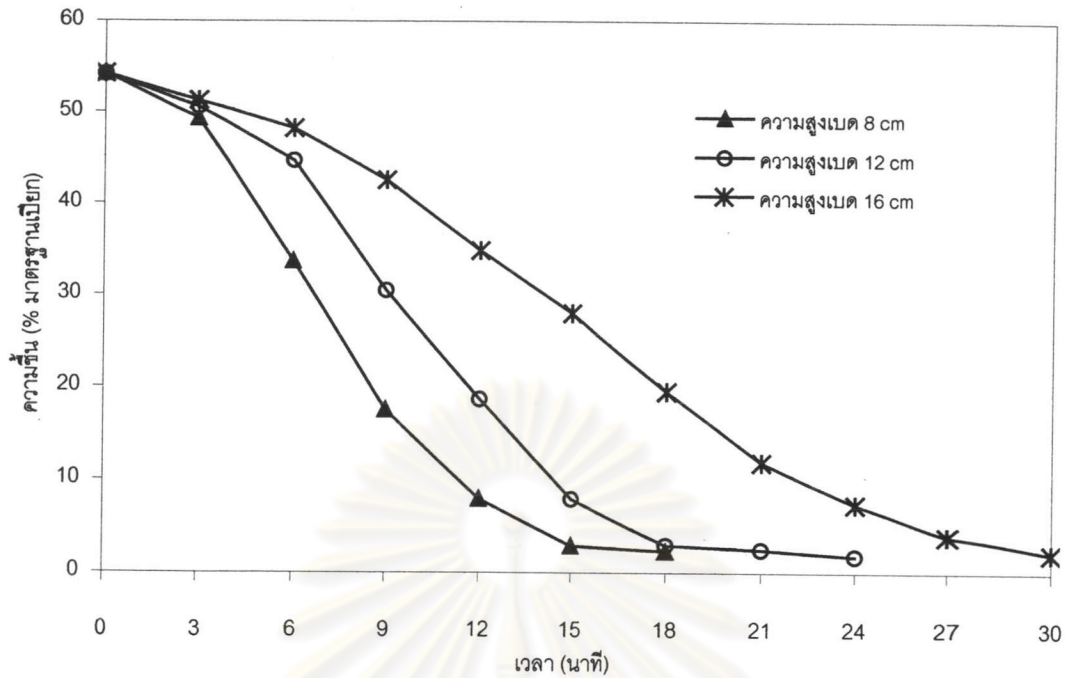
รูปที่ 5.18 อิทธิพลของความของอากาศเข้าเครื่องทดลองที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอากาศ 130 °C ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.20, ก.29, ก.38)

5.6 อิทธิพลของความสูงเบดที่มีผลต่อการอบแห้ง

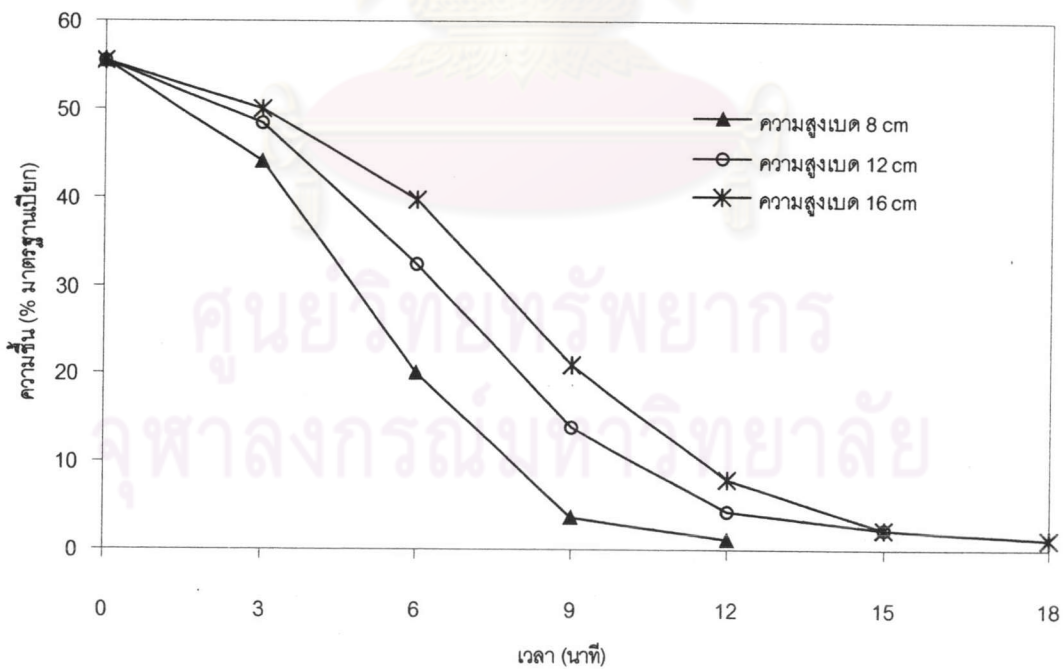
จากรูปที่ 5.19 – 5.21 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองอบแห้งกากมะพร้าวที่ความสูงเบด 8, 12 และ 16 cm ที่สภาวะการทดลองหนึ่ง ๆ พบว่า เมื่อเพิ่มความสูงเบดมากขึ้น ทำให้มีกากมะพร้าวมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณอากาศร้อนยังเท่าเดิม เป็นผลให้อัตราการแลกเปลี่ยนความชื้นของกากมะพร้าวกับอากาศร้อนลดลงตามความสูงเบดที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.19 อิทธิพลของความสูงเบดที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งกากมะพร้าว
ที่อุณหภูมิอากาศ 105 °C ความเร็วอากาศ 1.5 m/s (ข้อมูลจากตาราง ก.16, ก.17, ก.18)



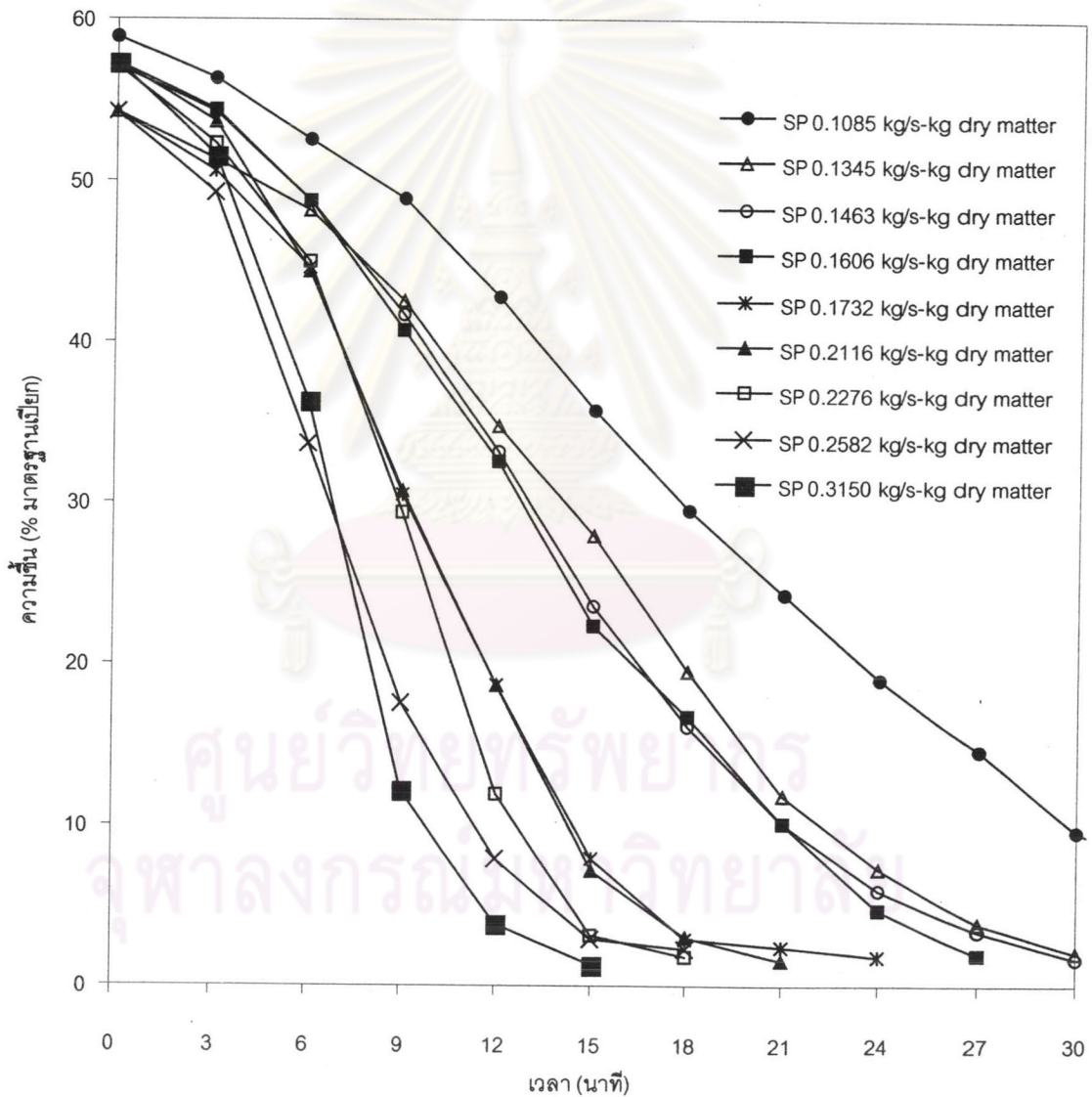
รูปที่ 5.20 อิทธิพลของความสูงเบตที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งกากมะพร้าว
ที่อุณหภูมิอากาศ 80 °C ความเร็วอากาศ 2 m/s (ข้อมูลจากตาราง ก.22, ก.23, ก.24)



รูปที่ 5.21 อิทธิพลของความสูงเบตที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งกากมะพร้าว
ที่อุณหภูมิอากาศ 105 °C ความเร็วอากาศ 2.5 m/s (ข้อมูลจากตาราง ก.34, ก.35, ก.36)

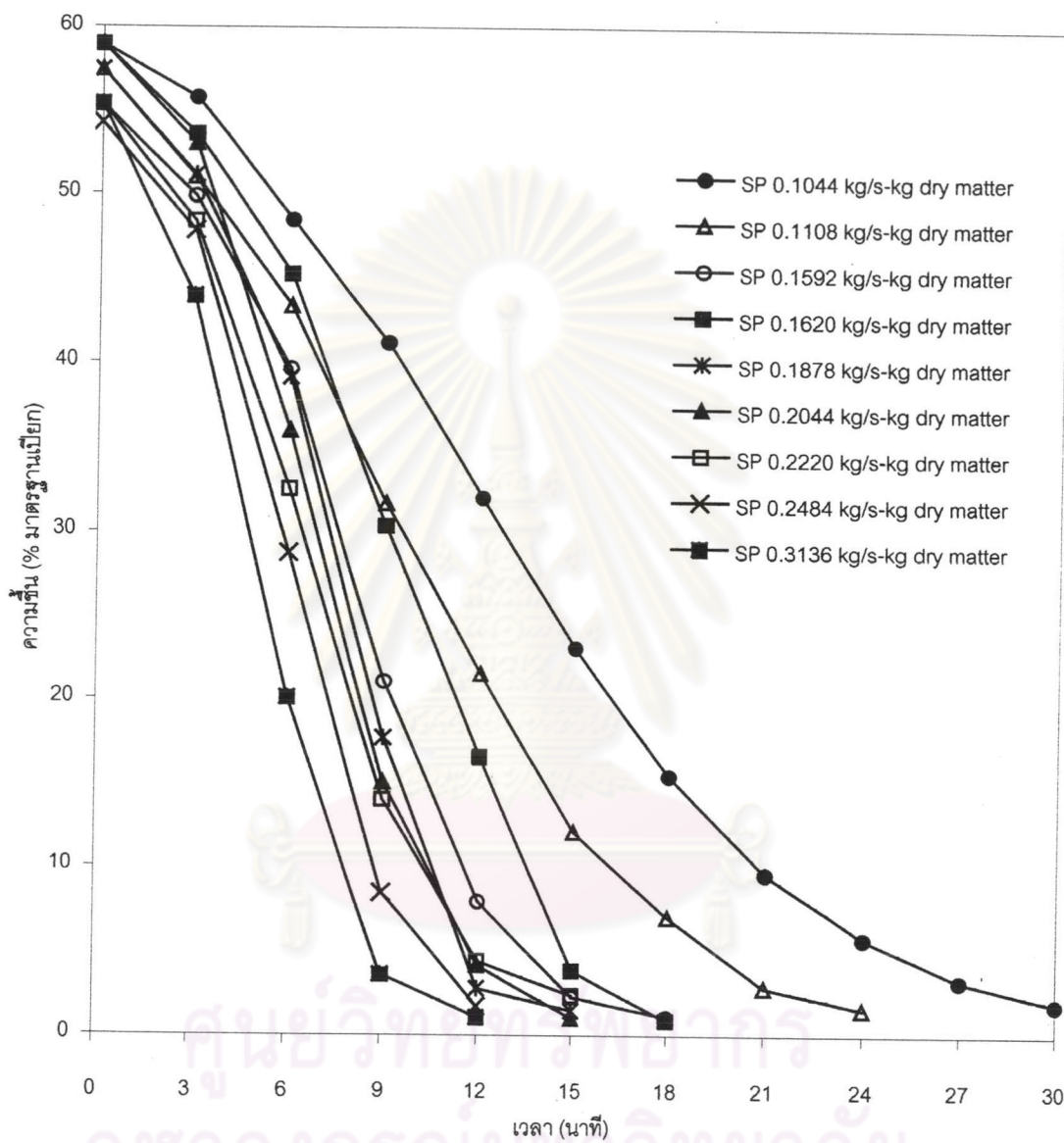
5.7 อิทธิพลของอัตราการไหลเฉพาะของอากาศที่มีผลต่อการอบแห้ง

จากอิทธิพลของความเร็วอากาศเข้าเครื่องอบแห้ง และอิทธิพลของความสูงของเบด ให้ผลออกมาในทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง หรือลดความสูงเบดลง ก็คือเป็นการเพิ่มปริมาณอากาศต่อมวลกากมะพร้าว ซึ่งเมื่อปริมาณอากาศต่อมวลกากมะพร้าวสูงขึ้น ทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนความชื้นระหว่างกากมะพร้าวไปสู่อากาศร้อนจึงมีค่าสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจึงสูงขึ้น ดังนั้นเราจึงนิยามอัตราของอากาศต่อมวลกากมะพร้าวเป็น “อัตราการไหลเฉพาะของอากาศ(SP)” ซึ่งเท่ากับอัตราการไหลมวลอากาศต่อมวลกากมะพร้าวแห้ง มีหน่วยเป็น kg/s-kg dry matter ดังแสดงในรูปที่ 5.22 – 5.24 โดยมีข้อมูลจากตารางในภาคผนวก ก. แยกตามอุณหภูมิ

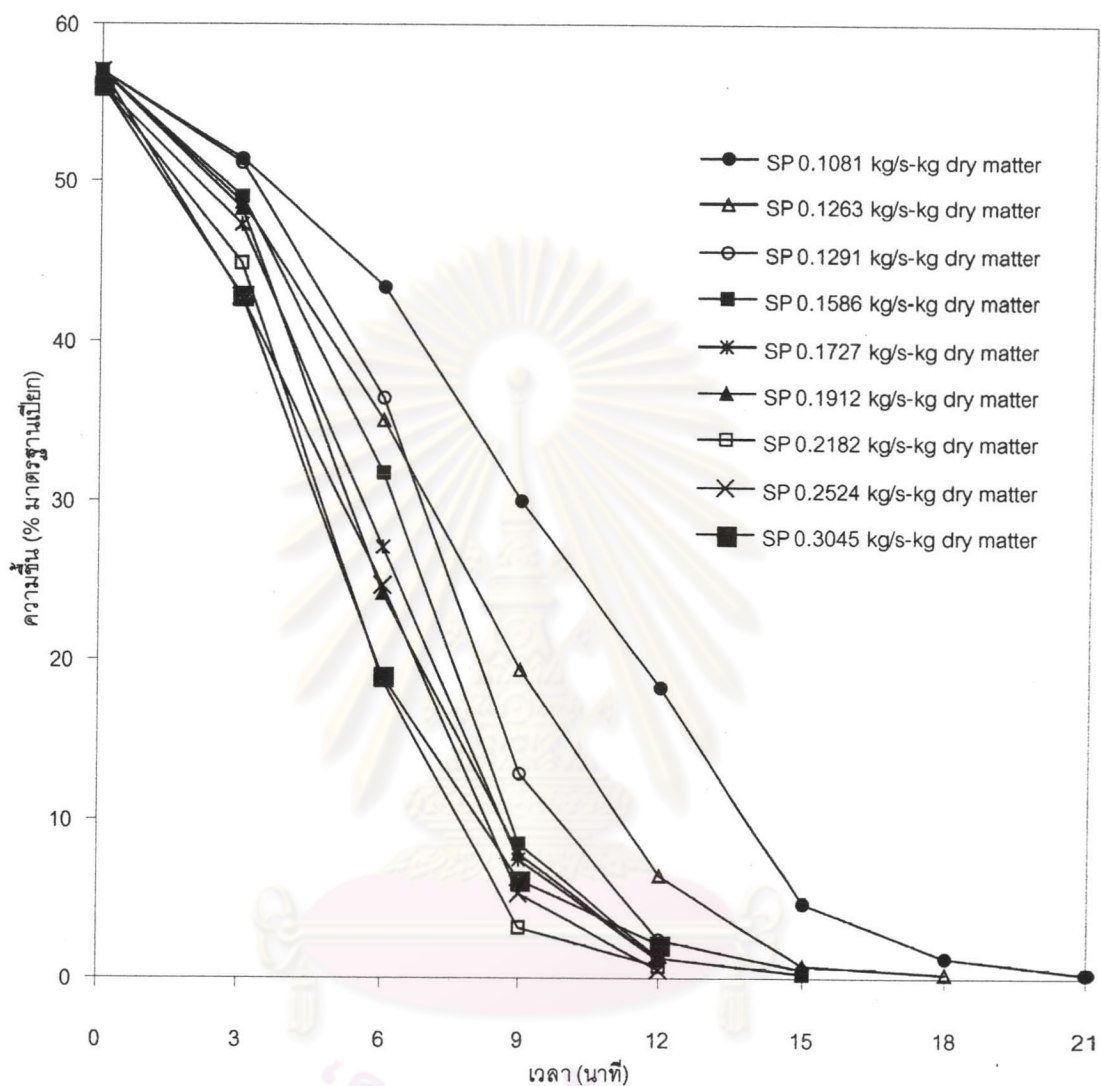


รูปที่ 5.22 อิทธิพลของอัตราการไหลเฉพาะของอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง

(อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 80 °C)



รูปที่ 5.23 อิทธิพลของอัตราการไหลจำเพาะของอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง
(อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 105°C)



รูปที่ 5.24 อิทธิพลของอัตราการไหลเฉพาะของอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง (อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง 130°C)

ศูนย์วิทยุโทรพัทธ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.8 ผลการทำนายหาสมการออบแห้งของกากมะพร้าว

จากการทดลองอบแห้งกากมะพร้าวที่ความชื้นเริ่มต้น 55-60% มาตรฐานเปียก อุณหภูมิ 80,105 และ 130 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 1.5,2.0 และ 2.5 m/s ความสูงเบด 8,12, 16 cm ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ก. สำหรับการวิจัยนี้เราจะหาผลทำนายในรูปแบบสมการ 3 แบบ ได้แก่

- รูปแบบสมการ Exponential เทอมเดียว

$$MR = x \exp(-yt) \quad (3.11)$$

- รูปแบบสมการ Exponential สองเทอม

$$MR = x_1 \exp(-y_1 t) + x_2 \exp(-y_2 t) \quad (3.12)$$

- รูปแบบสมการ Page[13]

$$MR = \exp(-xt^y) \quad (3.10)$$

สำหรับสภาวะการทดลองหนึ่ง ๆ เมื่อแทนค่าเวลาของการอบแห้งและค่าอัตราส่วนความชื้นลงในสมการที่ (5.1) ถึง (5.3) และใช้เทคนิคสมการถดถอยพิกกราฟค่าอัตราส่วนความชื้นเทียบกับเวลาโดยใช้โปรแกรม SPSS จะได้ค่า x, y สำหรับแต่ละรูปแบบสมการ โดยตัวแปรที่มีผลต่อค่า x, y นี้ได้แก่อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและอัตราการไหลอากาศจำเพาะ ดังแสดงในตารางที่ 5.1-5.3 ซึ่งรูปแบบสมการ Page[13], สมการ Exponential เทอมเดียวและสมการ Exponential สองเทอมมีค่า r^2 เฉลี่ย เท่ากับ 0.9977, 0.8226, 0.9430 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5.1 – 5.3.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสมการถดถอยในรูปแบบสมการ Exponential เทอมเดียว

การทดลองที่	T	SP	x	y	r^2
1	81.86	0.258223	1.008381	0.228427	0.868692
2	82.14	0.173227	1.013651	0.182503	0.814503
3	81.78	0.134536	1.017637	0.115384	0.820592
4	106.36	0.248421	1.007835	0.333157	0.782453
5	105.43	0.187764	1.011603	0.278252	0.766283
6	105.56	0.110807	1.010989	0.168758	0.916797
7	130.16	0.252440	1.010160	0.393216	0.873841
8	131.00	0.158615	1.014481	0.362221	0.769503
9	131.60	0.126258	1.017719	0.307829	0.812568
10	81.79	0.227582	1.014114	0.224055	0.744792
11	80.65	0.146260	1.016906	0.129538	0.859088
12	79.72	0.108524	1.015762	0.087537	0.915608
13	105.60	0.204439	1.011643	0.290057	0.795722
14	105.93	0.161968	1.015573	0.228244	0.761628
15	106.20	0.104386	1.014867	0.134077	0.895239
16	131.18	0.191193	1.008685	0.338336	0.828617
17	130.95	0.139118	1.014238	0.317651	0.732082
18	130.10	0.108144	1.021855	0.242915	0.745146
19	80.62	0.314958	1.011675	0.294126	0.772858
20	82.06	0.211624	1.014757	0.200322	0.807678
21	81.63	0.160620	1.015361	0.131272	0.857039
22	106.36	0.313598	1.007689	0.373835	0.862893
23	105.10	0.222044	1.008803	0.316644	0.803879
24	105.96	0.159242	1.012739	0.241961	0.801784
25	130.16	0.304481	1.004380	0.324550	0.937080
26	130.62	0.218200	1.008347	0.393652	0.847293
27	131.50	0.172687	1.009135	0.332722	0.817744
				average	0.822644

โดย T คือ อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง, °C

SP คือ อัตราการไหลอากาศจำเพาะ, kg/s-kg dry matter

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสมการถดถอยในรูปแบบสมการ Exponential สองเทอม

การทดลองที่	T	SP	x1	y1	x2	y2	r ²
1	81.86	0.258223	0.235105	0.155197	0.764895	0.157628	0.940212
2	82.14	0.173227	0.425351	0.115951	0.574649	0.115692	0.926452
3	81.78	0.134536	0.325281	0.075316	0.674719	0.076826	0.935099
4	106.36	0.248421	0.024934	0.200180	0.975066	0.192264	0.905196
5	105.43	0.187764	0.015367	0.159482	0.984633	0.159672	0.928131
6	105.56	0.110807	0.254752	0.125384	0.745248	0.122223	0.975028
7	130.16	0.252440	0.175285	0.235299	0.824715	0.238267	0.979562
8	131.00	0.158615	0.024852	0.194855	0.975148	0.193224	0.942782
9	131.60	0.126258	0.395112	0.170521	0.604888	0.170521	0.967587
10	81.79	0.227582	0.025223	0.124982	0.974777	0.128923	0.917080
11	80.65	0.146260	0.155004	0.085361	0.844996	0.088326	0.950378
12	79.72	0.108524	0.335367	0.066729	0.664633	0.066729	0.962975
13	105.60	0.204439	0.045296	0.175137	0.954704	0.171137	0.932439
14	105.93	0.161968	0.015922	0.130942	0.984078	0.130724	0.939172
15	106.20	0.104386	0.465180	0.095293	0.534820	0.095293	0.964446
16	131.18	0.191193	0.085160	0.204852	0.914840	0.208722	0.940541
17	130.95	0.139118	0.063881	0.163885	0.936119	0.168714	0.922526
18	130.10	0.108144	0.026292	0.126012	0.973708	0.129956	0.948439
19	80.62	0.314958	0.005291	0.169402	0.994709	0.172118	0.921386
20	82.06	0.211624	0.322512	0.133348	0.677488	0.128224	0.934088
21	81.63	0.160620	0.479557	0.093214	0.520443	0.093418	0.948306
22	106.36	0.313598	0.396984	0.249841	0.603016	0.231599	0.956690
23	105.10	0.222044	0.386813	0.221854	0.613187	0.199685	0.921732
24	105.96	0.159242	0.364231	0.139514	0.635769	0.157481	0.933047
25	130.16	0.304481	0.352681	0.248521	0.647319	0.248521	0.974046
26	130.62	0.218200	0.155282	0.292453	0.844718	0.248522	0.949021
27	131.50	0.172687	0.002518	0.190857	0.997482	0.208226	0.943698
						average	0.942965

โดย T คือ อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง, °C

SP คือ อัตราการไหลอากาศจำเพาะ, kg/s-kg dry matter

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์การทดลองด้วยเทคนิคสมการถดถอยในรูปแบบสมการ Page

การทดลองที่	T	SP	x	y	r ²
1	81.86	0.258223	0.033877	1.735114	0.995697
2	82.14	0.173227	0.020388	1.753920	0.996158
3	81.78	0.134536	0.015801	1.612270	0.995447
4	106.36	0.248421	0.027540	2.044419	0.999883
5	105.43	0.187764	0.029616	1.888951	0.995228
6	105.56	0.110807	0.050618	1.404374	0.998314
7	130.16	0.252440	0.086951	1.641264	0.994814
8	131.00	0.158615	0.039530	1.886641	0.998181
9	131.60	0.126258	0.048208	1.680492	0.996708
10	81.79	0.227582	0.021056	1.871966	0.993347
11	80.65	0.146260	0.018140	1.620369	0.999845
12	79.72	0.108524	0.020478	1.415500	0.998904
13	105.60	0.204439	0.030512	1.904393	0.999766
14	105.93	0.161968	0.026637	1.779092	0.993993
15	106.20	0.104386	0.025317	1.529190	0.999578
16	131.18	0.191193	0.046309	1.869228	0.998952
17	130.95	0.139118	0.025410	2.006891	0.998225
18	130.10	0.108144	0.027252	1.752479	0.992953
19	80.62	0.314958	0.027381	1.955851	0.998151
20	82.06	0.211624	0.020334	1.814014	0.999783
21	81.63	0.160620	0.018776	1.632422	0.999136
22	106.36	0.313598	0.069581	1.741496	0.999685
23	105.10	0.222044	0.044668	1.702320	0.999163
24	105.96	0.159242	0.029021	1.795102	0.997626
25	130.16	0.304481	0.109966	1.482450	0.998758
26	130.62	0.218200	0.065534	1.791993	0.999360
27	131.50	0.172687	0.044950	1.867553	0.999763
				average	0.997682

โดย T คือ อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง, °C

SP คือ อัตราการไหลอากาศจำเพาะ, kg/s-kg dry matter

หลังจากนั้นนำค่า x, y ของแต่ละรูปแบบสมการคำนวณด้วยเทคนิคสมการถดถอยอีกครั้ง เพื่อหาค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่า x, y โดยค่า x, y เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิอบแห้งและค่าอัตราการไหลอากาศจำเพาะมีรูปแบบดังนี้ ทำให้ได้สมการทำนายความชื้นดังนี้

5.6.1 สมการ Exponential เทอมเดียว

$$MR = x \exp(-yt)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } x &= 0.994790 + 0.000108T + 0.070953(SP) - 0.000837(SP*T) - 0.005630 \ln(SP) \\ y &= 0.370373 + 0.005473T + 0.422144(SP) - 0.011488(SP*T) + 0.316054 \ln(SP) \end{aligned} \quad (5.4)$$

5.6.2 สมการ Exponential สองเทอม

$$MR = x_1 \exp(-y_1 t) + x_2 \exp(-y_2 t)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } x_1 &= -0.752942 - 0.012080T - 1.377423(SP) + 0.052012(SP*T) - 0.850125 \ln(SP) \\ y_1 &= 0.200368 + 0.001448T - 0.226089 (SP) + 0.002409(SP*T) + 0.115625 \ln(SP) \\ x_2 &= 1.752926 + 0.012080T + 1.377455(SP) - 0.052012(SP*T) + 0.850099 \ln(SP) \\ y_2 &= 0.180673 + 0.001680T - 0.112739 (SP) + 0.000897(SP*T) + 0.114249 \ln(SP) \end{aligned} \quad (5.5)$$

5.6.3 สมการ Page

$$MR = \exp(-xt^y)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } x &= -0.195801 - 0.000694T - 0.064124(SP) + 0.007385(SP*T) - 0.099971 \ln(SP) \\ y &= 4.273901 + 0.016115T + 0.607112(SP) - 0.078101(SP*T) + 1.623443 \ln(SP) \end{aligned} \quad (5.6)$$

โดย SP คือ อัตราการไหลจำเพาะของอากาศ, kg/s-kg dry matter

T คือ อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง, °C

ตารางที่ 5.4 แสดงค่า R-square เฉลี่ยสำหรับทุก ๆ สถานะการทดลองของแต่ละรูปแบบสมการการทำนาย พบว่าค่า R-square เฉลี่ยสำหรับสมการ Exponential เทอมเดียว, สมการ Exponential 2 เทอม และสมการ Page มีค่าเท่ากับ 0.8088, 0.9241 และ 0.9881 ตามลำดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า R-square สำหรับสมการ Exponential เทอมเดียว, สมการ Exponential 2 เทอม และสมการ Page มีค่าเท่ากับ 0.0963, 0.0310 และ 0.0150 ตามลำดับซึ่งสมการ Page มีค่า R-square เฉลี่ยที่สูงที่สุด อีกทั้งยังมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด จึงสามารถนำมาใช้ในการทำนายความชื้นของการอบแห้งกากมะพร้าวได้ดีที่สุด

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ค่า R-square สำหรับแต่ละรูปแบบสมการ

การทดลองที่	T	SP	R-square		
			Page	Exp 1term	Exp 2term
1	81.86	0.2582	0.986	0.8548	0.9186
2	82.14	0.1732	0.9389	0.8312	0.8841
3	81.78	0.1345	0.9629	0.7085	0.9407
4	106.36	0.2484	0.9937	0.8500	0.9296
5	105.43	0.1878	0.9934	0.8055	0.8798
6	105.56	0.1108	0.9860	0.9031	0.8986
7	130.16	0.2524	0.9907	0.9027	0.9673
8	131.00	0.1586	0.9973	0.8215	0.8984
9	131.60	0.1263	0.9969	0.8113	0.9276
10	81.79	0.2276	0.9876	0.7547	0.8889
11	80.65	0.1463	0.9998	0.7865	0.9620
12	79.78	0.1085	0.9899	0.9790	0.9863
13	105.60	0.2044	0.9994	0.8405	0.8975
14	105.93	0.1620	0.9785	0.7095	0.9169
15	106.20	0.1044	0.9641	0.7049	0.9732
16	131.18	0.1912	0.9983	0.8710	0.9407
17	130.95	0.1391	0.9949	0.7678	0.8872
18	130.10	0.1081	0.9588	0.6020	0.9252
19	80.62	0.3150	0.9957	0.8248	0.8806
20	82.06	0.2116	0.9938	0.7378	0.9207
21	81.63	0.1606	0.9883	0.5604	0.9461
22	106.36	0.3136	0.9973	0.9354	0.9350
23	105.18	0.2220	0.9923	0.8116	0.9328
24	105.96	0.1592	0.9958	0.8280	0.8970
25	130.16	0.3045	0.9992	0.9185	0.9787
26	130.62	0.2182	0.9988	0.9135	0.9286
27	131.50	0.1727	0.9994	0.8027	0.9073
Average			0.9881	0.8088	0.9241
Standard Deviation			0.0150	0.0963	0.0310

โดย T คือ อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง, °C

SP คือ อัตราการไหลอากาศจำเพาะ, kg/s-kg dry matter

5.9 วิเคราะห์ผลการทดลอง

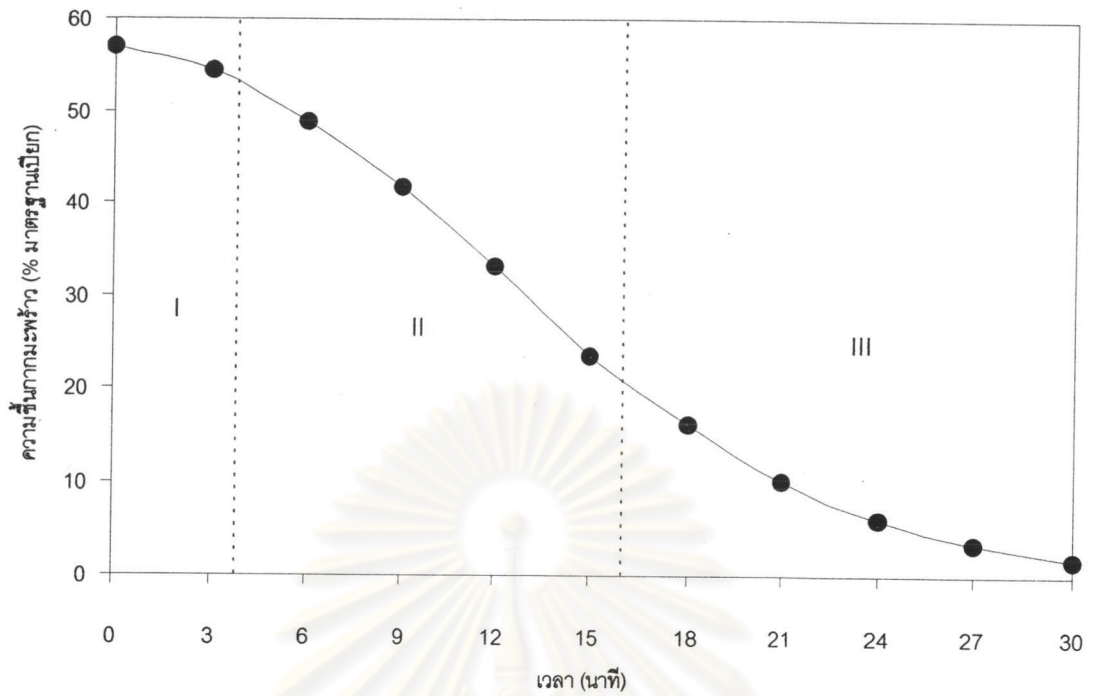
รูปที่ 5.25 ถึง 5.28 แสดงกราฟความชื้นเทียบกับเวลาที่สภาวะการทดลองหนึ่ง ๆ ซึ่งแสดงข้อมูลการทดลองในภาคผนวก ก. สำหรับผลการทดลองจะเห็นว่าลักษณะกราฟจะแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

- ช่วงแรก เป็นช่วงให้ความร้อนเบื้องต้นแก่กากมะพร้าว เนื่องจากช่วงนี้นอกจากพลังงานความร้อนจากอากาศร้อนจะใช้ในการระเหยความชื้นจากกากมะพร้าวแล้ว ยังใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของกากมะพร้าวซึ่งมีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อมจนเท่ากับอุณหภูมิระเปาะเปียกของอากาศร้อนในห้องทดลองด้วย ทำให้อัตราการอบแห้งในช่วงนี้ต่ำ โดยสังเกตได้จากกราฟในช่วงแรกจะมีลักษณะไม่ชัน

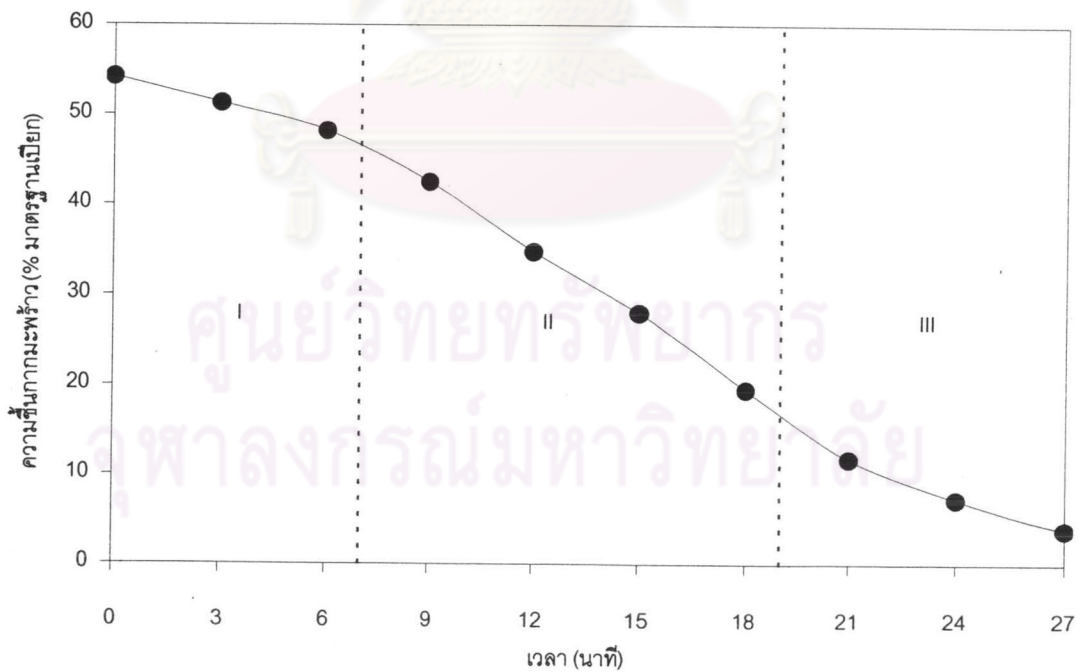
- ช่วงที่สอง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ในช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวของกากมะพร้าวจะเท่ากับอุณหภูมิระเปาะเปียกของอากาศร้อนในห้องทดลอง ความชื้นที่ผิวของกากมะพร้าวจะอยู่ในสภาพความชื้นสูงตลอดเวลา เพราะว่าการเคลื่อนที่ของความชื้นในแกนกลางกากมะพร้าวมายังผิวของกากมะพร้าวมีความเร็วกว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่ผิว โดยความร้อนจากอากาศร้อนที่กากมะพร้าวได้รับจะใช้ในการระเหยความชื้นเท่านั้น ทำให้ช่วงนี้มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด โดยสังเกตได้จากกราฟจะมีลักษณะชันกว่าช่วงแรก

- ช่วงที่สาม เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ช่วงนี้ความชื้นที่ผิวของกากมะพร้าวได้ระเหยไปหมดแล้ว เหลือแต่ความชื้นที่อยู่แกนกลางของกากมะพร้าว ซึ่งอัตราการแพร่ของความชื้นจากแกนกลางมาที่ผิวของกากมะพร้าวช้ากว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่ผิว ทำให้มีอัตราการอบแห้งต่ำ คุณพลังงานความร้อนจากอากาศร้อนได้ช้า ซึ่งอุณหภูมิที่ออกจากห้องอบแห้งจะเริ่มสูงขึ้น โดยสังเกตได้จากกราฟจะชันน้อยกว่าในช่วงที่สอง

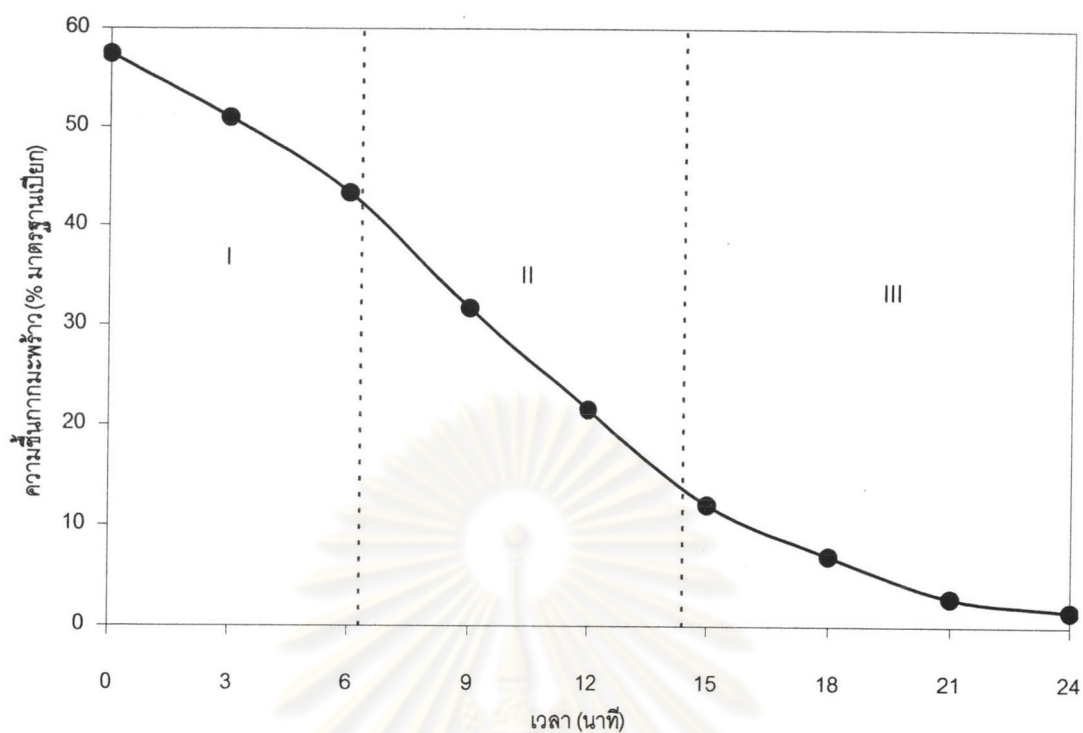
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



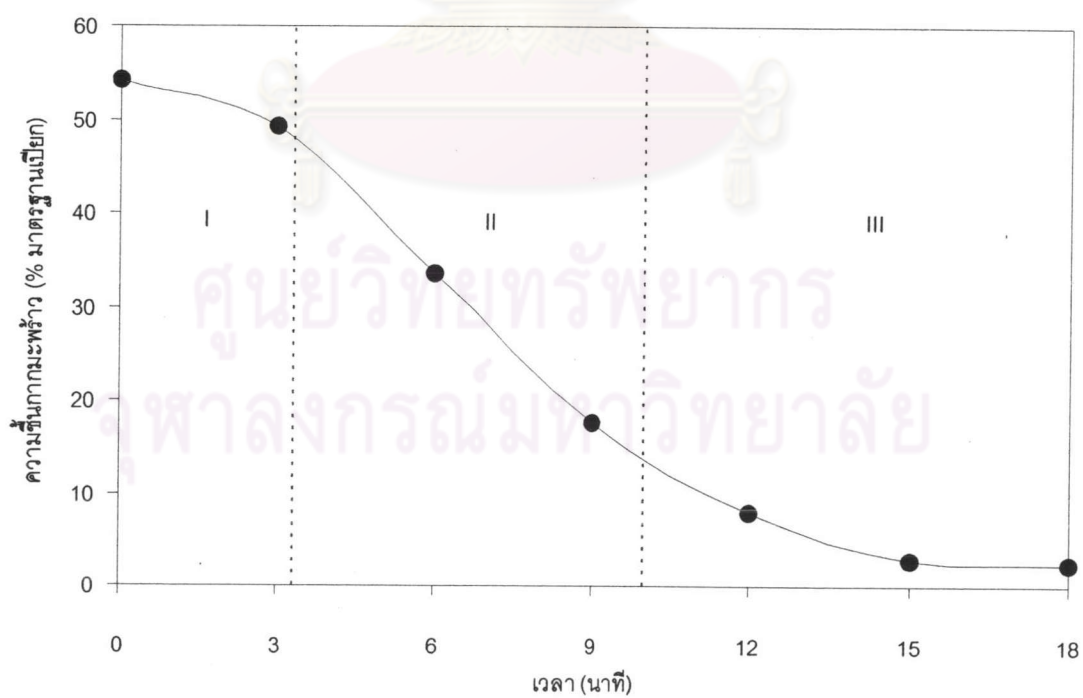
รูปที่ 5.25 ความชื้นของกากมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 1.61 m/s ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.14)



รูปที่ 5.26 ความชื้นของกากมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 1.94 m/s ความสูงเบด 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.24)



รูปที่ 5.27 ความเข้มข้นของกัมมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 105 °C ความเร็วอากาศ 1.87 m/s ความสูงเบค 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.27)



รูปที่ 5.28 ความเข้มข้นของกัมมะพร้าวเทียบกับเวลาจากการทดลองอบแห้ง
ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 2.48 m/s ความสูงเบค 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.32)

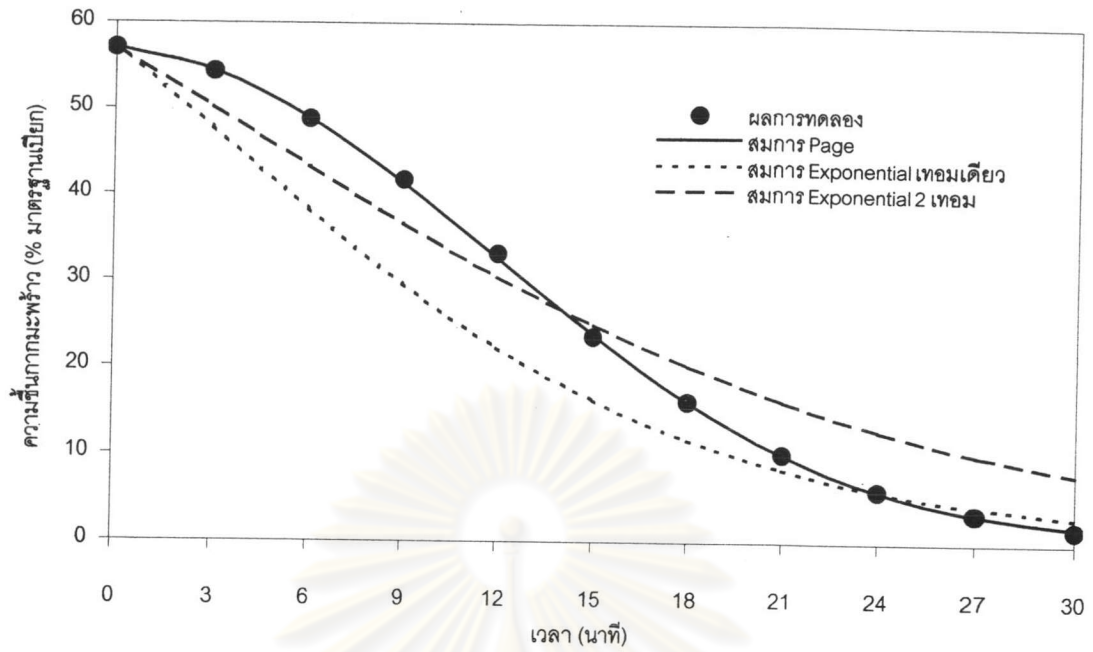
5.9 ผลการทำนายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

รูปที่ 5.29 – 5.32 แสดงผลการทำนายความชื้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้ง 3 รูปแบบเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยแสดงเป็นความชื้นเทียบกับเวลาอบแห้ง โดยรูปแบบสมการทั้งสามสามารถทำนายความชื้นได้ดังนี้

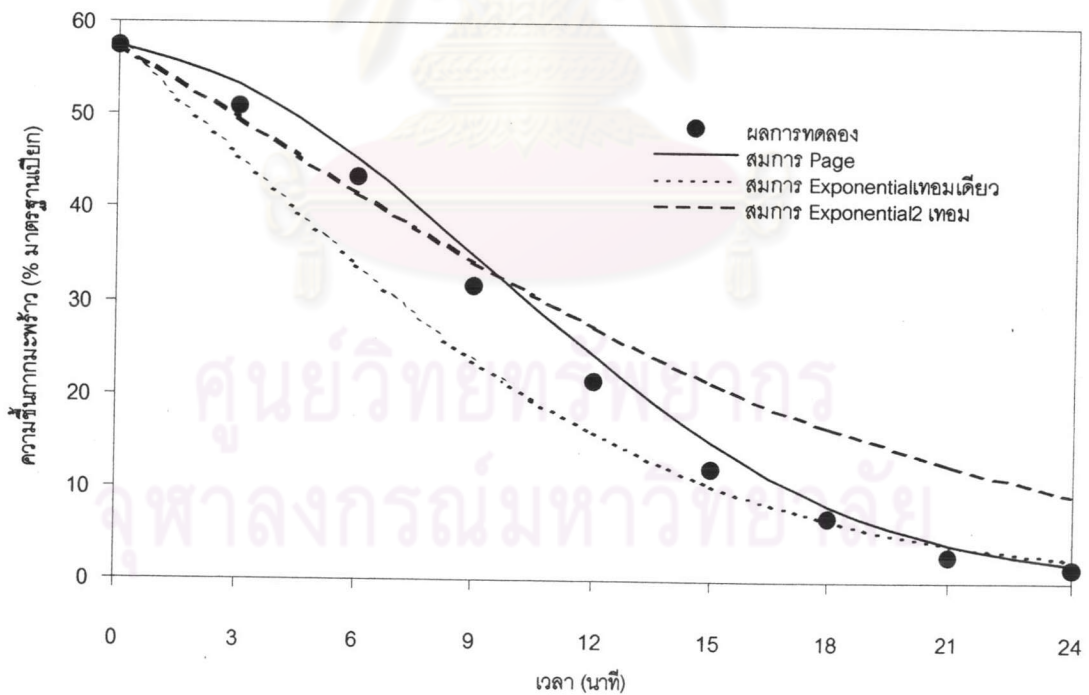
- รูปแบบสมการ Exponential เทอมเดียว ไม่สามารถทำนายความชื้นในช่วงแรกและช่วงที่สองของการทดลอง ซึ่งเป็นช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่กากมะพร้าวและช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ได้ แต่จะสามารถทำนายความชื้นตอนสิ้นสุดการทดลองได้ใกล้เคียงกับผลการทดลอง

- รูปแบบสมการ Exponential สองเทอม สามารถทำนายความชื้นในช่วงแรกของการทดลองได้ใกล้เคียงผลการทดลองมากกว่ารูปแบบสมการ Exponential เทอมเดียว แต่ยังไม่ใกล้เคียงกับผลการทดลองเท่าที่ควร สำหรับช่วงท้ายการทดลอง ไม่สามารถทำนายความชื้นได้ถูกต้อง โดยจะมีความชื้นสุดท้ายสูงกว่าผลการทดลองมาก

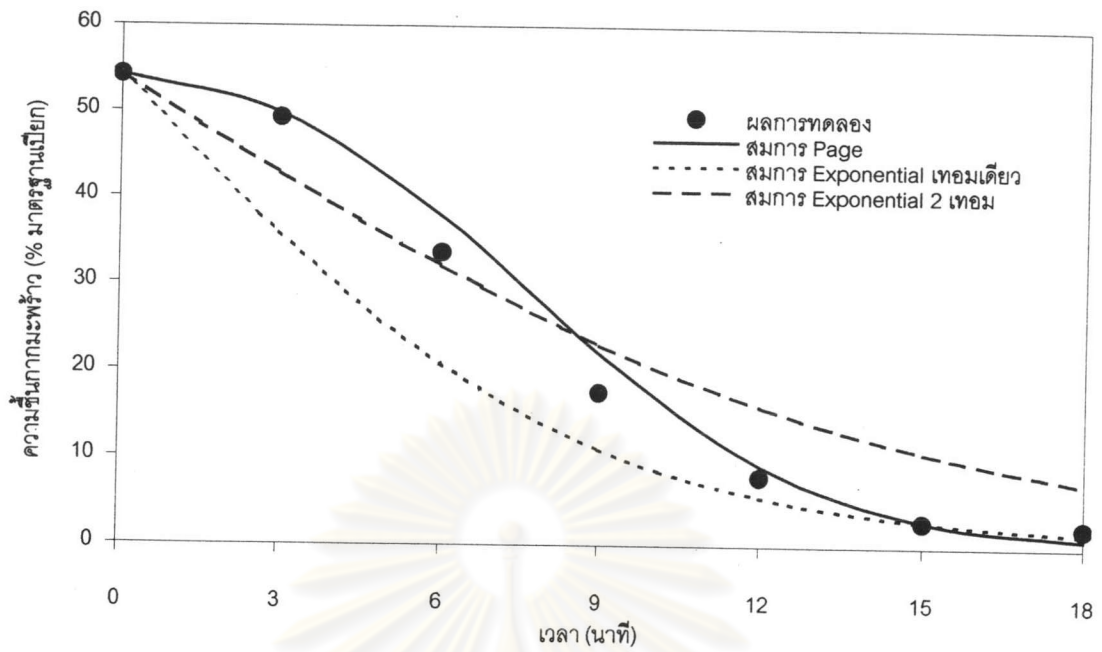
- รูปแบบสมการ Page[13] สามารถทำนายความชื้นได้ดีทั้งในช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่กากมะพร้าว ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกใช้รูปแบบสมการอบแห้งของ Page[13] มาทำนายผลการทดลอง



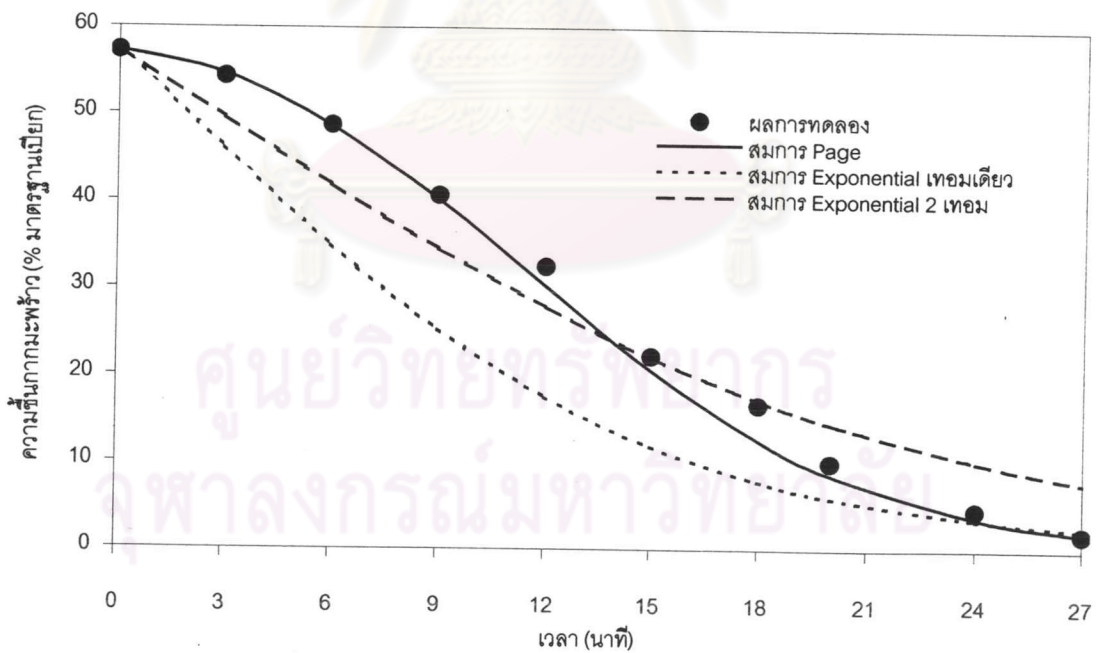
รูปที่ 5.29 ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 1.61 m/s ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.14)



รูปที่ 5.30 ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 105 °C ความเร็วอากาศ 1.87 m/s ความสูงเบด 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.27)



รูปที่ 5.31 ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 2.48 m/s ความสูงเบด 12 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.32)



รูปที่ 5.32 ผลการทำนายความชื้นจากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ที่อุณหภูมิ 80 °C ความเร็วอากาศ 2.44 m/s ความสูงเบด 16 cm (ข้อมูลจากตาราง ก.33)