บทที่ 6

อภิปรายผลการทดลอง

การอบแห้งในฟลูอิดไดซ์เบดนั้นสามารถพิจารณาแบ่งช่วงการอบแห้งออกได้เป็น 2 ช่วงด้วยกัน(4,20) กล่าวคือในช่วงแรก เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ หรือการถ่ายเทความร้อนเป็นตัวควบคุมระบบ ในช่วงนี้ความชื้นที่ผิววัตถุจะอยู่ในสภาพเปียกตลอดเวลา เพราะว่าการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัตถุมายังผิวมีความเร็วมากกว่า อัตราการระเหยของความชื้นที่ผิววัตถุ(7) อากาศร้อนที่เข้าสู่คอลัมน์ในช่วงนี้ จะผ่านอนุภาคของวัตถุซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนให้วัตถุเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ และระเหยน้ำที่ผิวของวัตถุออกมา ในขณะเดียวกันก็จะพาความชื้นที่ระเหยออกมาจากวัตถุออกไปพร้อมกันด้วย เนื่องจากความชื้นที่ผิวของวัตถุในช่วงนี้มีอย่างมากเกินพอ อัตราการอบแห้งในช่วงนี้จึงเป็นอัตราการอบแห้งคงที่ โดยอุณหภูมิอากาศร้อนที่ไหลออกจากคอลัมน์จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของเบด และใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ความชื้นอิ่มตัว อย่างไรก็ตามอัตราการอบแห้งคงที่ในช่วงนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับความชื้นของอนุภาคแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศร้อน และความสูงของเบดด้วย ดังจะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วของของอากาศร้อนเพิ่มมากขึ้น การถ่ายเทความร้อนให้อนุภาคจะมากขึ้น ในขณะเดียวกันกับการพาความชื้นออกจากคอลัมน์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้อัตราการอบแห้งคงที่ในระบบที่ใช้ความเร็วอากาศร้อนสูง มีค่ามากกว่าอัตราการอบแห้งคงที่ในระบบที่ใช้ความเร็วอากาศร้อนต่ำกว่า ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาถึงผลของความสูงเบดที่มีต่ออัตราการอบแห้ง จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ความเร็วอากาศร้อนที่ค่าเดียวกันในการถ่ายเทความร้อนให้เบด ปริมาณความร้อนต่อหน่วยวัตถุที่เบดได้รับ จะแตกต่างกันไป โดยเบดสูงจะมีปริมาณความร้อนต่อหน่วยวัตถุ ต่ำกว่าในเบดต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจาก การที่เบดสูงมีปริมาณวัตถุมากกว่านั่นเอง เมื่อเป็นเช่นนี้ อุณหภูมิในเบดที่ต่ำจึงมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิในเบดที่สูง และมีผลทำให้อัตราการระเหยของของเหลวต่อหน่วยวัตถุในเบดต่ำมีค่าสูงกว่าในเบดสูงด้วย นั่นคือ ในระบบที่เบดมีความสูงมากกว่า จะมีค่าอัตราการอบแห้งคงที่ ต่ำกว่าในระบบที่เบดมีความสูงน้อยกว่านั่นเอง หรืออาจกล่าวได้ว่า อัตราการอบแห้งคงที่เป็นสัดส่วนโดยตรง

กับเร็วอากาศร้อนที่ใช้ และเป็นสัดส่วนผกผันกับความสูงเบด ในช่วงที่สองเป็นช่วงที่อัตราการอบแห้งลดลง หรืออาจจะกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่า การแพร่ของของเหลวในวัตถุเป็นตัวควบคุมประสิทธิภาพของอัตราการอบแห้งในระบบ ซึ่งหลังจากผ่านช่วงอัตราการอบแห้งคงที่แล้ว ระบบจะเข้าสู่ช่วงที่ของเหลวในวัตถุเป็นตัวควบคุมระบบ ในช่วงนี้ความชื้นที่เปียกผิวของวัตถุจะหมดไป ทำให้ผิวของวัตถุแห้ง ในขณะที่อากาศร้อนที่เข้าสู่คอลัมน์ ยังมีความสามารถในการรับความชื้นเหมือนเดิม ดังนั้นของเหลวที่แพร่ออกจากด้านในวัตถุ เมื่อมาถึงผิววัตถุจะถูกระเหยและพาไปกับอากาศร้อนจนหมด แต่เนื่องจากอัตราการแพร่ของของเหลวในวัตถุมีค่าช้ากว่าอัตราการระเหยของของเหลวที่ผิววัตถุ ดังนั้นในช่วงนี้ จึงกล่าวได้ว่า การแพร่ของของเหลวในวัตถุเป็นตัวควบคุมระบบของการอบแห้ง (8,9,11)

6.1 อิทธิพลของตัวแปรที่มีต่อการอบแห้ง

จากผลการทดลองการอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ ที่ได้กล่าวในข้างต้น จะเห็นได้ว่า ตัวแปรแต่ละตัวมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งข้างโพดในฟลูอิดไดซ์เบดในลักษณะที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

6.1.1 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

จากผลการทดลองซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5-2 ถึง 5-17 หรือ 5-18 ถึง 5-33 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเหตุผลที่ว่า

1 ถ้าระบบนั้นเป็นระบบที่การถ่ายเทความร้อนเป็นตัวควบคุมระบบหรือเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ จะเห็นได้ว่าในช่วงนี้ ระบบมีการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนให้เมล็ดข้าวโพด และรับความชื้นที่ระเหยจากเมล็ดข้าวโพดพาออกจากคอลัมน์ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้เมล็ดข้าวโพดจะมีค่ามากขึ้น ทำให้มีการระเหยของน้ำมากขึ้น และมีการพาความชื้นออกจากระบบได้มากขึ้น อัตราการอบแห้งจึงเพิ่มขึ้นด้วย

2 ถ้าระบบนั้นเป็นระบบที่มีการแพร่ของน้ำในเมล็ดข้าวโพดเป็น

ตัวควบคุมระบบ การแพร่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (40,41,42) ดังนั้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5-18 ถึง 5-33 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นและเวลา จะได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเอกโปเนนเชียลซึ่งสอดคล้องกับผลงานของนักวิจัยท่านอื่น(14,15,16,17,18,) ซึ่งได้เสนอสมการแสดงไว้ดังนี้

$$MR = \frac{X - X^*}{X_o - X^*} = e^{-kt} \qquad (6\text{-}1)$$

หรือ $\ln MR = -kt$

เมื่อ MR = อัตราส่วนความชื้น (-)

X = ความชื้นที่เวลาใด ๆ (%db)

X_o = ความชื้นที่เวลาเริ่มต้น (%db)

X^* = ความชื้นที่สมดุลกับอากาศ (%db)

k = ค่าคงที่ของอัตรา (นาที$^{-1}$)

t = เวลา (นาที)

จากสมการข้างต้น เราสามารถค่านวณหาค่าคงที่ของอัตรา(k) ที่แต่ละสภาวะได้ และถ้านำมาเขียนกราฟกับอัตราส่วนผกผันของอุณหภูมิสมบูรณ์จะได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเอ็กโปเนนเชียล หรือมีชื่ออีกนัยหนึ่งว่าสมการอารีเนียส ซึ่งได้เสนอไว้ในรูปที่ 6-1 โดยสมการเป็นดังนี้

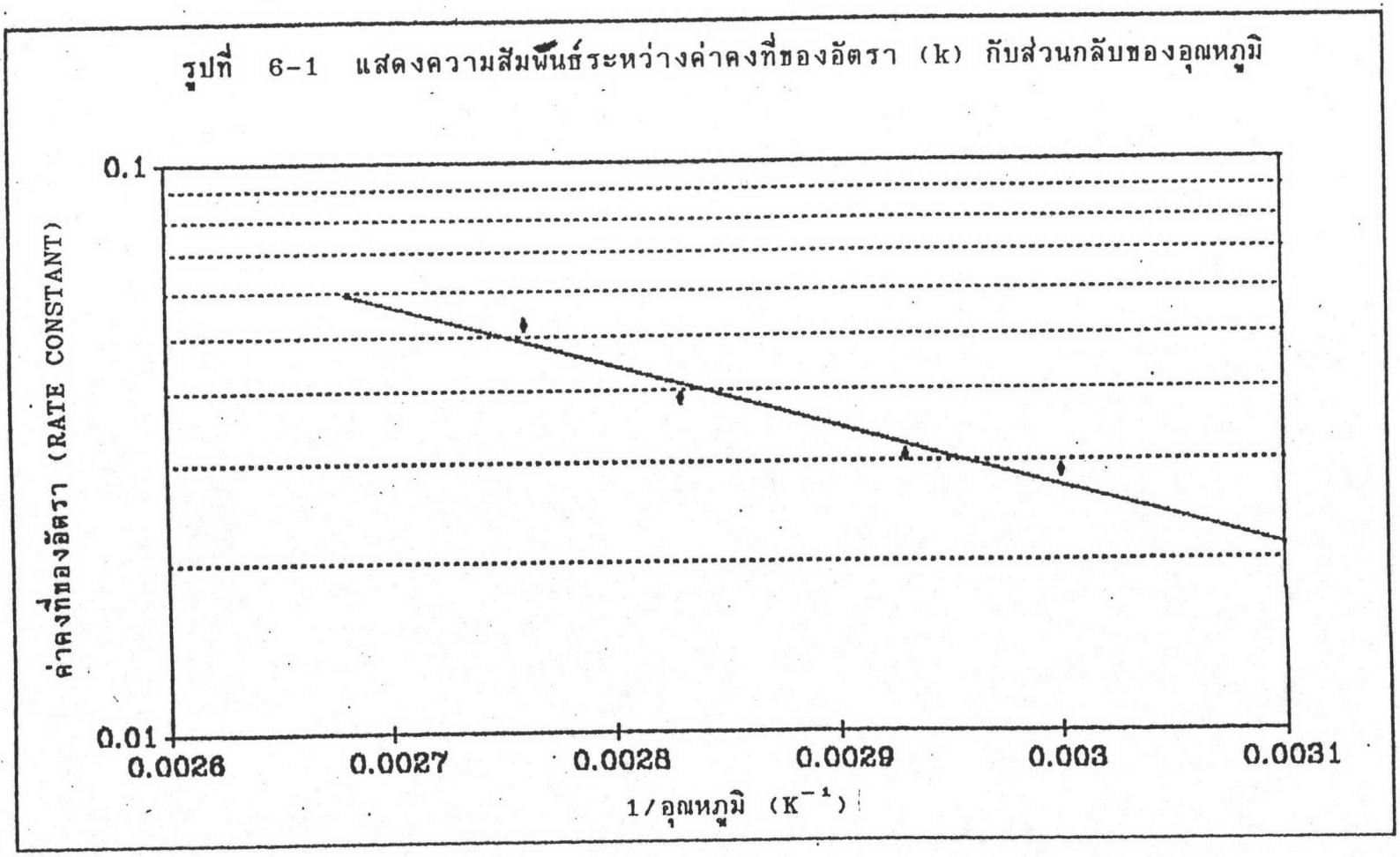
$$k = 45.86\exp(-2479.51/T) \qquad (6\text{-}2)$$

ซึ่งค่าคงที่ในสมการ จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดของวัตถุที่ใช้อบแห้ง

4.1.2 อิทธิพลของความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

จากผลการทดลองเมื่อนำค่าคงที่ k ที่คำนวณได้จากสมการ 6-1

รูปที่ 6-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับส่วนกลับของอุณหภูมิ



มาเขียนกราฟเทียบกับความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้อบแห้ง เพื่อหาอิทธิพลของความเร็วอากาศร้อนต่ออัตราการอบแห้ง ดังได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 6-2 ถึง 6-5 นั้น ถ้าพิจารณาจากกราฟ จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วของอากาศร้อนเพิ่มขึ้น ค่าคงที่ของอัตรา(k) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องมาจาก (1,4,20,41)

1. เมล็ดข้าวโพดมีอนุภาคใหญ่ จำเป็นต้องใช้ความเร็วอากาศร้อนสูงมาก จึงจะสามารถทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนที่แบบฟลูอิดไดซ์เซชันได้ ซึ่งมีผลทำให้ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่มีค่าสั้นมาก แต่ความเร็วอากาศร้อนไม่มีอิทธิพลต่อระบบการอบแห้ง ในช่วงที่อัตราการอบแห้งถูกควบคุมโดยกลไก ของอัตราการแพร่ของน้ำจากเมล็ดข้าวโพด ดังนั้น เราจึงกล่าวว่า ความเร็วของอากาศร้อน มีอิทธิพลน้อยต่ออัตราการอบแห้ง เมื่อเทียบกับอุณหภูมิ

2. ยิ่งกว่านั้น การที่เมล็ดข้าวโพดมีอนุภาคใหญ่ ยิ่งทำให้การแพร่ของน้ำจากภายในเมล็ดข้าวโพดถึงผิวต้องใช้เวลามากขึ้น ซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งโดยตรง แต่ความเร็วอากาศร้อนไม่มีอิทธิพลต่อผลดังกล่าว ยิ่งเป็นเหตุผลที่ชี้ให้เห็นชัดว่า ความเร็วอากาศร้อนมีอิทธิพลน้อยมากต่อกรณีนี้ อีกประการหนึ่ง ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดที่เก็บเกี่ยวมา โดยทั่วไปจะมีค่าสอดคล้องกับช่วงที่อัตราการแพร่ เป็นตัวควบคุมระบบการอบแห้งอยู่แล้ว

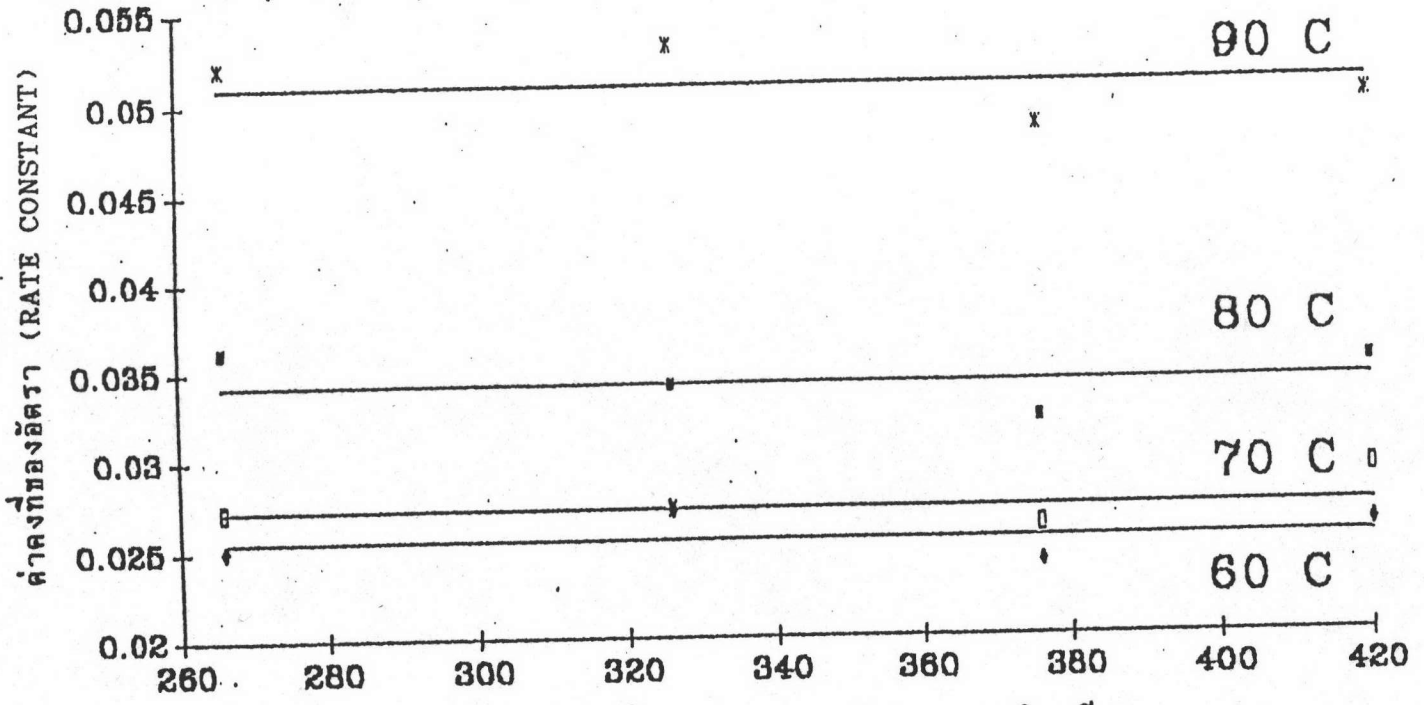
6.1.3 อิทธิพลของความสูงของเบดต่อการอบแห้ง

ในลักษณะเดียวกันเมื่อนำค่าคงที่ของอัตรา(k) ที่คำนวณได้จากสมการ 6-1 มาเขียนกราฟเทียบกับความสูงของเบด ดังได้เสนอไว้ในรูป 6-6 ถึง 6-9 จะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงเบดมากขึ้นค่าคงที่ของอัตราจะมีค่าลดลง อันเนื่องมาจาก

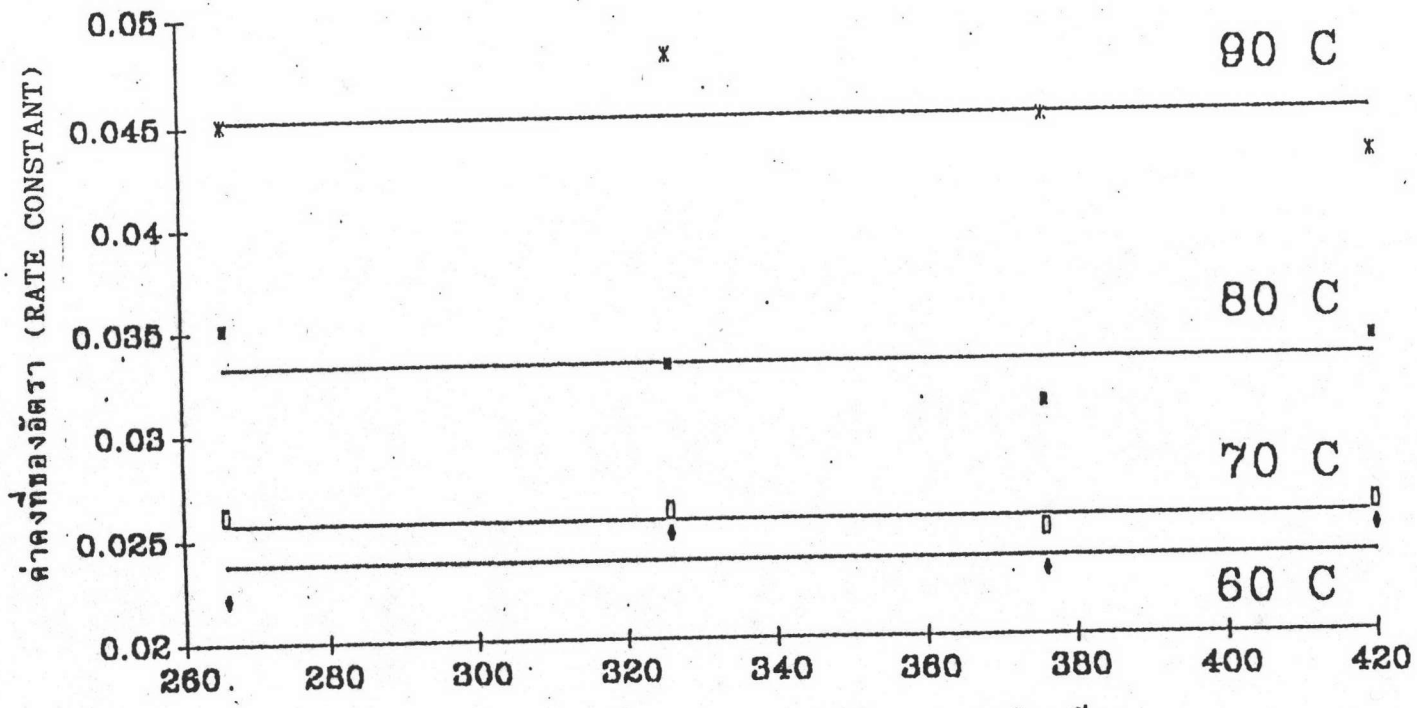
1. ถ้าระบบอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ อัตราการอบแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความสูงเบดดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นเมื่อความสูงเบดเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งจะลดลง

2. เมื่อระบบอยู่ในช่วงการแพร่ของน้ำในเมล็ดข้าวโพดเป็นตัวควบคุมระบบ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศร้อนและความเร็วอากาศร้อนเท่ากันเปรียบเทียบระบบที่มีความสูงเบดมากและน้อย จะเห็นได้ว่าในปริมาณความร้อนจากอากาศร้อนที่เท่ากัน เบดที่มีความสูงน้อยจะสามารถรับความร้อน

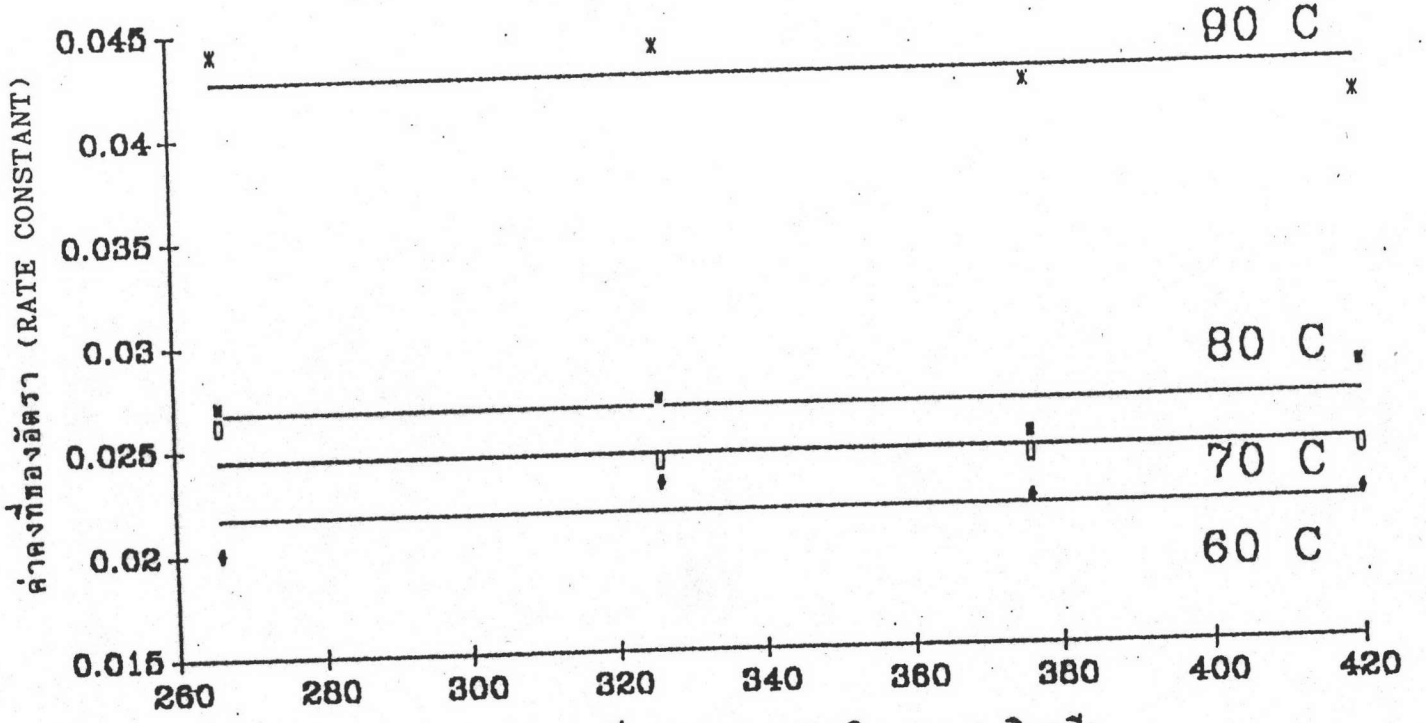
รูปที่ 6-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็วอากาศที่ความสูงเบด 3 เซนติเมตร



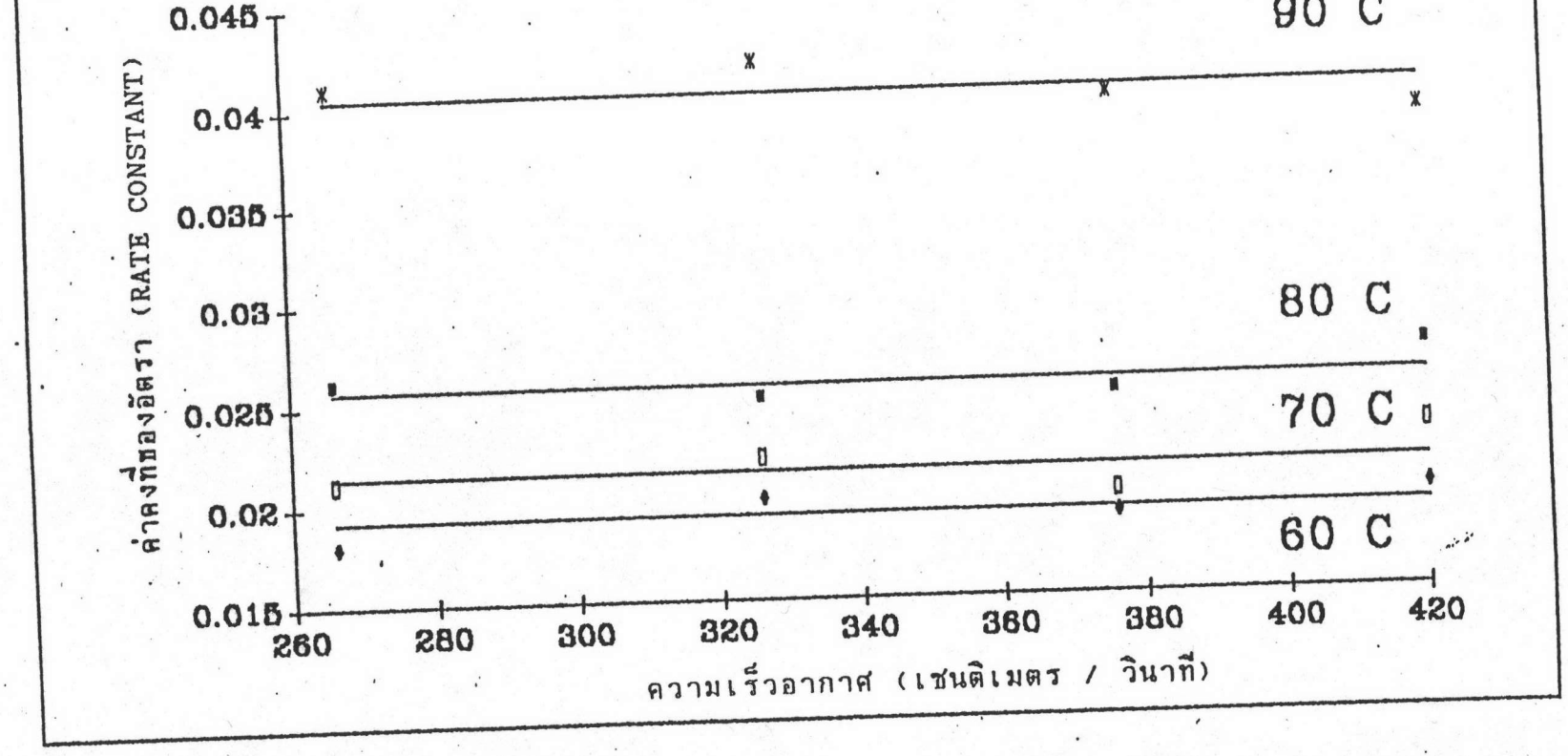
รูปที่ 6-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็วอากาศที่ความสูงเบด 6 เซนติเมตร



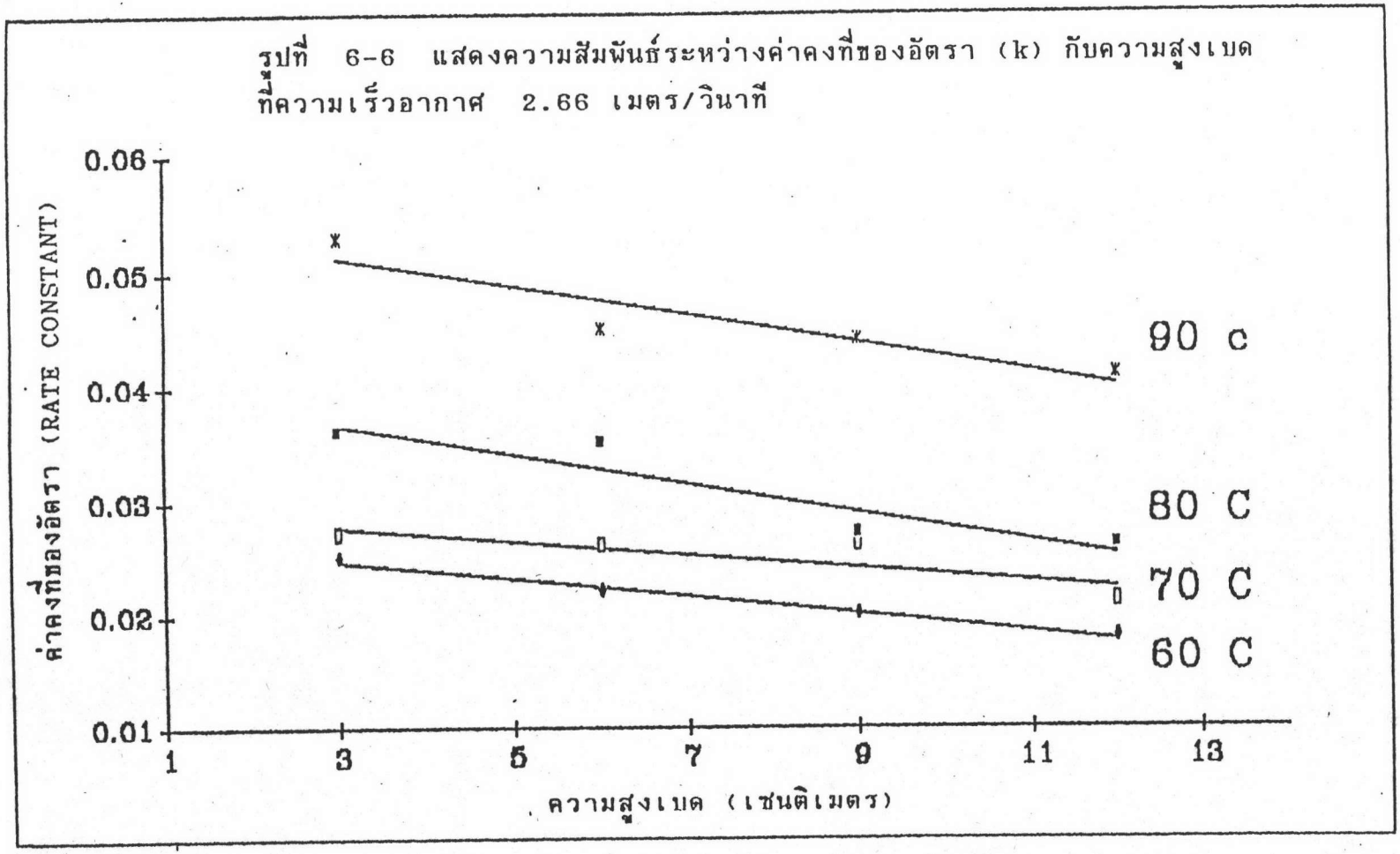
รูปที่ 6-4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็วอากาศที่ความสูงเบด 9 เซนติเมตร



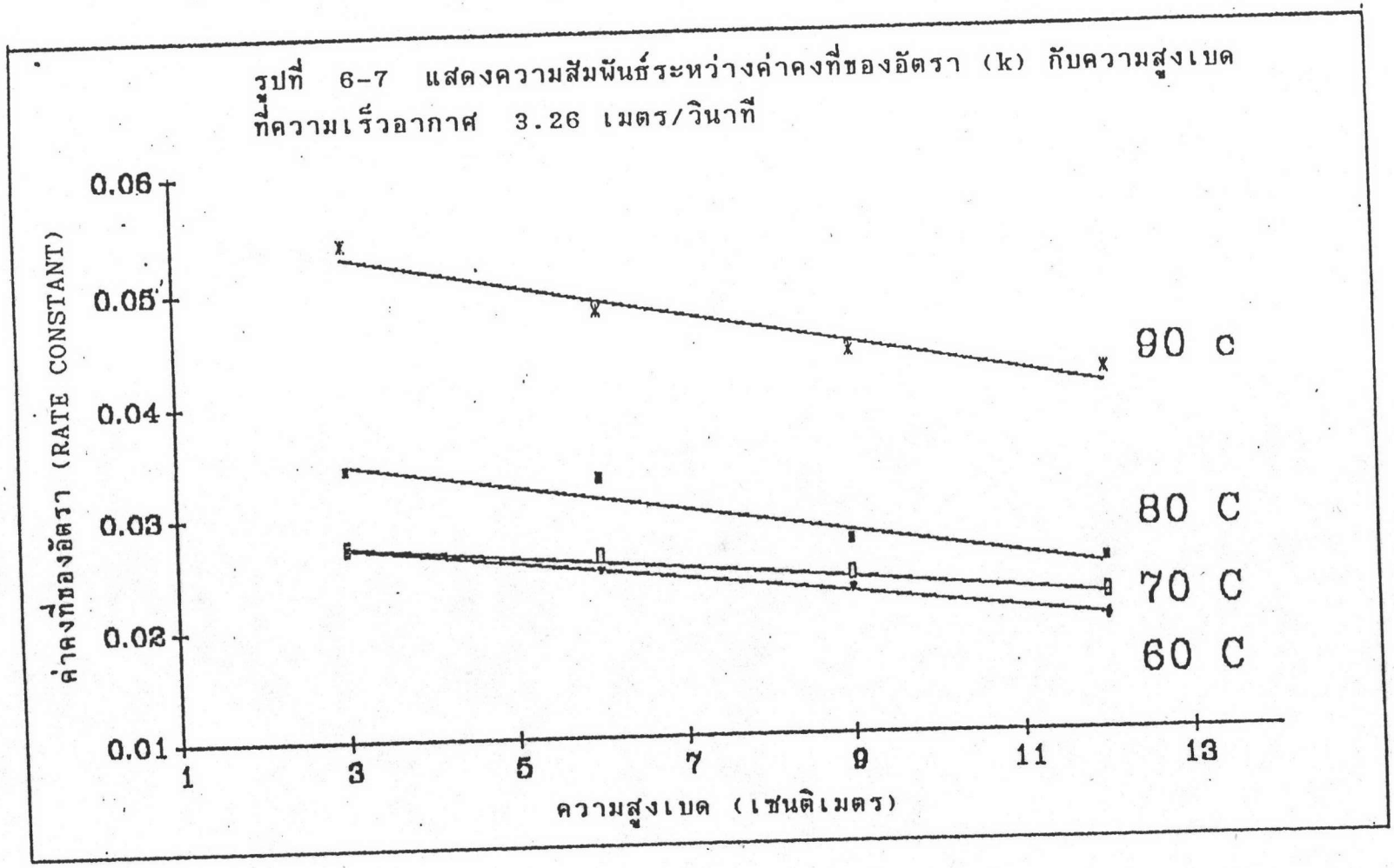
รูปที่ 6-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความเร็ว
อากาศที่ความสูงเบด 12 เซนติเมตร



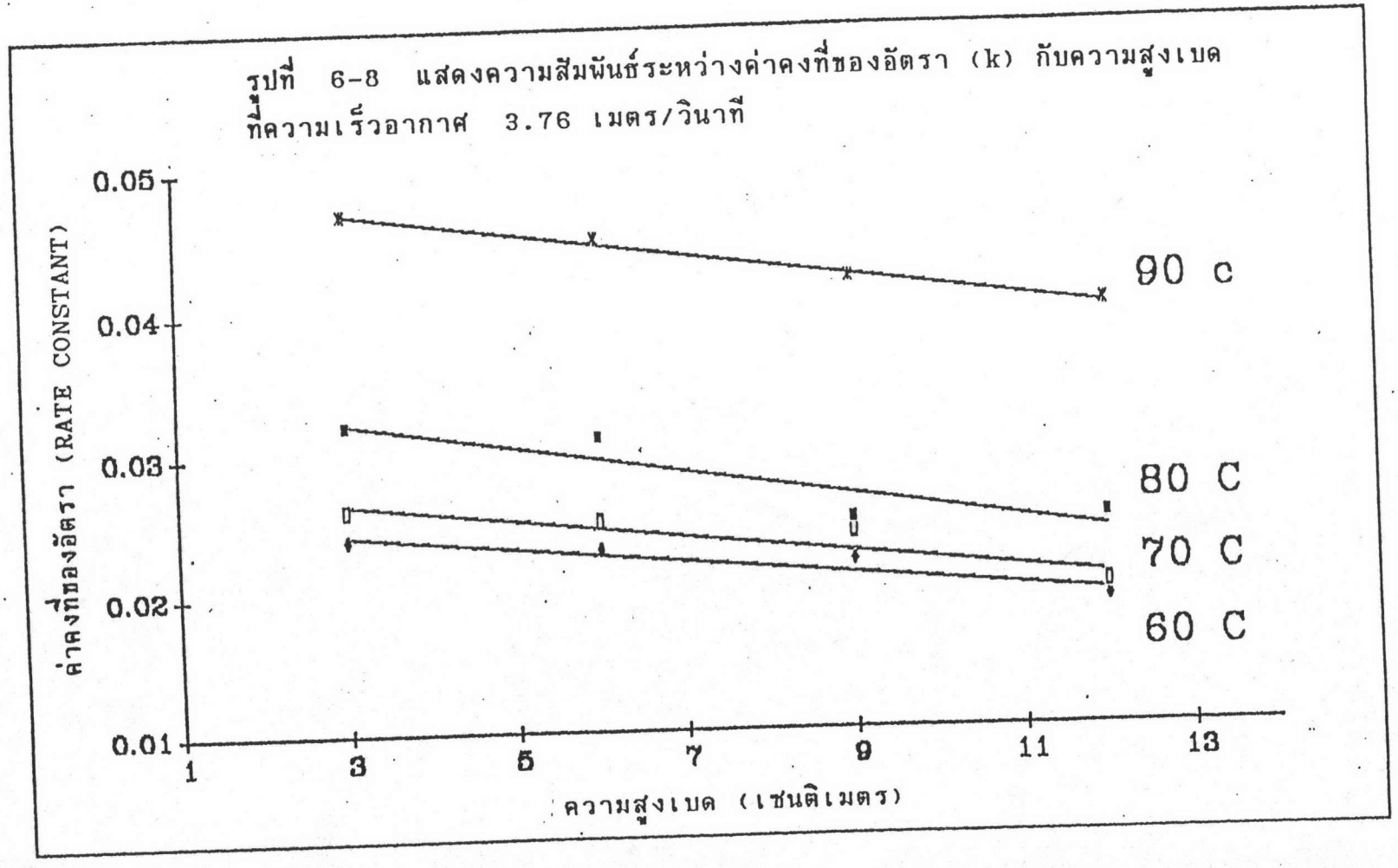
รูปที่ 6-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบด ที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร/วินาที



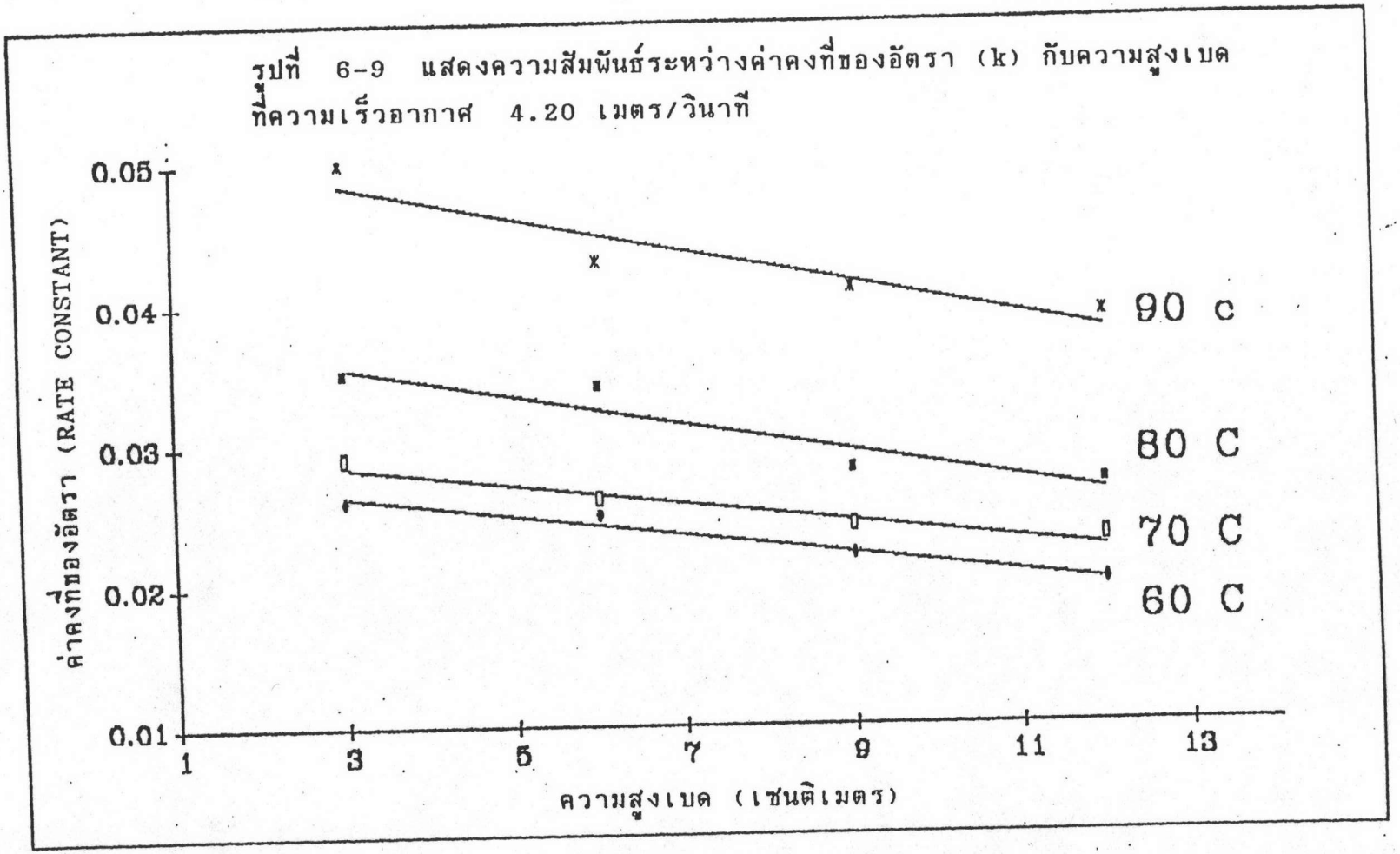
รูปที่ 6-7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบด ที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร/วินาที



รูปที่ 6-8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบด ที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร/วินาที



รูปที่ 6-9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา (k) กับความสูงเบด ที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร/วินาที



ต่อหน่วยข้าวโพดได้มากกว่าเบดที่สูง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะต้องกระจายให้ข้าวโพดปริมาณที่มากกว่า ทำให้การรับความร้อนต่อหน่วยข้าวโพดในเบดสูงมีค่าน้อยกว่า ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิในระบบทั้งสองต่างกันแม้ไม่มากนัก แต่มีผลทำให้อัตราการแพร่ของน้ำในเมล็ดข้าวโพด ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิมีค่าอัตราการแพร่ต่างกันไปด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มความสูงของเบดขึ้น อัตราการอบแห้งจึงลดลง

6.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของอากาศร้อนกับความสูงของเบดต่อการอบแห้ง

จากผลการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น เราสามารถพิจารณาได้ว่า การอบแห้งข้าวโพดในฟลูอิดไดซ์เบด ตัวแปรที่มีอิทธิพลมากที่สุดคืออุณหภูมิอากาศร้อน รองลงมาคือความสูงของเบด และความเร็วอากาศมีผลน้อยที่สุดซึ่งอาจตัดทิ้งได้ ถ้านำค่าคงที่ k ที่คำนวณได้จากสมการ 6-1 ที่อุณหภูมิเดียวกัน โดยไม่พิจารณาถึงความเร็วอากาศร้อน มาเขียนกราฟเทียบกับความสูงเบดต่าง ๆ กัน ดังได้เสนอไว้ในรูปที่ 6-10 จะได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่เสนอไว้ข้างใต้นี้

$$k = 75.925 \exp\left(\frac{-2662.207}{T}\right) - 0.00087L \qquad (6\text{-}3)$$

เมื่อ T = อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้อบแห้ง (K)

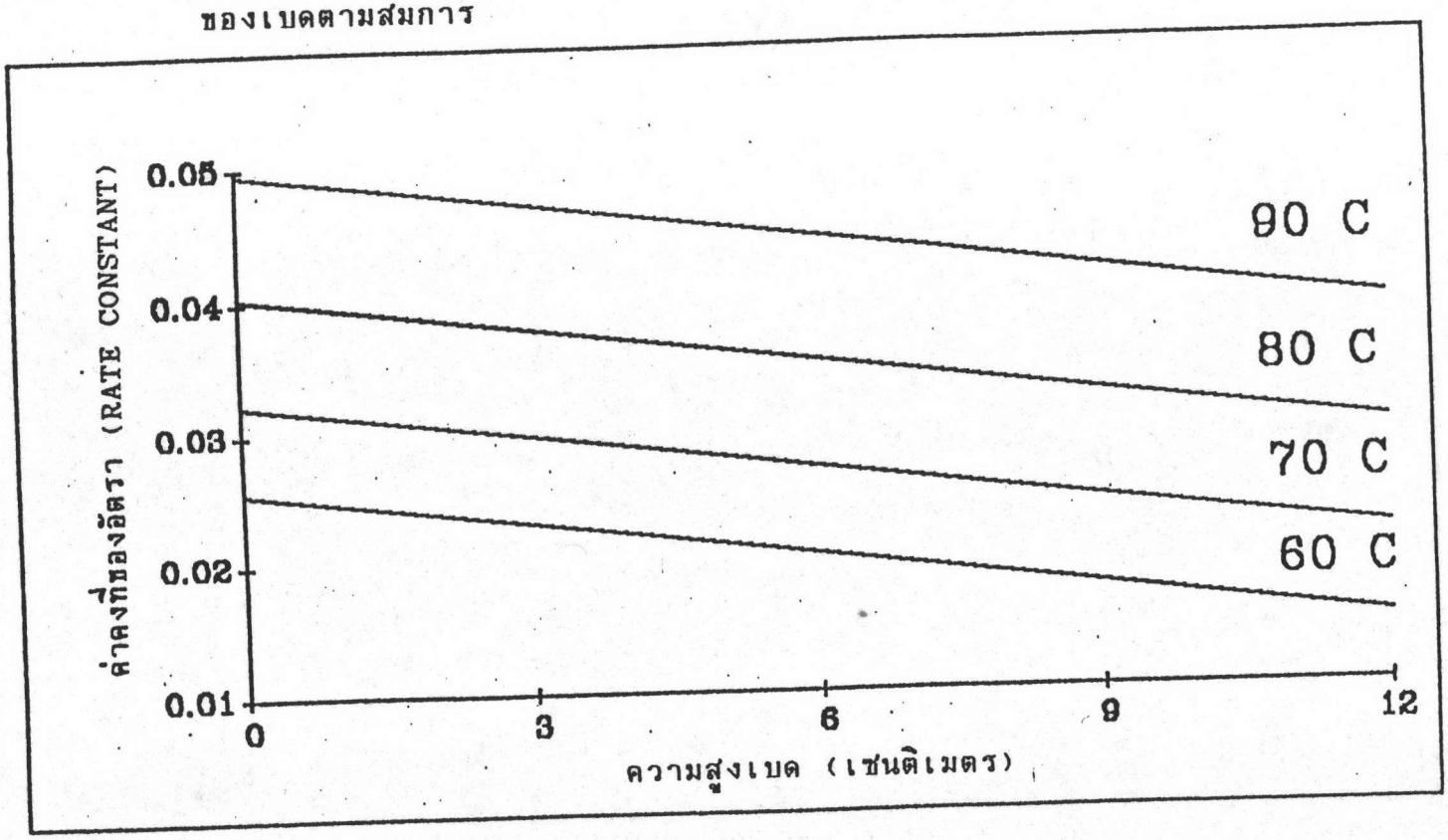
L = ความสูงเบด (เซนติเมตร)

6.2 ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง (42,43)

การพิจารณาถึงประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนั้น จะพิจารณาจากพลังงานความร้อนที่ระบบสามารถรับไว้ได้ ซึ่งในที่นี้เราพิจารณาที่ตัวผลิตภัณฑ์เป็นหลัก เปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ให้แก่ระบบ คือ อากาศที่ผ่านเข้าเครื่องอบแห้ง สามารถเขียนเป็นนิยามได้ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง} = \frac{\text{พลังงานความร้อนที่เมล็ดข้าวโพดได้รับ}}{\text{พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ให้แก่เครื่องอบแห้ง}}$$

รูปที่ 6-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของอัตรา กับความสูงของเบดตามสมการ



พลังงานความร้อนที่เมล็ดข้าวโพดได้รับนั้น จะถูกนำไปใช้เป็น 2 ส่วน คือ

1. พลังงานความร้อนที่ข้าวโพดใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของเมล็ด จากอุณหภูมิข้าวโพดเริ่มต้น ไปสู่อุณหภูมิสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง พลังงานความร้อนในส่วนนี้จะมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนทั้งหมดที่ข้าวโพดได้รับ พลังงานความร้อนในส่วนนี้สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_1 = W_2 Cpm T_f - W_1 Cpm T_o \qquad (6\text{-}4)$$

เมื่อ E_1 = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพด (cal)

W_1 = น้ำหนักข้าวโพดเริ่มต้น (g)

W_2 = น้ำหนักข้าวโพดสุดท้าย (g)

Cpm = ความจุความร้อนของข้าวโพด (cal/g°C)

T_o = อุณหภูมิเริ่มต้นของข้าวโพด (°C)

T_f = อุณหภูมิสุดท้ายของข้าวโพด (°C)

2. พลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวโพด เพื่อลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดลง อันเป็นวัตถุประสงค์หลักของเครื่องอบแห้ง พลังงานความร้อนที่ถูกนำไปใช้ในส่วนนี้จะมีค่ามาก เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อนที่ข้าวโพดได้รับทั้งหมด พลังงานความร้อนในส่วนนี้ สามารถเขียนแสดงค่าได้เป็น

$$E_2 = \frac{W_1 (X_1 - X_2)\, \Delta H_v}{100 - X_2} \qquad (6\text{-}5)$$

เมื่อ E_2 = พลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากเมล็ดข้าวโพด (cal)

X_1 = ความชื้นเริ่มต้นของข้าวโพด (% w.b.)

X_2 = ความชื้นสุดท้ายของข้าวโพด (% w.b.)

ΔH_v = เอนทาลปีของการระเหยของน้ำ (cal/g)

ในส่วนของพลังงานความร้อนที่ให้แก่เครื่องอบแห้งนั้น จะเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้ตัวกลาง คือ อากาศ ผ่านเข้าไปสู่ระบบ ซึ่งสามารถ

เขียนแสดงพลังงานความร้อนในส่วนนี้ได้เป็น

$$E_3 = 60\ p_x\ Q\ Cpg\ t_{td}(Tgi - Ta) \qquad (6\text{-}6)$$

เมื่อ E_3 = พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ให้แก่เครื่องอบแห้ง (cal)
p_x = ความหนาแน่นของอากาศ (g/m^3)
Q = อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
Cpg = ความจุความร้อนของอากาศ ($cal/g^{\circ}C$)
t_{td} = เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (min)
Ta = อุณหภูมิอากาศ ($^{\circ}C$)
Tgi = อุณหภูมิอากาศร้อนที่เข้าสู่คอลัมน์ ($^{\circ}C$)

ดังนั้นจากนิยามข้างต้น สามารถที่จะเขียนสมการแสดงค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งได้ดังนี้

$$Ef = \frac{(E_1 + E_2) * 100}{E_3} \qquad (6\text{-}7)$$

เมื่อ Ef = ค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง (%)

จากการหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยใช้สมการที่ 6-7 ที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ กัน จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 6-11 ถึง 6-13 และในภาคผนวกที่ 6 ซึ่งจากรูป จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งค่าเดียวกัน เมื่อเพิ่มความสูงของเบดขึ้น ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งจะเพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากการที่อากาศร้อนมีเวลาอยู่ในคอลัมน์มากขึ้น ทำให้มีการถ่ายเทพลังงานความร้อนให้เมล็ดข้าวโพดได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาถึงผลของอุณหภูมิอากาศร้อนต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนขึ้น ถึงแม้จะมีผลทำให้พลังงานความร้อนสูญเสียไปกับอากาศร้อนที่ออกจากคอลัมน์เพิ่มขึ้นก็ตาม แต่เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะมีค่าน้อยลง ซึ่งถ้าคิดในภาพรวม จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูง (90 $^{\circ}C$) ถึงแม้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งจะดีขึ้นแต่มีผลทำให้คุณภาพของข้าวโพด ซึ่งพิจารณาจากปริมาณไลซีนที่มีอยู่ในข้าวโพดมีคุณค่าต่ำลง ซึ่งจะได้แสดงผลในโอกาสต่อไป เช่นเดียวกัน

ถ้าพิจารณาที่อุณหภูมิ และความสูงของเบดคงที่ เราจะพบว่า ความเร็วอากาศร้อนมีค่าน้อย ยิ่งทำให้เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ว่าอากาศร้อนที่ไหลผ่านคอลัมน์ช้า จะมีโอกาสอยู่ในคอลัมน์ได้นานกว่า ทำให้มีโอกาสถ่ายเทพลังงานได้มากกว่า อีกทั้งการสูญเสียพลังงานจากระบบก็จะมีค่าน้อยกว่า กรณีของความเร็วอากาศสูงกว่า จากภาคผนวกที่ 6 จะเห็นผลที่แสดงภาพรวมเป็นกรณีตัวอย่างได้ว่า เครื่องอบแห้งจะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 27.41 % เมื่อใช้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 90 °C ความสูงเบด 12 ซม. และความเร็วอากาศร้อน 2.66 เมตรต่อวินาที และมีค่าประสิทธิภาพต่ำสุดที่ 3.54 % เมื่อใช้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศร้อน 60 °C ความสูงเบด 3 ซม. และความเร็วอากาศร้อน 4.20 เมตรต่อวินาที

6.3 ปริมาณไลซีนในข้าวโพดภายหลังการอบแห้ง

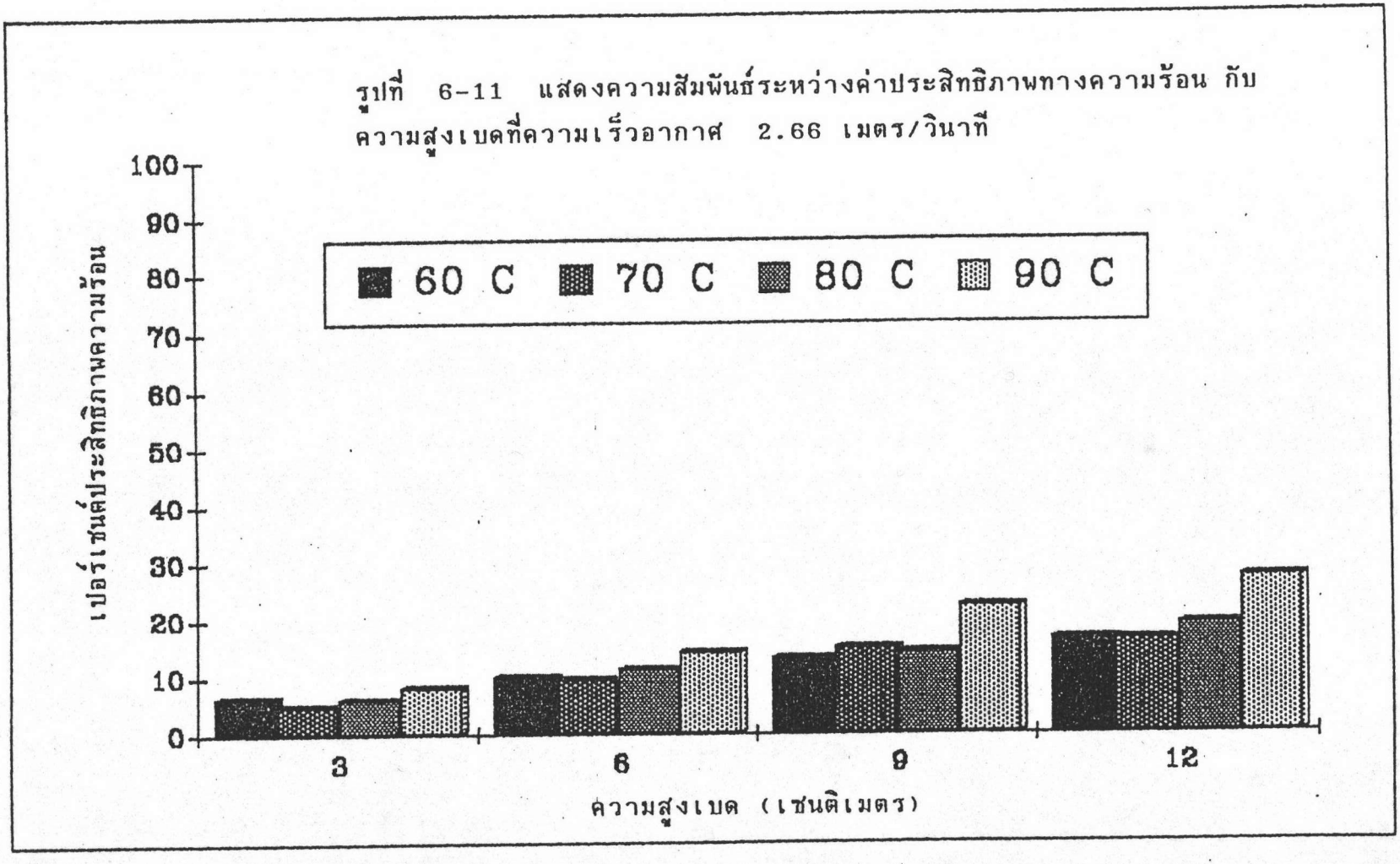
จากการหาค่าปริมาณไลซีนที่เหลือภายหลังการอบแห้งเปรียบเทียบกับปริมาณไลซีนเริ่มต้น ดังรูป 5-34 ถึง 5-37 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้มีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไลซีน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนขึ้น เกินกว่า 70 °C ปริมาณไลซีนจะมีค่าลดลง ส่วนความสูงเบดและความเร็วอากาศร้อน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณไลซีนภายหลังการอบแห้งน้อยมาก

6.3.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณไลซีนในข้าวโพดภายหลังการอบแห้ง

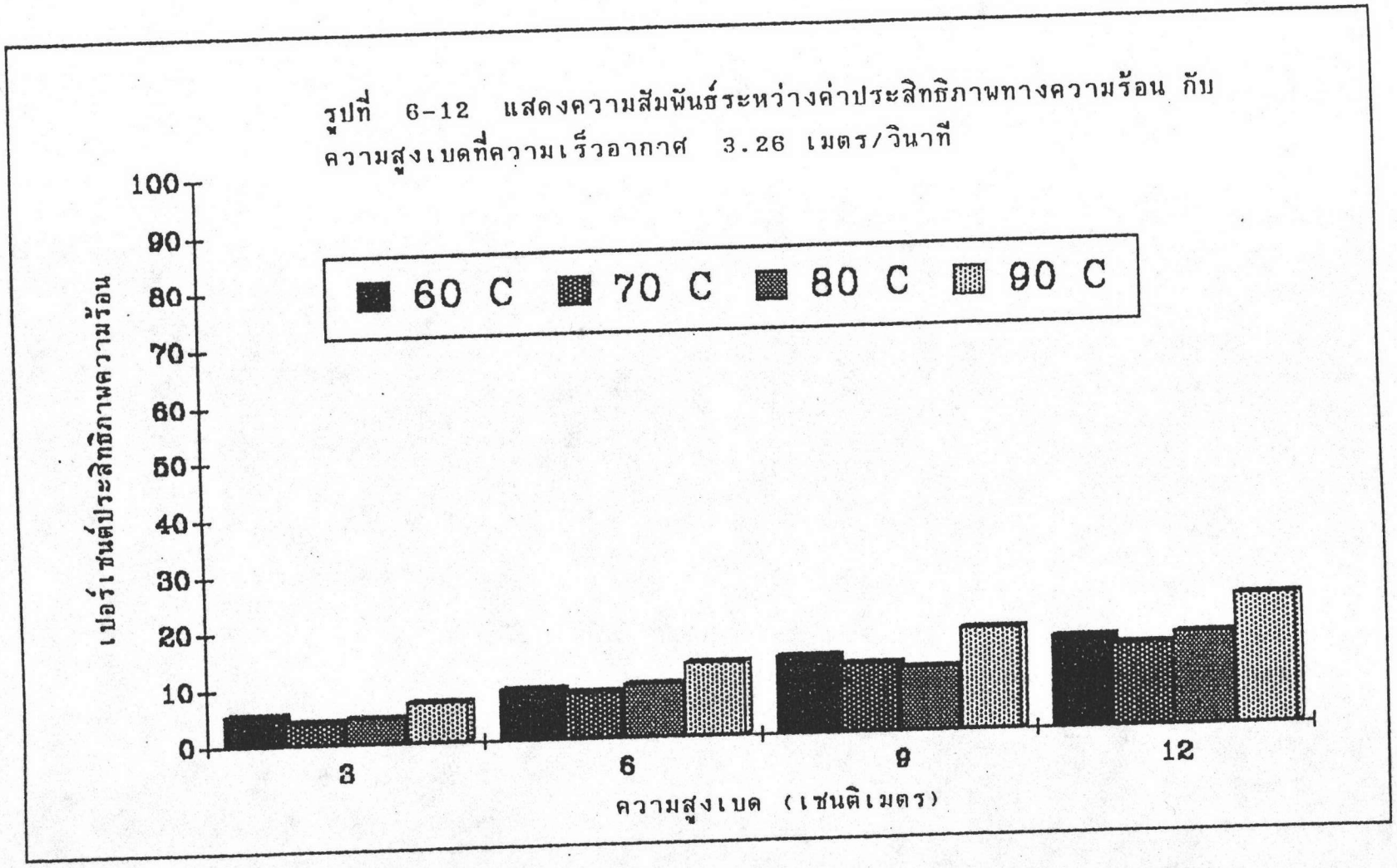
ปริมาณไลซีนในที่นี้หมายถึงปริมาณไลซีนที่นำไปใช้ได้ (available lysine) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไลซีนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเป็นสำคัญ (29,30) เมื่ออุณหภูมิการอบแห้งข้าวโพดจากการทดลองสูงถึง 80 °C ปริมาณไลซีนที่นำไปใช้ได้ จะลดลงอันเนื่องมาจากการสลายตัวหรือทำปฏิกริยากับสารประกอบอื่นในเมล็ดข้าวโพดแล้วเปลี่ยนรูปไป (28,35) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้งขึ้นอีกปริมาณไลซีนจะลดลงอีกเช่นกัน (34)

ในช่วงอุณหภูมิที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณไลซีนนั้น เวลาในการอบแห้งจะเข้ามามีส่วนร่วมด้วย โดยที่อุณหภูมิเดียวกัน ถ้าเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้นปริมาณไลซีนจะลดลงมากขึ้น

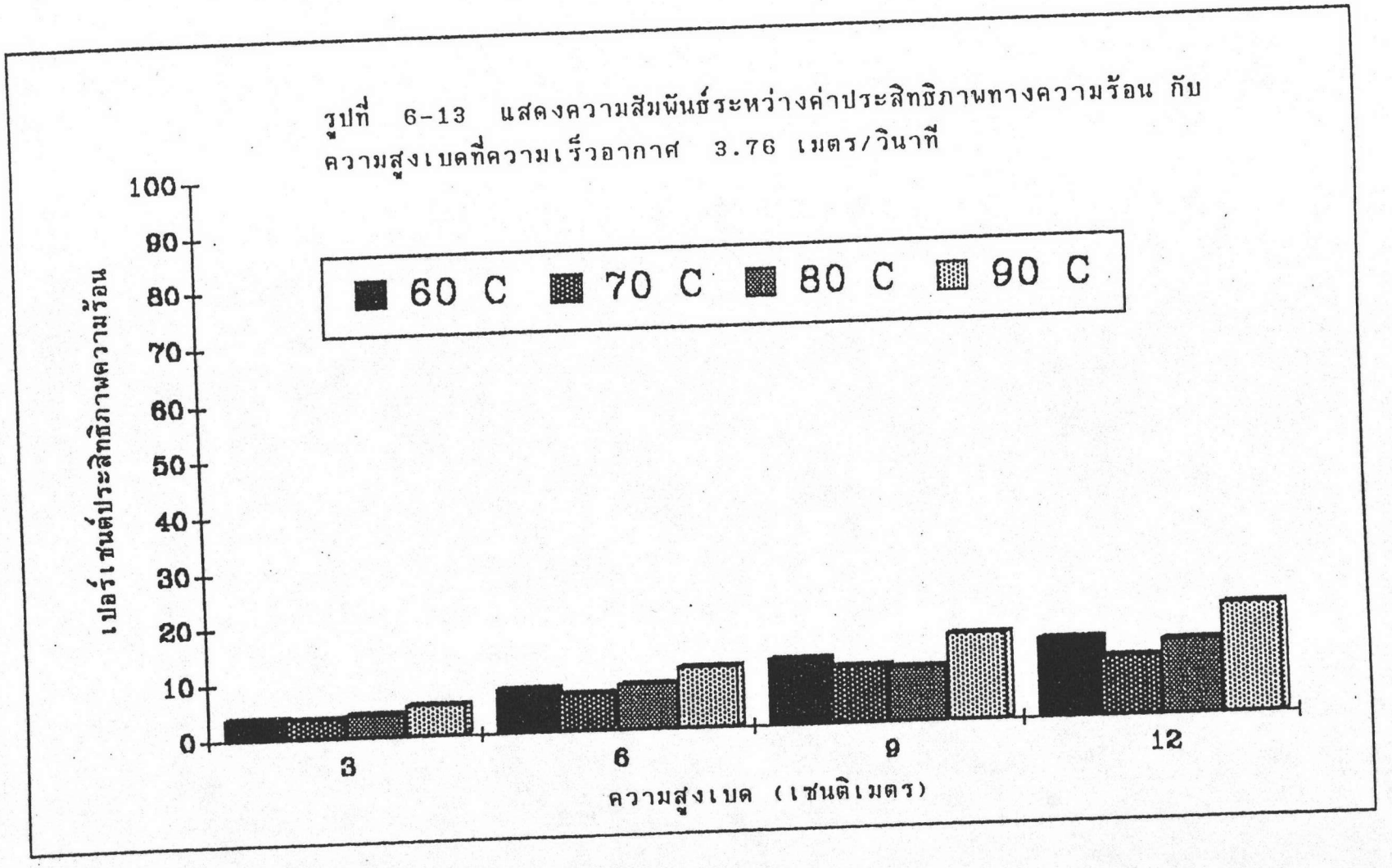
รูปที่ 6-11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 2.66 เมตร/วินาที



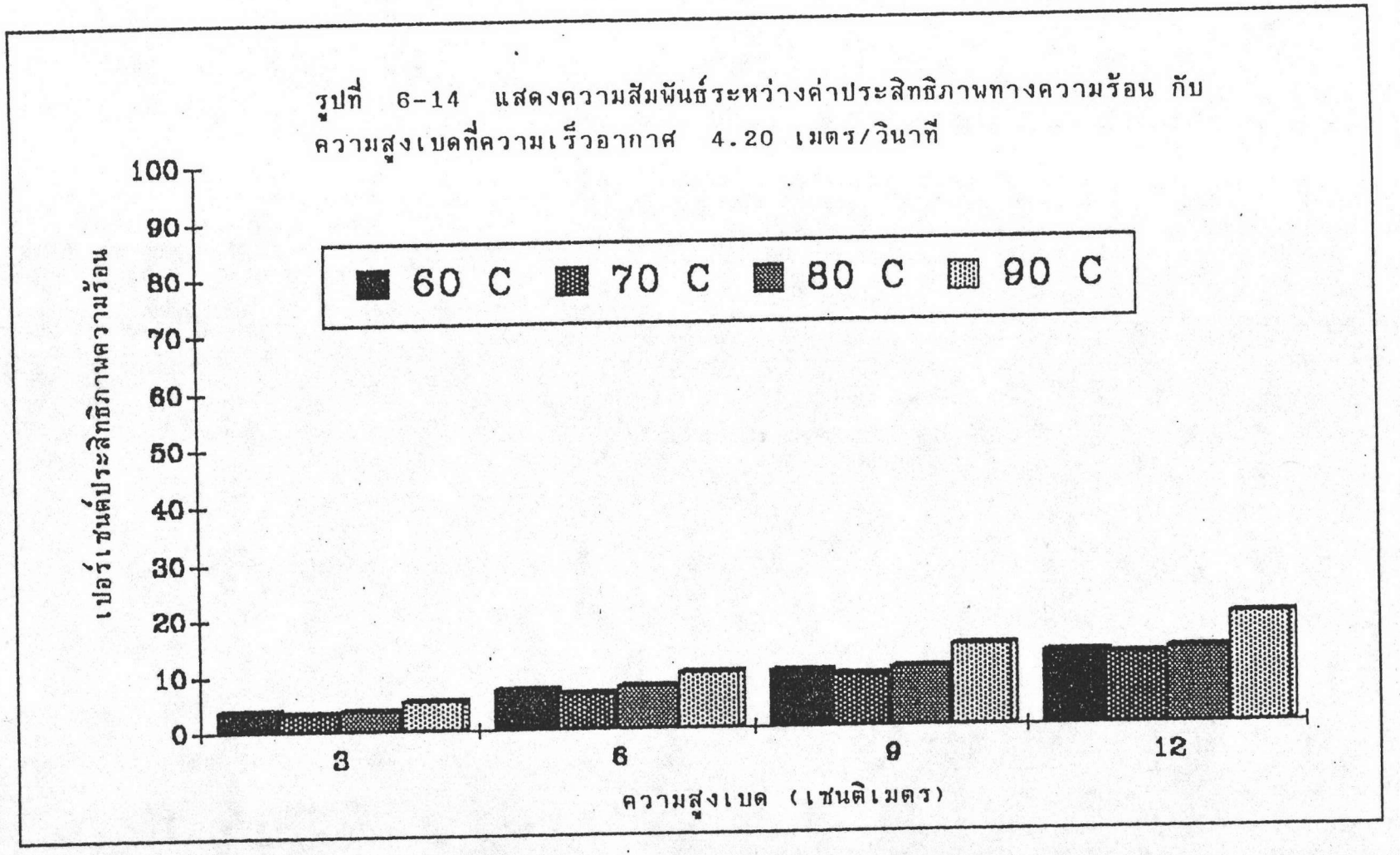
รูปที่ 6-12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 3.26 เมตร/วินาที



รูปที่ 6-13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 3.76 เมตร/วินาที



รูปที่ 6-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพทางความร้อน กับความสูงเบดที่ความเร็วอากาศ 4.20 เมตร/วินาที



6.4 การเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งข้าวโพดแบบต่างๆ

การอบแห้งข้าวโพดในประเทศไทยสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การอบแห้งโดยวิธีผึ่งแดดและการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

6.4.1 การอบแห้งแบบผึ่งแดด

การอบแห้งวิธีนี้จะใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นตัวลดความชื้นเมล็ดข้าวโพดลง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดลงได้ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนแล้ว วิธีการอบแห้งแบบผึ่งแดดจะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยวิธีนี้ก็มีข้อจำกัดคือ

1. ต้องใช้เวลานานในการผึ่งแดด ซึ่งโดยปกติการจะลดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดจาก 25% ลงเหลือ 14% นั้นจะต้องใช้เวลาผึ่งแดดมากกว่าหนึ่งวัน หรือถ้าเป็นวันที่มีแสงแดดดีมาก การผึ่งแดดก็จะใช้เวลาอย่างน้อย 9 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่นานมากเมื่อเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อน

2. เนื่องจาก การอบแห้งโดยวิธีผึ่งแดด ต้องขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ ทำให้ไม่สามารถวางแผนการอบแห้งและควบคุมได้อย่างแน่นอน ยกตัวอย่างเช่น ในวันที่แสงแดดจัด การอบแห้งจะสำเร็จได้ในวันเดียว แต่ถ้าเป็นวันที่แสงแดดไม่ดี เวลาที่ใช้ในการอบแห้งก็จะยืดยาวออกไปอีก นอกจากนี้ฤดูกาลเก็บเกี่ยวข้าวโพดยังเป็นช่วงฤดูฝนอีกด้วย ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการอบแห้งแบบผึ่งแดดได้อย่างเต็มที่

3. การอบแห้งแบบผึ่งแดดนี้จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการผึ่งเป็นจำนวนมาก ทำให้พื้นที่เหล่านี้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้ นอกจากนี้ถึงแม้การอบแห้งด้วยวิธีนี้จะประหยัดค่าใช้จ่ายในเรื่องพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งก็ตาม แต่ก็ต้องใช้แรงงานในการนำเมล็ดข้าวโพดออกผึ่งและเก็บซึ่งถ้าสภาพดินฟ้าอากาศไม่เหมาะสมแล้ว การอบแห้งข้าวโพดครั้งหนึ่งๆ ก็จะต้องมีการนำเข้าเก็บและนำออกผึ่งหลายครั้งกว่าข้าวโพดจะมีความชื้นต่ำกว่า 14%

4. คุณภาพของเมล็ดข้าวโพดไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากต้องมีการเกลี่ยและพลิกหน้าของเมล็ดข้าวโพด ทำให้เมล็ดข้าวโพดบางส่วนแห้งเพียงด้านเดียว อีกทั้งการอบแห้งวิธีนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ ซึ่งถ้าเป็นช่วง

ที่สภาพดินฟ้าอากาศไม่เหมาะสมอาจจะต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดขึ้นของเชื้อราได้

6.4.2 การอบแห้งแบบใช้อากาศร้อน

การอบแห้งวิธีนี้จะใช้อากาศร้อนเป่าผ่านเครื่องอบแห้งที่บรรจุเมล็ดข้าวโพดเอาไว้ ตัวอย่างของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ ได้แก่

1. เครื่องอบแห้งแบบเต็มห้อง (full bin) ลักษณะเครื่องอบแห้งชนิดนี้ จะเป็นห้องใหญ่ บรรจุเมล็ดข้าวโพดในปริมาณมากจนเกือบเต็ม และมีการเป่าอากาศผ่านเข้าไปในห้อง ซึ่งอุณหภูมิของอากาศที่ใช้มักจะสูงกว่าอุณหภูมิอากาศขนาดนั้นประมาณ 10-15 ° ซ อัตราการไหลของอากาศจะเป็นไปอย่างช้าๆ (1ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที ต่อข้าวโพด 27 กิโลกรัม) เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้เวลาในการอบแห้งหลายวัน และเมื่อการอบแห้งสิ้นสุดลงโดยเมล็ดข้าวโพดมีความชื้นลดลงมาถึงจุดที่ต้องการแล้ว ก็จะใช้ห้องอบแห้งนี้เป็นที่เก็บเมล็ดข้าวโพดไปด้วย

2. เครื่องอบแห้งแบบชั้น (layer) เครื่องอบแห้งชนิดนี้มีลักษณะการอบแห้งเช่นเดียวกับเครื่องอบแห้งแบบเต็มห้อง เพียงแต่จะมีการแบ่งข้าวโพดภายในห้องออกเป็นชั้นๆ

3. เครื่องอบแห้งแบบ batch-in-bin ลักษณะเครื่องอบแห้งชนิดนี้จะคล้ายกับเครื่องอบแห้งแบบเต็มห้อง จะแตกต่างกันตรงที่ปริมาณข้าวโพดที่จะอบแห้งมีจำนวนน้อยกว่า โดยมีอุณหภูมิอากาศร้อนที่ไหลผ่านเข้าไปในห้องอบแห้งประมาณ 50-75 ° ซ และอัตราการไหลของอากาศมีค่า 8-15 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อ 27 กิโลกรัมข้าวโพด การอบแห้งข้าวโพดภายเครื่องชนิดนี้จะใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมงในแต่ละครั้ง และเมื่อการอบแห้งสิ้นสุดลง จะทำการย้ายเมล็ดข้าวโพดไปเก็บไว้ในที่เก็บต่างหาก

4. เครื่องอบแห้งแบบคอลัมน์ เครื่องอบแห้งชนิดนี้จะใช้อุณหภูมิอากาศร้อนประมาณ 50-80 ° ซ โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 50-100 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีต่อข้าวโพด 27 กิโลกรัม และใช้เวลาในการอบแห้ง 2-3 ชั่วโมง

จะเห็นได้ว่าการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนนี้จะสามารถกำจัดข้อเสียของการอบแห้งแบบผึ่งแดดที่ได้กล่าวมาแล้วได้ ดังจะเห็นได้จาก

1. เนื่องจากมีการเป่าอากาศร้อนผ่านเมล็ดข้าวโพด ทำให้อัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าวโพดมีค่าสูง ดังนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งสั้น

2. ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ ทำให้สามารถวางแผนการอบแห้งและควบคุมความชื้นของเมล็ดข้าวโพดได้

3. ไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่มาก จะใช้เพียงพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องเท่านั้น

อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของวิธีการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนคือ ต้องเสียค่าใช้จ่ายในรูปของเชื้อเพลิงหรือพลังงานในการผลิตอากาศร้อน ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าการอบแห้งแบบผึ่งแดด แต่จากการพัฒนาของเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีการนำเอาวัสดุส่วนที่เหลือจากข้าวโพด เช่น ซังข้าวโพด มาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตพลังงานความร้อนได้ ก็ทำให้วิธีการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนนี้น่าสนใจยิ่งขึ้น และเกษตรกรก็มีแนวโน้มในการนำเครื่องอบแห้งชนิดนี้ไปใช้มากขึ้นด้วย

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดเป็นเครื่องอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนชนิดหนึ่ง ซึ่งมีข้อดีกว่าเครื่องอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนชนิดอื่น คือ

1. คุณภาพของเมล็ดข้าวโพดมีความสม่ำเสมอกว่า เนื่องจากมีการผสมกันของเมล็ดข้าวโพดเป็นอย่างดีและมีอุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วทั้งเบด ในขณะที่เครื่องอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนชนิดอื่น เช่นชนิดให้อากาศร้อนไหลผ่านเบดโดยไม่มีการฟลูอิดไดซ์ เมล็ดข้าวโพดจะไม่มีการเคลื่อนไหวภายในเครื่องอบแห้ง ดังนั้นเมล็ดข้าวโพดส่วนที่สัมผัสกับอากาศร้อนก่อนส่วนอื่นจะแห้งเร็วกว่า และมีอุณหภูมิสูงกว่า ในลักษณะเช่นนี้ ทำให้อุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดข้าวโพดภายในเครื่องมีค่าไม่สม่ำเสมอ และมีผลทำให้เมล็ดข้าวโพดที่ได้ภายหลังการอบแห้งมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอด้วย

2. การอบแห้งในฟลูอิดไดซ์เบดจะใช้เวลาสั้นกว่าการอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีการถ่ายเทมวลและพลังงานระหว่างเมล็ดข้าวโพดกับอากาศร้อนได้สูงกว่า และจากการที่เมล็ดข้าวโพดมีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ภายในเบด ทำให้สามารถใช้อุณหภูมิอากาศร้อนได้สูงกว่าเครื่องอบแห้ง

แบบใช้อากาศร้อนชนิดอื่นๆ ด้วย

จากเหตุผลทั้ง 2 ประการที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีความโดดเด่นกว่าเครื่องอบแห้งแบบใช้อากาศร้อนชนิดอื่น แต่จากการที่ราคาค่าใช้จ่ายในการอบแห้งยังคงสูงกว่าวิธีการอบแห้งแบบผึ่งแดด จึงยังต้องมีการพัฒนาเครื่องอบแห้งชนิดนี้ต่อไป