บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อสรุปหลัก

จากงานวิจัยที่ได้ทำไปแล้วนั้น สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. ได้ประยุกต์ใช้ แบบจำลองคณิตศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่เสนอโดย Shigeru Matsumoto และ David C.T Pei (1984) สำหรับพวกเมล็ดธัญพืช (Grain) มาใช้กับแป้งมันสำหลัง ได้เป็นผลสำเร็จ

1.1 แบบจำลองของงานวิจัยนี้จะใช้วิธี รันจ์-คัตตา ออร์เดอร์ 4 ในการอินทิเกรตชุดสมการในแบบจำลองและใช้วิธี รันจ์-คัตตา ออร์เดอร์ 3 สำหรับตรวจสอบค่าความผิดพลาด ณ. แต่ละจุด (ไม่เกิน 0.01 %)

1.2 ในการชีมุเลตข้อมูลที่ทางเข้าของ เครื่องอบแห้งได้ใช้ข้อมูลการปฏิบัติงานจริงในโรงงานซึ่งเก็บบันทึกที่โรงงานเป็นเวลาประมาณ 5 เดือน ในปลายปี 2538 รวม จำนวน 98 ข้อมูล เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลปฏิบัติงาน โดยการทำดุลของมวลพบว่ามีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ ไม่เกิน 10 % และดุลของพลังงานความร้อนมีค่าความผิดพลาดสัมพัทธ์ ไม่เกิน 12 %

1.3 เนื่องจากในเครื่องอบแห้ง อนุภาคแป้งชื้นมีการเกาะตัวกัน ทำให้มีขนาดเชิงประสิทธิผล (d_p) แตกต่างจากอนุภาคแป้งปฐมภูมิ (แป้งแห้ง) ดังนั้น ค่าการคำนวณของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนกับแป้ง โดยใช้ขนาดปฐมภูมิจึงคาดเคลื่อนจากค่าผลการปฏิบัติจริง จึงได้ประเมินขนาดเชิงประสิทธิผลของอนุภาคแป้งชื้นเพื่อให้ได้ผลการคำนวณใกล้เคียงผลการปฏิบัติงานจริงมากที่สุด การชีมุเลตโดยใช้ค่า d_p ต่างๆ พบว่า d_p = 0.45 mm. (ค่าขนาดอนุภาคปฐมภูมิ = 0.121 mm.)ให้ผลดีที่สุด

2. เมื่อทดสอบความถูกต้องแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้ โดยเปรียบเทียบข้อมูลการชีมุเลตที่ทางออกเครื่องอบแห้งกับข้อมูลการปฏิบัติการ พบว่า

- อุณหภูมิลมร้อน Tg ที่ทางออกส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าจริงประมาณ 3-5 °C

- อุณหภูมิวัสดุ Ts ที่ทางออกส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าจริง ประมาณ 10-15 °C เนื่องจากในแบบจำลองนี้ ตั้งสมมุติฐานว่าการอบแห้งทั้งหมดเกิดขึ้นในช่วงการระเหยน้ำจากผิววัสดุเท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงช่วงอัตราการอบแห้งที่ช้าลง เพื่อให้ค่าทำนายของ Ts´ ใกล้เคียงค่าจริงมากยิ่งขึ้น จึงได้ใช้สมการ (5.1) ประเมินค่า Ts´ ที่ทางออกเครื่องอบแห้งแทนโดยกำหนดค่าความชื้นวิกฤต w_c = 0.17 และค่าความชื้นสมดุล w_e =0.10 ปรากฏว่าค่า Ts´ ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มสูงกว่าค่าจริงประมาณ 10-15 °C อนึ่งจะใช้สมการ (5.1) คำนวณค่า Ts' เฉพาะในช่วงที่ความชื้นของวัสดุในเครื่องอบแห้งมีค่าน้อยกว่าความชื้นวิกฤตเท่านั้น

- ความชื้นของลมร้อน H ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มสูงกว่าค่าจริงประมาณ 0.001 - 0.005 kg น้ำ/kg อากาศแห้ง

- ความชื้นของวัสดุ w ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มสูงกว่าค่าจริงประมาณ 0.01 - 0.06 kg น้ำ /kg วัสดุไร้น้ำ

2.1 เพื่อให้สามารถทำนายความชื้นแป้งที่ทางออกเครื่องอบแห้ง w ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดของผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด ได้ทดลองหาค่าตัวคงที่ a ที่เหมาะสมในสมการสหสัมพันธ์ของ h (Nu)และ k_H (Sh)

$$Nu = 2 + a.Re_p^{1/2}.Pr^{1/3}$$

$$Sh = 2 + a.Re_p^{1/2}.Sc^{1/3}$$

โดยทั่วไปใช้ค่า a = 0.60 ในกรณีของอนุภาคทรงกลมซึ่งใช้ในการชิมูเลตข้างต้น เมื่อทดลองปรับค่า a = 0.65, 0.68 และ 0.70 พบว่าค่า a ที่ให้ค่าความชื้นแป้งขาออกใกล้เคียงค่าจริงมากขึ้นคือ a= 0.65 ในกรณีนี้ตัวแปรอื่นๆได้ผลดังต่อไปนี้

- อุณหภูมิลมร้อนขาออก Tg ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าจริงประมาณ 3 - 6 °C (มากขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย)

- อุณหภูมิวัสดุขาออก Ts´ ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มสูงกว่าค่าจริงประมาณ 10 - 13 °C

- ความชื้นของลมร้อนขาออก H ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มสูงกว่าค่าจริงประมาณ 0.001 - 0.007 kg ไอน้ำ/kg อากาศแห้ง

- ความชื้นของวัสดุขาออก w ส่วนใหญ่จะมีแนวโน้มต่ำกว่าค่าจริงประมาณ 0.01 - 0.04 kgน้ำ / kg วัสดุไร้น้ำ

* สรุปได้ว่าแบบจำลองที่เหมาะสมมีเงื่อนไขดังนี้
ขนาดเชิงประสิทธิผลของอนุภาคแป้งชื้น (d_p) = 0.45 mm.
ค่าตัวคงที่ a = 0.65
ค่า Ts´ ในช่วงที่ $w < w_c$ ประเมินโดยใช้สมการ (5.1)

2.2 เมื่อศึกษาลักษระการเปลี่ยนแปลงสภาวะของตัวแปรต่างๆ ภายในเครื่องอบแห้ง ได้แนวโน้มดังนี้

- อุณหภูมิลมร้อน Tg มีแนวโน้มลดลงตามความยาวของท่ออบแห้ง เนื่องมาจากความร้อนของลมร้อนถูกถ่ายเทไประเหยน้ำออกจากวัสดุชื้น

- อุณหภูมิวัสดุ Ts จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงต้นๆของความยาวท่ออบแห้ง เพราะว่าความร้อนในช่วงนี้จะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ ต่อมาอุณหภูมิวัสดุจะค่อนข้างคงที่ เพราะเป็นช่วงอัตราการอบแห้งที่คงที่ และความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ในการระเหยน้ำ ที่ช่วงปลายของท่ออบแห้งอุณหภูมิวัสดุ (Ts´) จะสูงขึ้นอีกเล็กน้อยเนื่องจากความชื้นในวัสดุเหลือน้อย อัตราการอบแห้งจึงช้าลงและความร้อนบางส่วนใช้เพิ่มอุณหภูมิวัสดุให้สูงขึ้น

- ความชื้นลมร้อน H จะค่อยๆสูงขึ้นตามความยาวของท่ออบแห้งเนื่องมาจากความชื้นของวัสดุที่ระเหยออกมาถ่ายเทสู่ลมร้อน

- ค่าความชื้นวัสดุ w จะค่อยๆ ลดลงตามความยาวท่ออบแห้ง เพราะมีการระเหยความชื้นออกไป

- ค่าความเร็วของลมร้อน จะลดลงเล็กน้อยตามความยาวท่ออบแห้ง

- ค่าความเร็วอนุภาคจะเพิ่มสูงขึ้นตามความยาวท่ออบแห้ง

3. การหาเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่เหมาะสม จากแบบจำลองได้ทดลองประยุกต์ใช้หาเงื่อนไขการปฏิบัติงาน โดยแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

3.1 กรณีที่ 1 หาเงื่อนไขการเดินเครื่องอบแห้งที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าปัจจุบัน โดยการปรับค่าความเร็วลมร้อน หรือ อุณหภูมิลมร้อน พบว่าที่สภาวะปัจจุบันของโรงงาน มีการใช้ความเร็วลมร้อนสูงเกินไป (31 m/sec) เพราะเมื่อทดลองปรับลดความเร็วลงมาที่ 25 m/sec สามารถลดค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานลงได้ ประมาณ 100 บาท/ตันแป้งแห้ง เมื่อพิจารณาโดยรวมพบว่าเมื่อปรับความเร็วลมร้อน จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 20 บาท /ตัน แป้งแห้ง ต่อการเปลี่ยน ความเร็วลมร้อนทุก 1 m/sec ในขณะที่ การปรับอุณหภูมิลมร้อน จะมีผลต่อค่าใช้จ่ายรวมเพียง 2 บาท ต่อ ตันแป้งแห้ง ต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิลมร้อนทุก 1 °C

3.2 กรณีที่ 2 หาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องอบแห้ง เมื่อทดลองปรับค่าความเร็วลมร้อน หรือ อุณหภูมิลมร้อนเพื่อให้ได้กำลังการผลิตสูงที่สุดโดยความชื้นวัสดุที่ทางออกยังได้ตามมาตรฐานกำหนด พบว่า ที่สภาวะปัจจุบัน เครื่องอบแห้งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 30 % โดยการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเป็น 220 °C อนึ่งเมื่อคิดค่าใช้จ่ายต่อหน่วย จะประหยัดลงได้ ประมาณ 96 บาท /ตัน แป้งแห้ง

6.2 แนวทางงานวิจัยที่น่าสนใจ

งานวิจัยที่น่าสนใจในอนาคต คือ

- การศึกษาถึงมาตรการประหยัดพลังงานในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมในอุตสาหกรรมแป้งมันสำหลัง เช่น การนำลมร้อนที่ปล่อยทิ้งจากเครื่องอบแห้งกลับมาใช้ใหม่ , การนำแป้งแห้งมาผสมแป้งชื้นก่อนป้อนเข้าท่ออบแห้งเพื่อลดความชื้นเริ่มต้น เป็นต้น

- การศึกษาผลกระทบและแก้ปัญหาเรื่องการไหม้ของแป้ง ซึ่งมักพบเห็นในการปฏิบัติงาน

- การทดลองประยุกต์แบบจำลองกับวัสดุผงประเภทอื่น