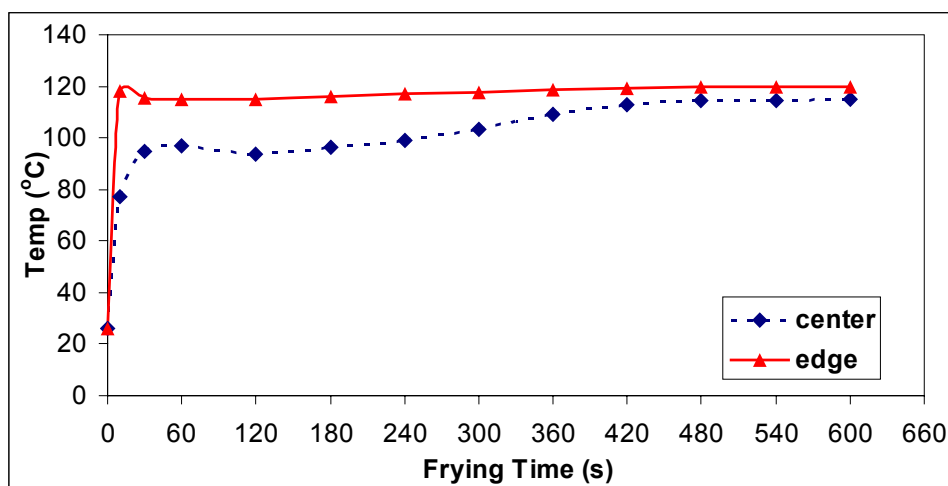


บทที่ 3

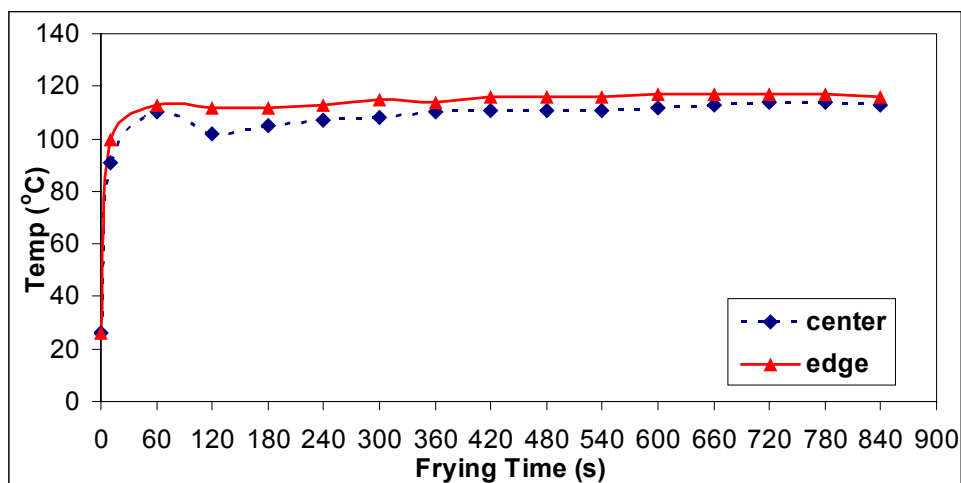
ผลและบทวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาข้อมูลการทอดผักและผลไม้ที่สภาวะสูญญากาศ

3.1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature Profile)



(ก)



(ข)

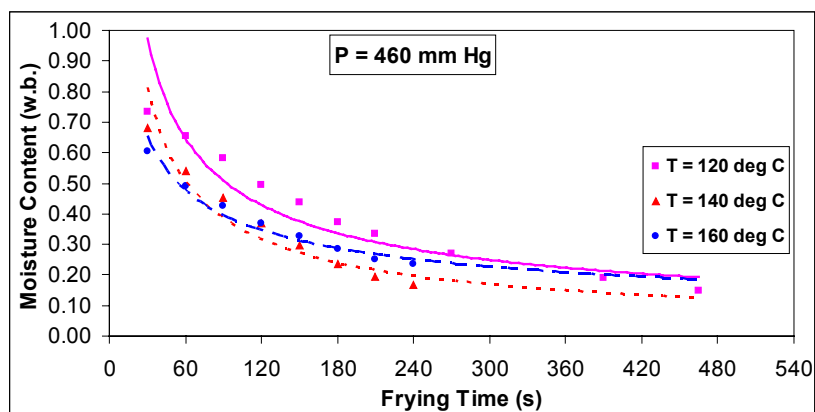
ภาพประกอบ 3.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในบริเวณต่าง ๆ ขณะทอดตัวอย่างขึ้นมันฝรั่ง

(ก) สภาวะสูญญากาศ และ (ข) สภาวะบรรยากาศ

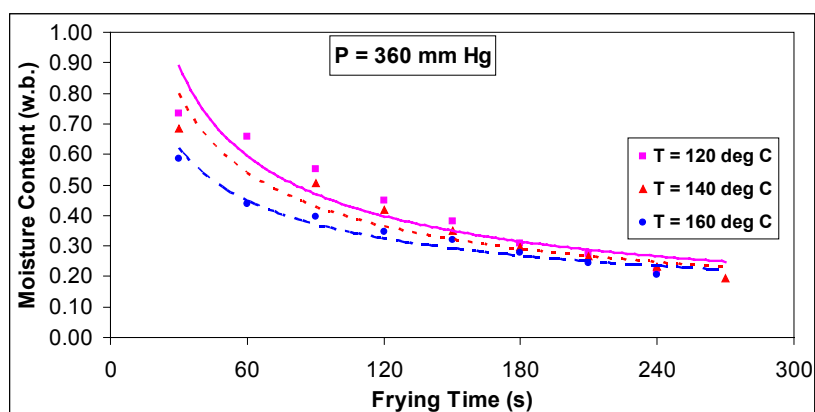
ภาพประกอบ 3.1 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจากการทดลองของชิ้นมันฝรั่งในบริเวณกึ่งกลางและผิวของตัวอย่างระหว่างกระบวนการทอด จากภาพประกอบ 3.1 (ก) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยใช้อุณหภูมิ 120°C และความดัน 60 mmHg พบว่าบริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างระหว่างกระบวนการทอดอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ ซึ่งจะต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำที่บรรยากาศแต่สำหรับบริเวณผิวของตัวอย่างอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างช้า ๆ และเข้าสู่อุณหภูมิน้ำมันที่ใช้ทอดเนื่องจากน้ำบริเวณผิวของตัวอย่างสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว ในส่วนของการทอดที่สภาวะบรรยากาศนั้นใช้อุณหภูมิ 120°C เช่นเดียวกัน เห็นได้ชัดว่าอุณหภูมิทั้งบริเวณกึ่งกลางและผิวตัวอย่างจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วโดยสูงเกินกว่าจุดเดือดของน้ำที่สภาวะบรรยากาศ (100°C) และอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องเข้าไปใกล้อุณหภูมิของน้ำมันที่ใช้ทอดเช่นเดียวกับบริเวณกึ่งกลางของชิ้นตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 3.1 (ข) สำหรับระยะเวลาในการทอดที่สภาวะสุญญากาศนั้นยังน้อยกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศด้วยอันเนื่องมาจากน้ำสามารถระเหยได้อย่างรวดเร็ว โดยสามารถสังเกตได้จากจะอุณหภูมิกึ่งที่ภายหลังการทอดและลักษณะของตัวอย่าง โดยเฉพาะบริเวณขอบเริ่มมีการก่อตัวของเปลือกนอก (crust)

3.1.2 อัตราการสูญเสียความชื้น (Drying Rate)

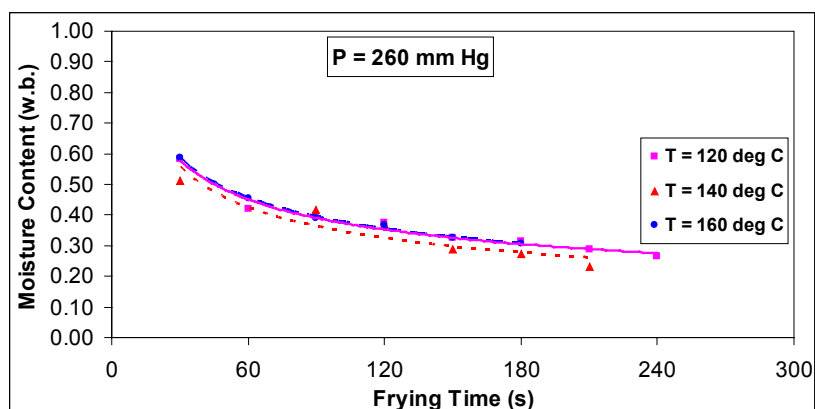
อัตราการสูญเสียความชื้นที่ความดันและอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งกำหนดให้แกน y แทนปริมาณความชื้น (w.b.) และแกน x แทนระยะเวลาในการทอด (s) กราฟดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นถึงอัตราการสูญเสียความชื้นในกระบวนการทอดได้ โดยแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ heating period, constant drying period และ drying falling rate พบว่าในระยะแรกตัวอย่างจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิตั้งจนถึงอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะใช้เวลาไม่นาน เนื่องจากจุดเดือดของน้ำจะลดลงจากปกติ 100°C เหลือประมาณ 86 , 80 และ 72°C ที่ความดัน 460 , 360 และ 260 mm Hg ตามลำดับ จากนั้นจะเข้าสู่ระยะ constant drying rate ซึ่งจะเป็ระยะที่กำจัดน้ำอิสระ (free water) จากภายในชิ้นตัวอย่าง และระยะสุดท้ายจะกำจัดน้ำที่ยึดเกาะกับโมเลกุลของสารอื่น (bound water) ในชิ้นตัวอย่างจนกระทั่งถึงจุดสมดุล (Equilibrium Moisture Content; EMC)



(ก)

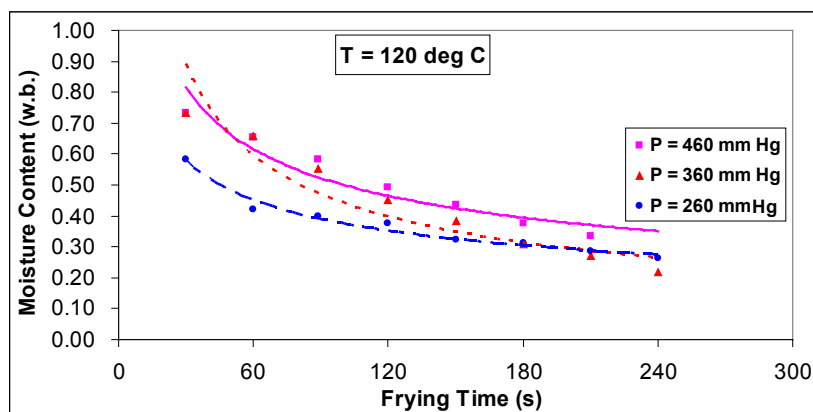


(ข)

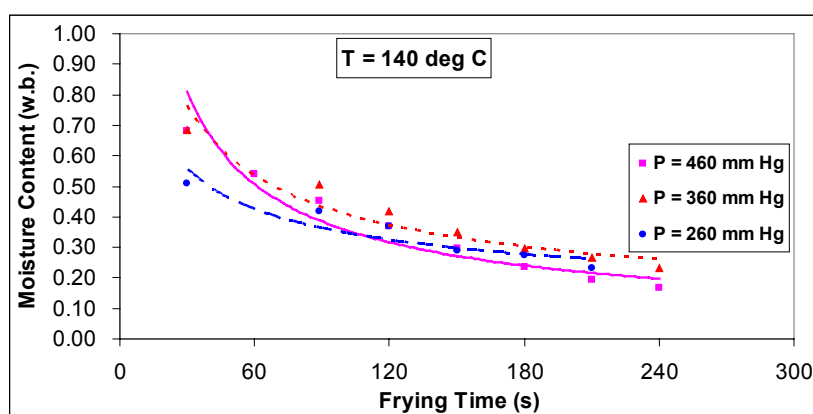


(ค)

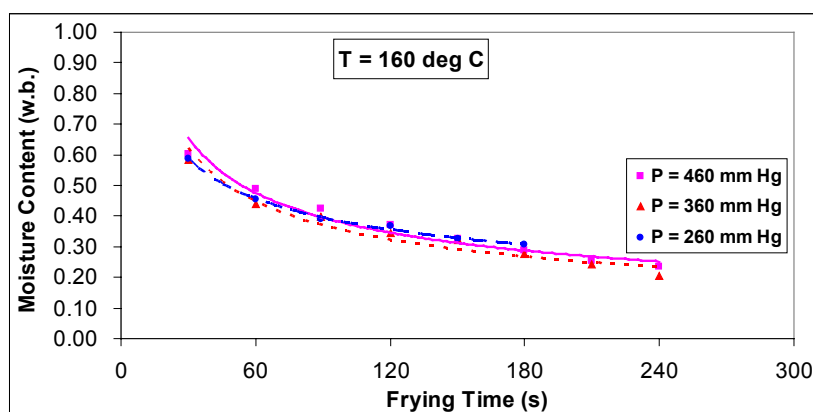
ภาพประกอบ 3.2 ผลของอุณหภูมิที่ต่ออัตราการสูญเสียความชื้นในชั้นมันฝรั่งที่ระดับความดันต่างกัน (ก) ความดัน 460 mm Hg (ข) ความดัน 360 mm Hg และ (ค) ความดัน 260 mm Hg



(ก)



(ข)



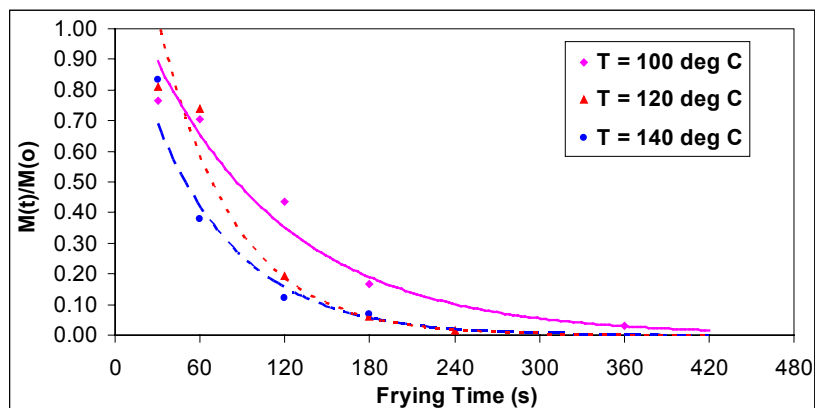
(ค)

ภาพประกอบ 3.3 ผลการทดลองของความดันสุญญากาศต่ออัตราการสูญเสียความชื้นที่อุณหภูมิของน้ำมันต่างกัน (ก) อุณหภูมิ $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ข) อุณหภูมิ $140 \text{ }^{\circ}\text{C}$ และ (ค) อุณหภูมิ $160 \text{ }^{\circ}\text{C}$

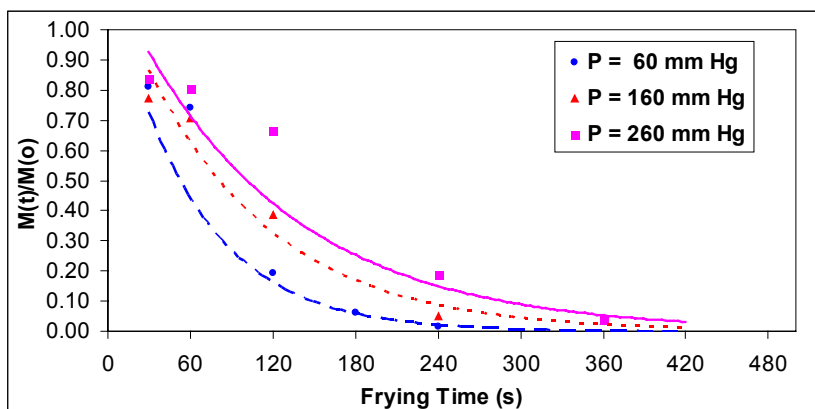
ภาพประกอบ 3.2 แสดงผลของอุณหภูมิในการทอดต่อการสูญเสียความชื้นที่ระดับความดันต่างกัน โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดจะเพิ่มขึ้นจาก 120 ถึง 160°C พบว่าอัตราการสูญเสียความชื้นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยทั่วไปวัดค่าได้ในช่วง 0.90 – 0.20 w.b. ซึ่งอัตราการสูญเสียความชื้นดังกล่าวจะถูกควบคุมโดยการแพร่ผ่านออกมาตามความหนาของชิ้นตัวอย่าง เนื่องจากความหนามีค่าน้อยมาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับความกว้างและความยาวของชิ้นตัวอย่าง อีกทั้งบริเวณผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างจะเริ่มเกิดการไหม้และมีการก่อตัวของเปลือกนอกนี้ภายในสามารถแพร่ผ่านออกมาได้น้อยลง ส่งผลให้ยังมีปริมาณความชื้นภายในตัวอย่างสูง (ประมาณ 20 – 25%) ดังเช่นตัวอย่างที่ระดับอุณหภูมิ 160°C ผิวหน้าชิ้นตัวอย่างจะไหม้อย่างรวดเร็วเมื่อเริ่มทอดและจะมีการเกิดเปลือกนอกขึ้นบริเวณผิวของตัวอย่าง ซึ่งเป็นส่วนที่จำกัดการแพร่ผ่านของความชื้นภายในชิ้นตัวอย่างส่งผลให้ปริมาณความชื้นภายในชิ้นตัวอย่างสูง

ภาพประกอบ 3.3 แสดงถึงระดับความดันสุญญากาศที่เพิ่มขึ้นจาก 460 ถึง 260 mm Hg ส่งผลให้อัตราการสูญเสียความชื้นเพิ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากจุดเดือดของน้ำภายในชิ้นตัวอย่างจะลดลงเมื่อระดับความดันสุญญากาศเพิ่มมากขึ้น แม้จะทอดที่อุณหภูมิสูงก็จะไม่ส่งผลต่ออัตราการสูญเสียความชื้นซึ่งจะถูกควบคุมโดยการแพร่ผ่านความหนาของมันฝรั่งและการก่อตัวของเปลือกนอกที่อุณหภูมิสูงยังส่งผลให้อัตราการสูญเสียความชื้นทั้ง 3 ระดับความดันนี้มีค่าใกล้เคียงกัน

สำหรับการสูญเสียความชื้นของฝรั่งดังภาพประกอบ 3.4 ซึ่งกำหนดให้แกน y เป็นอัตราส่วนระหว่าง ระดับความชื้นที่เวลาใดๆ $M(t)$ และ ระดับความชื้นเริ่มต้น $M(0)$ ซึ่งจะแตกต่างกับมันฝรั่ง เนื่องจากชิ้นฝรั่งที่ทอดมีความหนากว่า (2 mm) ทำให้อัตราการสูญเสียความชื้นจะถูกควบคุมโดยการระเหยจากบริเวณผิวหน้าตัวอย่างมากกว่าการแพร่ออกมาจากภายในชิ้นตัวอย่างภาพประกอบ 3.4 (ก) ที่ระดับความดัน 60 mm Hg อุณหภูมิของน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น นั้นจะส่งผลให้อัตราการสูญเสียความชื้นเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ภาพประกอบ 3.4 (ข) ที่อุณหภูมิ 120°C ระดับความดันสุญญากาศเพิ่มขึ้นจาก 260 ถึง 60 mm Hg อัตราการสูญเสียความชื้นจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุดเดือดของน้ำภายในจะลดลงมาจาก 72°C เป็น 41°C ส่งผลให้ค่าแรงผลักดัน (driving force) เพิ่มขึ้น การระเหยจากบริเวณผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างจึงเร็วขึ้นด้วย

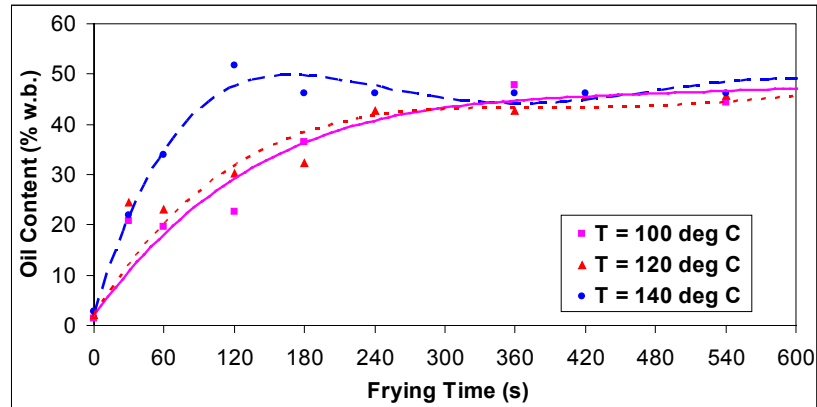


(ก)

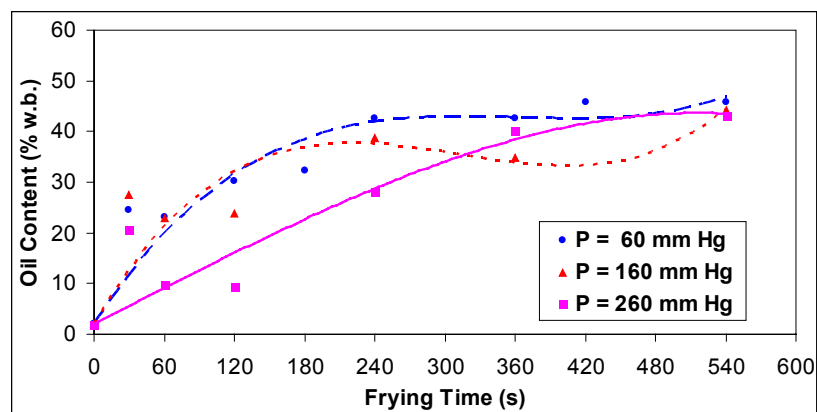


(ข)

ภาพประกอบ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความชื้นและระยะเวลาในการทอดฝรั่ง (2 mm) (ก) ผลของอุณหภูมิน้ำมันต่ออัตราการสูญเสียความชื้น (ความดัน 60 mm Hg) และ (ข) ผลของความดันต่ออัตราการสูญเสียความชื้น (อุณหภูมิ 120°C)



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3.5 การดูดซับน้ำมันในการทอดฝรั่ง (หนา 2 mm) (ก) ผลของอุณหภูมิน้ำมันที่ทอดต่อปริมาณน้ำมันภายในที่ความดัน 60 mm Hg (ข) ผลของความดันต่อปริมาณน้ำมันภายในที่อุณหภูมิ 120°C

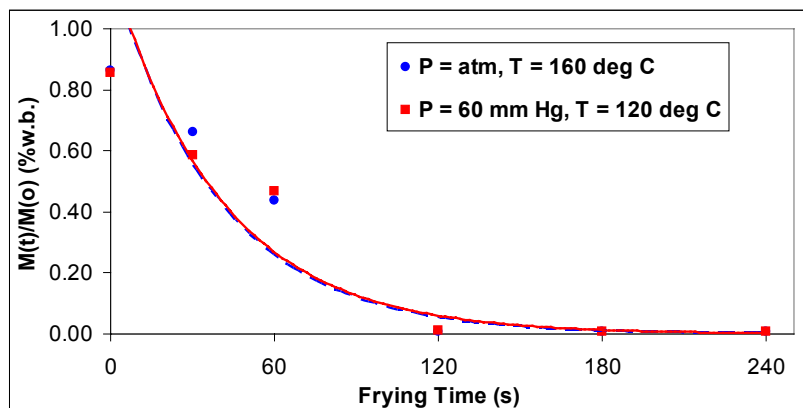
3.1.3 การดูดซับน้ำมัน (Oil Absorption)

อัตราการดูดซับน้ำมันภายในฝรั่งระหว่างการทอด ภาพประกอบ 3.5 (ก) แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของกลไกการดูดซับน้ำมันในแต่ละระดับความดัน ซึ่งอัตราการดูดซับน้ำมันจะสอดคล้องกับอัตราการสูญเสียความชื้น Garayo และ Moreira (2002) อัตราการดูดซับน้ำมันจะเร็วที่สุดที่ระดับความดันสุญญากาศ 60 mm Hg ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองใน ภาพประกอบ 3.4 (ข) และทุกระดับความดัน พบว่าจะมีปริมาณน้ำมันภายในประมาณ 45% w.b. สำหรับภาพประกอบ 3.5 (ข) ที่อุณหภูมิ 140°C พบว่าการดูดซับน้ำมันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีปริมาณน้ำมันภายในชิ้นตัวอย่างสุดท้ายประมาณ 45% w.b. เช่นเดียวกัน

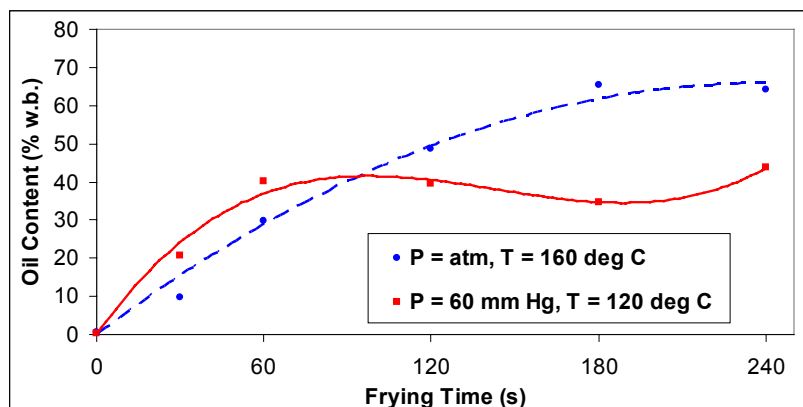
3.1.4 เปรียบเทียบกับการทอดที่สภาวะบรรยากาศ (Comparisons with Atmospheric Frying)

ภาพประกอบ 3.6 อัตราการสูญเสียความชื้นของมันฝรั่ง (1 mm) ทอดที่สภาวะบรรยากาศ (ความดัน 760 mm Hg อุณหภูมิ 160°C) และทอดที่สภาวะสุญญากาศ (ความดัน 60 mm Hg อุณหภูมิ 120°C) พบว่าอัตราการสูญเสียความชื้นที่สภาวะสุญญากาศในระยะแรกจะช้ากว่าที่สภาวะบรรยากาศเพียงเล็กน้อย แต่สำหรับการดูดซับปริมาณน้ำมันในระยะเวลาต่อมาจะเห็นได้ชัดเจนว่า ที่สภาวะบรรยากาศอัตราการดูดซับน้ำมันจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่สภาวะสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นในระยะแรก (ใช้เวลาประมาณ 50 วินาที) และจะเริ่มลดลงมาในที่สุดก็จะมีปริมาณน้ำมันสุดท้ายจะต่ำกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศ

Garayo และ Moreira (2002) อธิบายถึงปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นว่า น้ำมันที่บริเวณผิวหนังของตัวอย่างทอดที่สภาวะบรรยากาศจะถูกดูดซับเข้าไปในช่องว่างภายในตัวอย่างขณะอาหารมีการเย็นตัวลง เนื่องจากความดันที่แตกต่างกันมาก แต่ที่สภาวะสุญญากาศจะมีคุณลักษณะที่เชื่อมต่อกันระหว่างน้ำมันที่บริเวณผิวกับช่องว่างบริเวณผิวหนังตัวอย่าง เพราะค่าแรงผลักดันที่น้อยกว่านี้จะส่งผลให้ปริมาณน้ำมันภายในอาหารน้อยกว่าด้วย



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3.6 เปรียบเทียบการทอดมันฝรั่ง (หนา 1 mm) ระหว่างสภาวะบรรยากาศ (ความดัน 760 mm Hg อุณหภูมิ 160°C) และ สภาวะสุญญากาศ (ความดัน 60 mm Hg อุณหภูมิ 120°C) (ก) อัตราการสูญเสียความชื้น (ข) การดูดซับน้ำมัน

3.2 ผลของการทดสอบต่อการยอมรับของผลิตภัณฑ์

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 35 คน วิธี Hedonic scale (7 คะแนน) ได้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดด้วยสภาวะต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตาราง 3.1 พบว่าผลิตภัณฑ์มันฝรั่งที่ทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ (B) ได้รับการยอมรับในด้านของสี ผิวสัมผัส ความกรอบ และความชอบรวมสูงสุด สำหรับความแตกต่างทางด้านรสชาติ และการให้การยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ B มากกว่าผลิตภัณฑ์ A ซึ่งทอดที่บรรยากาศ อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

ผลจากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าการทอดที่สภาวะสุญญากาศจะทำให้รสชาติและการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับเนื่องจากการทอดที่ใช้อุณหภูมิและความดันต่ำส่งผลให้สามารถรักษารสชาติและคุณค่าของอาหารได้ดีอีกด้วย

ตาราง 3.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่ใช้สภาวะสุญญากาศและสภาวะบรรยากาศ

ตัวอย่าง	สี	ผิวสัมผัส	รสชาติ	ความกรอบ	การยอมรับรวม
A	4.66 ^a	4.23 ^a	4.06 ^a	5.03 ^a	4.34 ^a
B	4.69 ^a	4.69 ^a	5.03 ^b	5.43 ^a	5.29 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่เหมือนกันสำหรับแต่ละการทดสอบในแนวตั้ง หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

A ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่สภาวะบรรยากาศ

B ผลิตภัณฑ์มันฝรั่งทอดที่สภาวะสุญญากาศ

3.3 การถ่ายโอนความร้อนและมวลสารในการทอดภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ในกระบวนการทอดเมื่อวางตัวอย่างลงในน้ำมันซึ่งมีอุณหภูมิสูง ความร้อนแฝงจะถูกถ่ายโอนไปยังบริเวณผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างโดยกระบวนการพาความร้อน และจะถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณผิวเข้าสู่ภายในชิ้นตัวอย่างโดยกระบวนการนำความร้อนทำให้อุณหภูมิภายในของอาหารเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำ เนื่องจากความดันในการทอดต่ำกว่าสภาวะบรรยากาศส่งผลให้จุดเดือดของน้ำลดลงเหลือประมาณ 70 – 85°C (จุดเดือดของน้ำที่บรรยากาศ 100°C) ทำให้น้ำในอาหารสามารถระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอได้เร็วขึ้นจึงใช้ระยะเวลาสั้นน้อยกว่าการทอดที่บรรยากาศซึ่งใช้อุณหภูมิเดียวกันในการทอดและไอน้ำจะแพร่ผ่านออกจากอาหารโดยผ่านชั้นฟิล์มของน้ำมันที่ล้อมรอบชิ้นตัวอย่างอยู่ ซึ่งสภาวะดังกล่าวทำให้ความดันไอที่บริเวณผิวหน้าของตัวอย่างต่ำกว่าความดันไอกายในของตัวอย่างเป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอลดลง ตัวอย่างภายในจะมีความดันไอสองและค่อนๆ ลดต่ำลง และความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำและไอน้ำออกจากอาหาร ซึ่งน้ำจะเคลื่อนที่ไปบริเวณผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้ (วิลเลียมส์, 2543)

- การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลลารี (capillary force)
- การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่าง ๆ
- การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในตัวอย่าง
- การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของตัวอย่างซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ

เมื่อน้ำและไอน้ำระเหยออกมามากขึ้นตัวอย่างแล้ว พบว่าบริเวณผิวของชิ้นตัวอย่างมีลักษณะรูพรุนประกอบด้วยท่อแคปิลลารีขนาดต่างๆ จำนวนมาก ซึ่งรูพรุนเหล่านี้สามารถถูกแทนด้วยน้ำมันในระหว่างการทอด สำหรับการทอดที่สภาวะสุญญากาศ ความดันภายในรูพรุนกับความดันภายนอกมีค่าความแตกต่างน้อย ดังนั้นปริมาณน้ำมันที่จะถูกดูดเข้าไปแทนที่น้ำและไอน้ำที่ระเหยออกมาจึงมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ การทอดที่บรรยากาศซึ่งจะมีความแตกต่างของความดันมากกว่าทำให้สามารถดูดซับน้ำมันเข้าไปภายในตัวอย่างได้สูง ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันภายในของการทอดที่สภาวะสุญญากาศน้อยกว่าการทอดที่สภาวะบรรยากาศอย่างเห็นได้ชัด

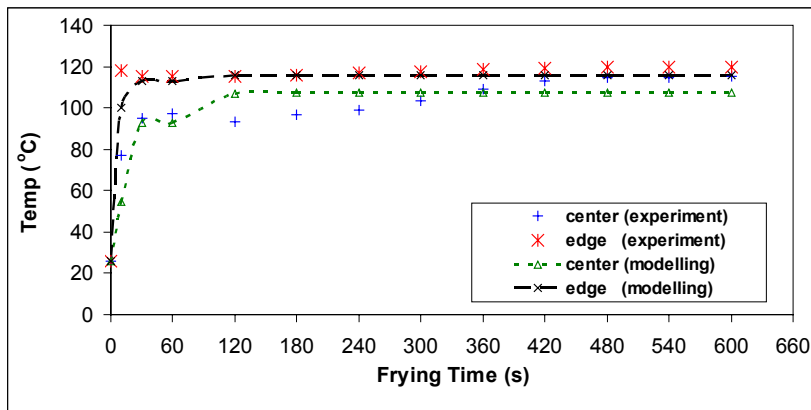
3.4 ประยุกต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในระหว่างการทอดมันฝรั่งขนาด 5.0 x 5.0 x 0.5 cm ที่อุณหภูมิ 120°C ความดัน 60 mm Hg มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและมวลสาร ดังภาพประกอบ 3.7 3.8 และ 3.9 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการทดลอง โดยอาศัยค่าของตัวแปรในตาราง 2.1 พบว่าในระยะเวลาประมาณ 60 วินาทีแรกเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำและมีการระเหยน้ำบริเวณผิวหน้าของตัวอย่างออกไปพร้อมกันกับการดูดซับน้ำมันเข้าไปแทนที่ในชั้นตัวอย่างเพียงเล็กน้อย

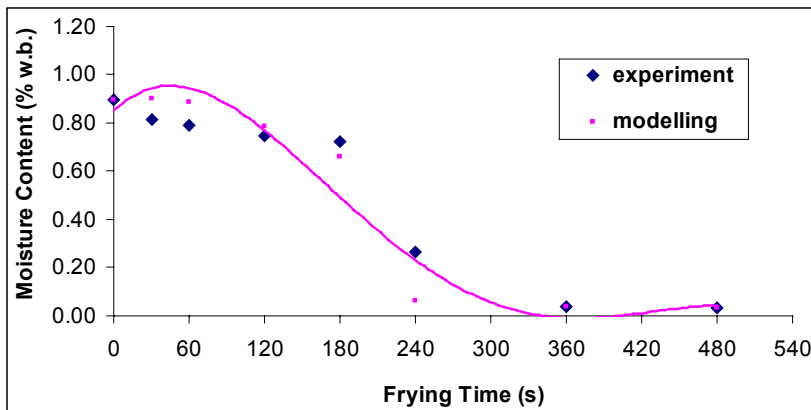
จนกระทั่งอุณหภูมิจุดศูนย์กลางเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 92°C เพียงพอที่จะระเหยน้ำออกมาได้โดยวิธี convective diffusion ซึ่งในระยะดังกล่าวนี้จะเป็นน้ำอิสระ (free water) เนื่องจากเป็นน้ำที่ไม่มีพันธะกับโมเลกุลอื่นจึงสามารถระเหยออกมาได้ง่าย และเป็นเวลาเดียวกับที่มีการดูดซับน้ำมันเข้าไปแทนที่บริเวณที่น้ำถูกระเหยออกมาอย่างต่อเนื่องโดยน้ำมันจะแพร่เข้าไปภายในอาศัยแรงดันแคปิลารี จนกระทั่งอุณหภูมิจุดผิวของชั้นตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 113°C ระยะเวลาผ่านไปอุณหภูมิบริเวณขอบเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความดันไอเข้าใกล้สภาวะสมดุลและเริ่มที่จะปรับอุณหภูมิของตัวอย่างเข้าสู่อุณหภูมิน้ำมันที่ทอดพร้อมทั้งเริ่มมีการก่อตัวของเปลือกนอกบริเวณผิวของตัวอย่าง ในระหว่างนี้น้ำอิสระภายในตัวอย่างจะลดลง แต่ยังมีน้ำบางส่วนที่ยึดเกาะกับโมเลกุลของตัวอย่าง (bound water) ซึ่งต้องใช้พลังงานในการทำลายพันธะที่สูง จึงสังเกตได้ว่าในระยะหลังจะมีสูญเสียน้ำโดยการแพร่ออกมาน้อยอีกทั้งยังมีเปลือกนอกเป็นตัวจำกัดการระเหย จากนั้นอุณหภูมิจะเริ่มคงที่เนื่องจากความร้อนจะถูกใช้ไปในการระเหยน้ำภายในชั้นตัวอย่าง (ความร้อนแฝง) การสูญเสียอย่างต่อเนื่องจนปริมาณน้ำลดลงและเข้าใกล้จุดสมดุล ส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเข้าใกล้อุณหภูมิของน้ำมันที่ทอด (120°C)

สำหรับบริเวณผิวของชั้นตัวอย่างนั้นจะเริ่มมีการขยายตัวของเปลือกนอกจากบริเวณผิวขยายเข้ามาบริเวณกึ่งกลางของชั้นตัวอย่างตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นและลักษณะการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้น

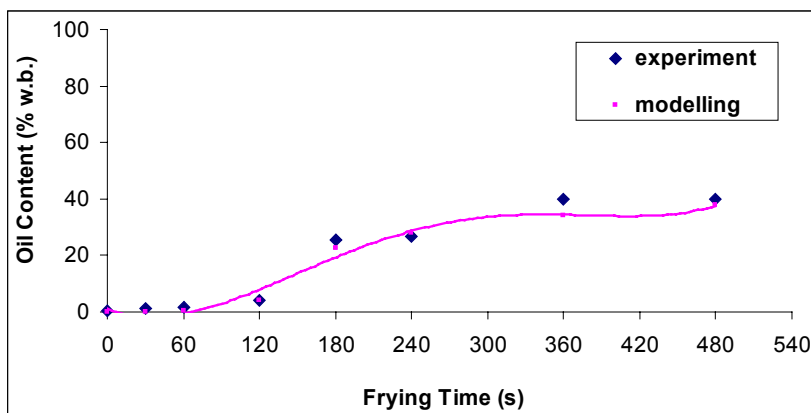
สำหรับลักษณะการถ่ายโอนความร้อนและมวลสารสามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับอุณหภูมิเป็นภาพแนว 3 มิติ ปริมาณความชื้นที่สูญเสียและปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับภายในตัวอย่างในระหว่างกระบวนการทอดเป็นภาพแนว 2 มิติ ในแต่ละตำแหน่งของชั้นตัวอย่างได้ชัดเจนจากผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในภาพประกอบ 3.10 3.11 และ 3.12 ตามลำดับ ซึ่งทอดที่อุณหภูมิ 120 °C ความดัน 120 mm Hg ที่ระยะเวลา 5, 10, 30, 60, 180 และ 360 วินาที



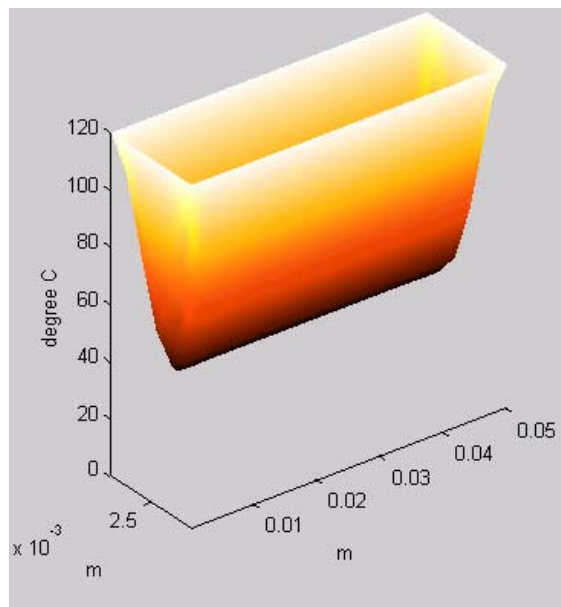
ภาพประกอบ 3.7 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ



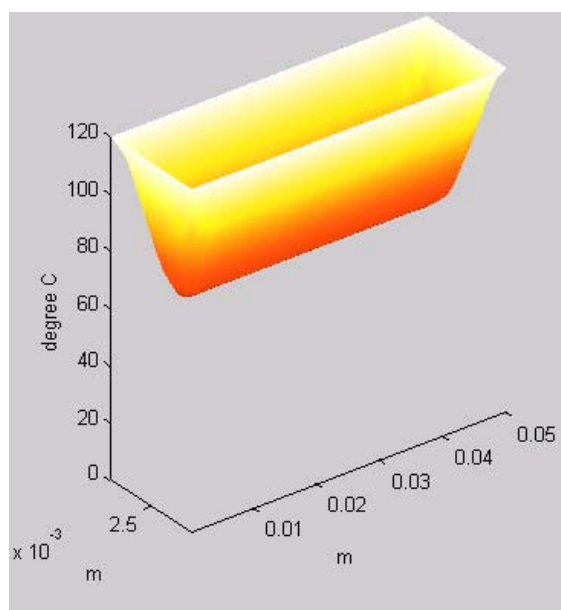
ภาพประกอบ 3.8 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้น



ภาพประกอบ 3.9 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำมันภายในชิ้นตัวอย่าง

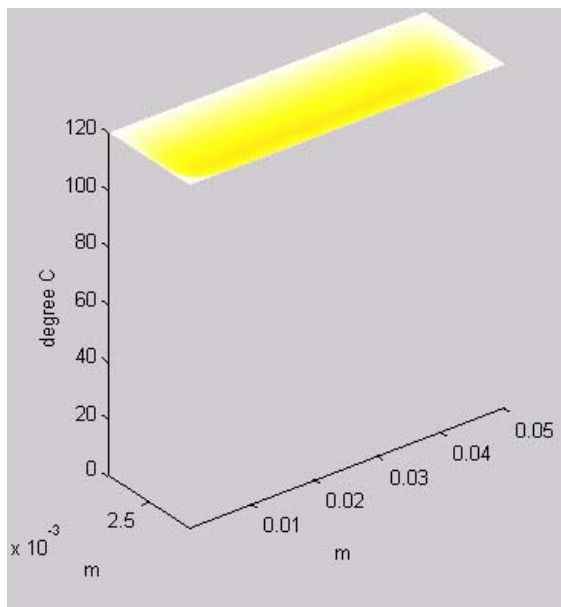


5 วินาที

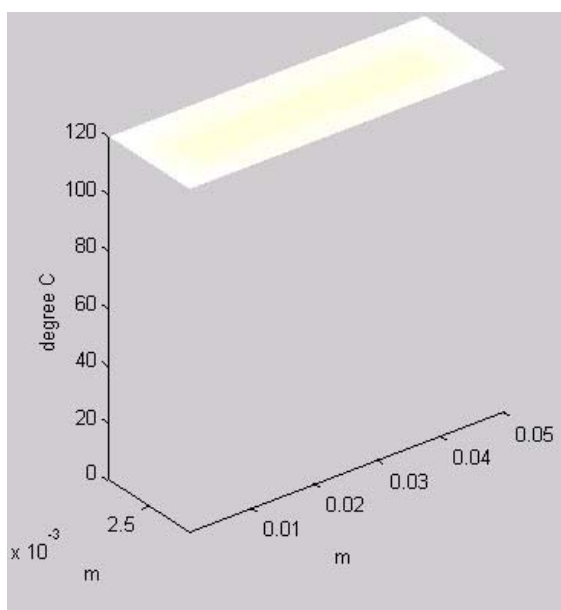


10 วินาที

ภาพประกอบ 3.10 ภาพ 3 มิติแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของการทอดตัวอย่างมันฝรั่ง
จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

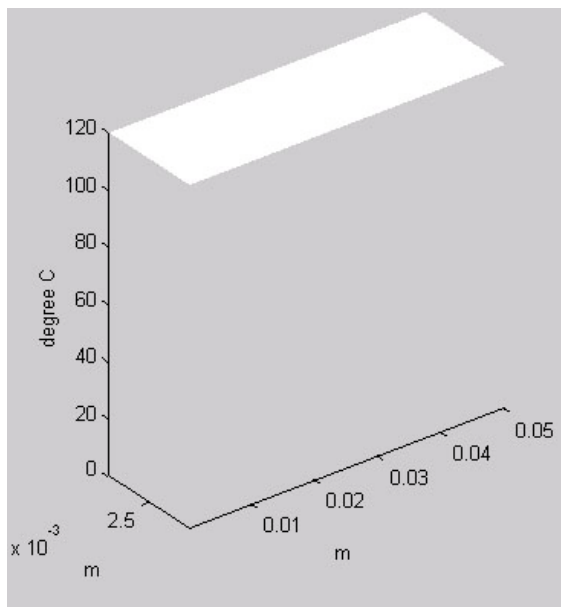


30 วินาที

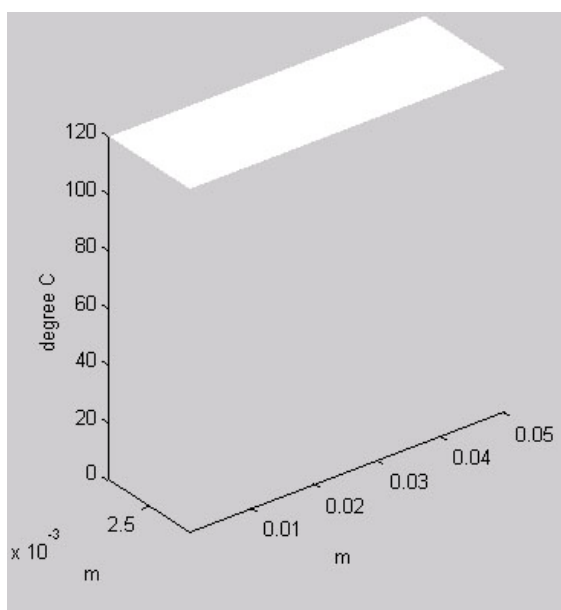


60 วินาที

ภาพประกอบ 3.10 (ต่อ) ภาพ 3 มิติแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของการทอดตัวอย่างมันฝรั่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

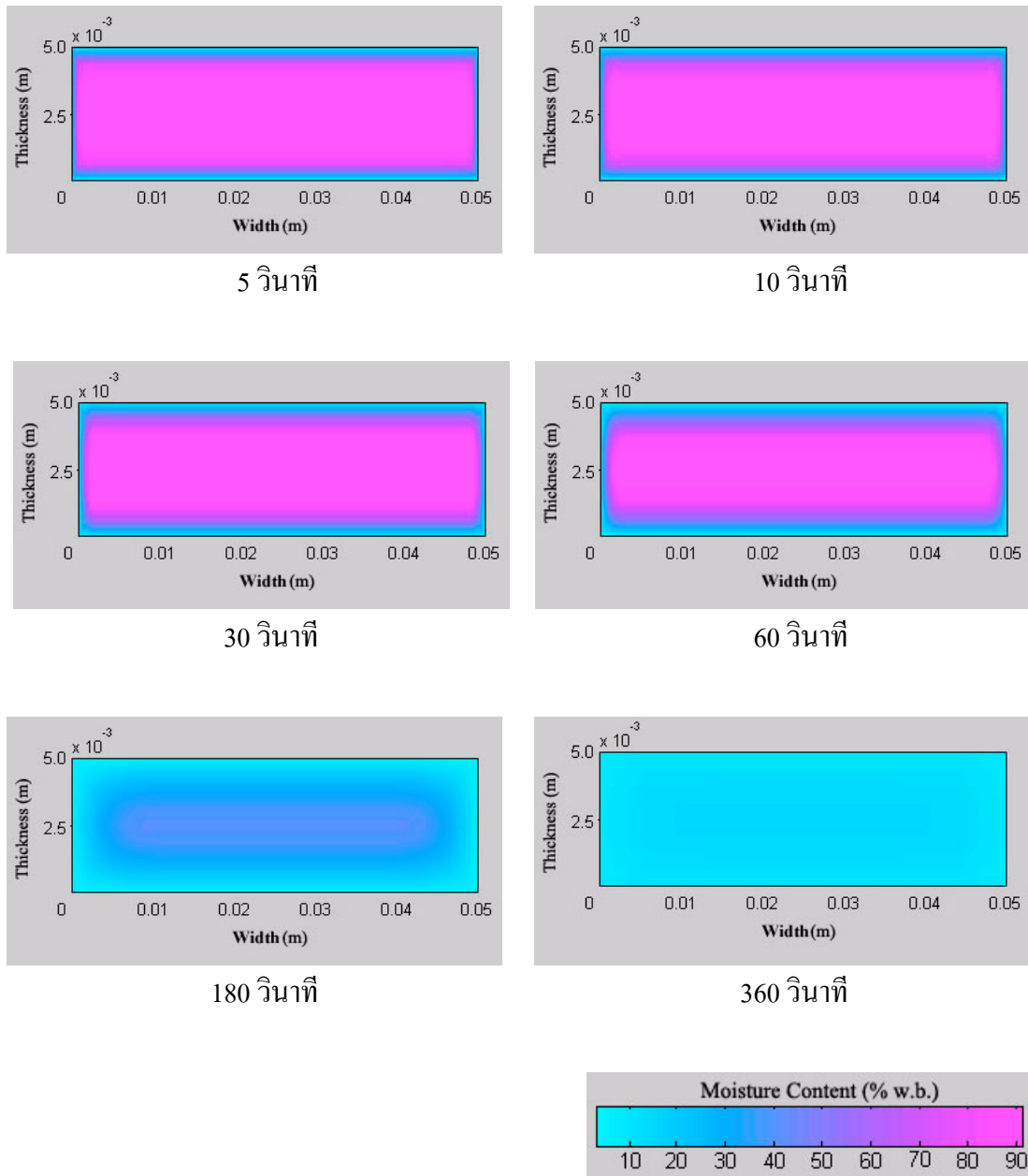


180 วินาที

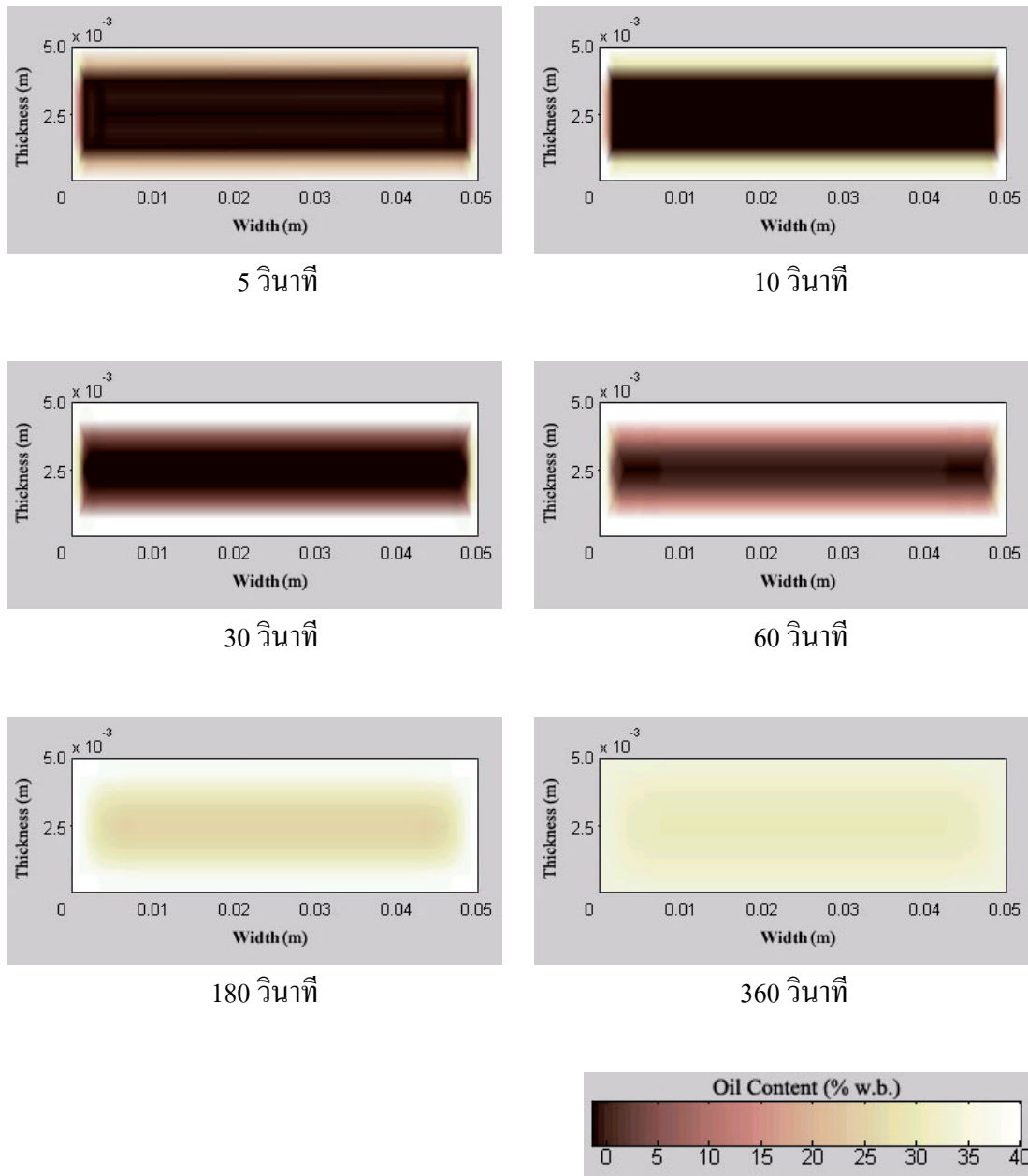


360 วินาที

ภาพประกอบ 3.10 (ต่อ) ภาพ 3 มิติแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในของการทอดตัวอย่างมันฝรั่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพประกอบ 3.11 ภาพ 2 มิติแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในของการทอดตัวอย่างมันฝรั่งจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ภาพประกอบ 3.12 ภาพ 2 มิติแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการดูดซับน้ำมันภายในของซินตัวอย่างจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์