บทที่ 6

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

6.1 การอบแห้ง

งานด้านการอบแห้งได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การอบแห้งด้วยวิธีการผึ่งแดดบนลานตาก และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น จุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และศึกษาการยับยั้งการเพิ่มปริมาณของสารพิษแอฟลาทอกซิน B_1 หลังเก็บกักไว้นาน 1 เดือนของทั้ง 2 วิธี

6.1.1 การอบแห้งด้วยวิธีการผึ่งแดดบนลานตาก* ข้าวโพดที่ใช้ผึ่งแดดมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 26.8 จำนวน 590 กก. ในวันที่มีแดดจัด เกลี่ยข้าวโพดบนลานให้มีความหนา 2 ซม. เริ่มผึ่งแดดตั้งแต่เวลา 8.00 ถึง 17.00 น. สามารถลดความชื้นจากร้อยละ 26.8 เหลือ 14.5 ภายในเวลา 9 ชม. โดยทั่ว ๆ ไปการลดความชื้นดังกล่าวจะต้องใช้เวลามากกว่า 1 วัน เนื่องจากแสงแดดมีความร้อนไม่สม่ำเสมอตลอดวัน การทดลองในวันนั้นเป็นวันที่การผึ่งแดดให้ผลดีที่สุด เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบหลายชั้น ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งด้วยวิธีนี้เท่ากับ 0.18 บาท/กก. (รูปที่ 6.3) ซึ่งพบว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นได้อาศัยแสงแดด ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สำหรับการอบแห้ง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่ แต่เสียค่าใช้จ่ายอื่น ๆ อาทิเช่น ค่าน้ำมันของรถแทรคเตอร์ที่ใช้เกลี่ยและพลิกหน้าข้าวโพด การชั่งน้ำหนักข้าวโพด และการผ่า-เทข้าวโพด เหล่านี้เป็นค่าใช้จ่ายรองจึงทำให้ค่าใช้จ่ายดังกล่าวต่ำ (ค่าใช้จ่ายดังกล่าวไม่รวมค่าที่ดินและสิ่งก่อสร้าง) แต่เมื่อพิจารณาถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 หลังเก็บกักนาน 1 เดือน พบว่ามีการเพิ่มขึ้นจากเดิม 59 ppb เป็น 117 ppb คิดเป็นร้อยละ 100 (รูปที่ 6.4) อาจมีสาเหตุมาจาก

- ความร้อนจากแสงแดดไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งวัน การลดความชื้นจะเกิดได้ดีที่สุดในช่วงเวลา 12.00 ถึง 14.00 น. เนื่องจากเป็นเวลาที่มีแดดจัดและแสงแดดตั้งฉากกับลานตากได้มากที่สุด ทำให้ระยะทางการถ่ายเทความร้อนจากแสงแดดไปยังเมล็ดข้าวโพด

* ประสบปัญหาเกี่ยวกับดินฟ้าอากาศ และความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นประมาณร้อยละ 25 มีปริมาณน้อย

เกิดขึ้นได้เร็วกว่าช่วงเวลาอื่น ๆ ทำให้การแห้งเกิดขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งเมล็ดข้าวโพด

- ขณะที่มีการเกลี่ยและพลิกหน้าข้าวโพด ล้อรถแทรคเตอร์จะไปทับเมล็ดข้าวโพด ทำให้เกิดการแตกร้าวภายในเมล็ด หรือทำให้เมล็ดแตกหัก

- เมล็ดข้าวโพดบางส่วนแห้งเพียงด้านเดียว โดยเฉพาะบริเวณที่ติดพื้นซีเมนต์

6.1.2 การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น

6.1.2.1 อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า จากปัญหาที่ข้าวโพดมีเชื้อราในตระกูล Aspergillus flavus ที่สามารถผลิตสารพิษแอฟลาทอกซิน (ได้มากที่สุด) อยู่ตามเล็ดข้าวโพดมากบ้างน้อยบ้าง ตามสภาพพื้นที่ที่ปลูก เพื่อเป็นการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราที่มีอยู่เหล่านี้ หนทางหนึ่งที่อาจทำได้คือ การอบแห้งข้าวโพดด้วยอากาศที่มีอุณหภูมิสูงพอสมควร ในช่วงเวลาหนึ่งที่เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ (42) แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ปริมาณแป้งที่มีอยู่ในข้าวโพดลดลง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 (43)

ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งข้าวโพดและปริมาณแป้งที่มีอยู่ในข้าวโพด

อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง (°ซ)	อุณหภูมิข้าวโพดหลังการอบแห้ง (°ซ)	ปริมาณแป้งในข้าวโพด (%)
23	-	62.2
60	48	61.2
86	65	60.2
114	77	57.5
141	92	48.8

หรือทำให้เมล็ดข้าวโพดเสียรูปทรงไป เช่น เมล็ดลีบลง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.2 (6)

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Volume shrinkage ที่เกิดขึ้นกับข้าวโพดเมื่ออบแห้ง ข้าวโพดที่มีความชื้นเริ่มต้นต่าง ๆ กันจนเหลือความชื้นร้อยละ 12

ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้น (%)	Volume shrinkage (%)
30	29.1
25	22.5
20	14.5
17	9.1

ดังนั้นการทดลองจึงต้องเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมคือประมาณ 70 ถึง 110 °ซ ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิสูงพอที่จะยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทั่ว ๆ ไปได้ นอกจากนี้แล้วข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งไม่ควรมีความชื้นเกินกว่าร้อยละ 14.5 ซึ่งเป็นขนาดความชื้นมาตรฐานที่ใช้ซื้อข้าวโพดในท้องตลาดกัน (ภาคผนวก ก) แต่ถ้าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 14.5 พ่อค้าก็รับซื้อแต่ผู้ขายจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดให้แห้ง

จากรูปที่ 6.1 ได้แสดงความชื้นหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งข้าวโพดที่ทดลองมีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. และชั้นล่าง 20 ซม. อัตราการป้อนข้าวโพดตั้งแต่ 44.5 ถึง 102 กก./ชม. ความเร็วอากาศมีขนาด 13354.4 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง ณ อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งจะมีปริมาณความชื้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มอัตราการป้อนของเมล็ดข้าวโพด ทั้งนี้ขึ้นกับเวลาที่เมล็ดข้าวโพดอยู่ในเบดน้อยลง ทำให้ความชื้นที่อยู่ในเมล็ดข้าวโพดมีช่วงเวลาที่จะระเหยออกจากเบดไปกับอากาศร้อนลดลง และถ้าพิจารณาที่อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวโพดเดียวกัน อัตราการระเหยของความชื้นสูงเมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนเพิ่มสูงขึ้น สังเกตได้จากความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นน้อยลงตามลำดับในทุกอัตราการป้อนของเมล็ดข้าวโพด เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดได้รับพลังงานความร้อนจากอากาศร้อนที่ป้อนเข้าสู่เบดมากขึ้น พลังงานความร้อนจำนวนนี้ไปทำให้เมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และกระตุ้นทำให้ความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดมีโอกาสแพร่กระจายสู่ผิวหน้าได้เร็วขึ้นด้วย (43, 44, 45) ซึ่งสังเกตจากประสิทธิภาพของการใช้พลังงานอากาศร้อน

จากรูปที่ 6.2 จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศร้อนสูงขึ้น แนวโน้มของประสิทธิภาพทางความร้อนภายในเบดสูงขึ้นด้วย ซึ่งถ้าใช้อัตราการป้อนที่ 81.9 กก./ชม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 90 °ซ จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนถึงร้อยละ 20.0 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้ พบว่าที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีแนวโน้มมากขึ้นตามไปด้วย (รูปที่ 6.3) เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของวิธีการผึ่งแดดแล้วยังสูงอยู่มาก จึงควรปรับปรุงเครื่องอบแห้งนี้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งได้ถูกนำมาเก็บไว้ในโกดังเป็นเวลานาน 1 เดือน เพื่อศึกษาถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ตารางที่ จ.2 แสดงปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซิน B_1 ในข้าวโพดที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนตั้งแต่ 70 ถึง 110 °ซ ส่วนข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 80 °ซ กับ 110 °ซ มิได้นำมาวิเคราะห์เนื่องจากความชื้นของเมล็ดข้าวโพดหลังการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกับเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 70 °ซ กับ 110 °ซ ตามลำดับ จะพบว่าเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 110 °ซ มีความชื้นร้อยละ 11.36 และ 14.54 อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวโพด 44.5 และ 56.0 กก./ชม. ตามลำดับ จะมีปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 เพิ่มขึ้นร้อยละ 9 และ 19 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีผึ่งแดดเมล็ดข้าวโพดมีปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 100 (ที่ความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งร้อยละ 14.5) ทั้งนี้เนื่องจากข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบหลายชั้น ที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 110 °ซ มีความชื้นน้อยกว่าที่อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าจุดอื่น ๆ และวิธีการผึ่งแดด และที่อุณหภูมิ 110 °ซ เมื่อเมล็ดข้าวโพดได้รับพลังงานความร้อนส่งมายังภายในเมล็ดข้าวโพด จะทำให้เมล็ดข้าวโพดมีอุณหภูมิสูงกว่า 60 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่มีการเจริญเติบโตของเชื้อราที่ค่อนข้างน้อย (46, 47, 48) จึงเป็นข้อดีอีกประการหนึ่งของการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน

แต่ถ้าเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งแล้วมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 14.5 เมื่อนำมาเก็บกักไว้นาน 1 เดือน ปริมาณสารแอฟลาทอกซิน B_1 เพิ่มขึ้นสูงอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 6.4) ไม่ว่าอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิ 110 °ซ ก็ตาม เนื่องมาจากอัตราการป้อนเมล็ดข้าวโพดมาก ทำให้ปริมาณความชื้นใน interstitial gas มีปริมาณมากกว่าในกรณีใช้อัตราการป้อนเมล็ดข้าวโพดต่ำ ทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างฟองอากาศกับเมล็ดข้าวโพด และระหว่าง

ฟองอากาศกับ interstitial gas ลดลง (49) จึงเป็นเหตุให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดยังไม่สูงพอที่จะยับยั้งการเจริญของเชื้อรา

เมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 110 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพด 44.5 และ 56.0 กก./ชม. จะได้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 11.36 และ 14.54 เมื่อนำเมล็ดข้าวโพดมาตรวจดูจะพบว่าเมล็ดจะลีบ สีเหลืองซีดลง เกิดจากอัตราการระเหยของน้ำเร็วมากจนทำให้รูปทรงของเมล็ดข้าวโพดเดิมเสียไป นอกจากนี้สารที่เป็นประโยชน์บางอย่างอาจเปลี่ยนสภาพได้ (6, 43) จึงไม่ควรอบแห้งที่มีอัตราการระเหยน้ำสูง จากรูปที่ 6.1 จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่จะมีความชื้นสุดท้ายร้อยละ 14.5 สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การควบคุมอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า หรืออัตราการป้อนเมล็ดข้าวโพด ถ้าพิจารณาความเหมาะสมของสภาวะกวรทำงานแล้ว ควรพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายและปริมาณสารแอฟลาทอกซิน B_1 ที่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากข้าวโพดมีราคาซื้อขายไม่สูงมากในตลาดโลก จากตัวแปรต่าง ๆ ที่จัดมาร่วมพิจารณาแล้วจะมีความสำคัญกว่าอุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้ สมควรใช้อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าประมาณ 95 °ซ ซึ่งจะไม่ทำให้เมล็ดข้าวโพดเสื่อมคุณภาพ ที่อัตราการป้อนเมล็ดข้าวโพดไม่สูงเกินไป อีกทั้งปริมาณของแอฟลาทอกซิน B_1 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

6.1.2.2 <u>การศึกษาอิทธิพลของความสูงของเบดที่ใช้อบแห้งและการยับยั้งการเพิ่มปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ในเมล็ดข้าวโพด</u> ลักษณะภายในของระบบก๊าซฟลูอิไดเซชันมีกลไกซับซ้อน เป็นสิ่งยากที่นักวิทยาศาสตร์จะสามารถพบรายละเอียดที่แท้จริงได้ ภายในเบดของก๊าซฟลูอิไดเซชันนั้นประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ๆ คือ ส่วนที่เป็นฟองอากาศซึ่งเกิดจากปริมาณอากาศที่เหลือ (excess) จากการพยุงเมล็ดข้าวโพด ส่วนที่มีแต่เมล็ดข้าวโพดลอยตัวอยู่ จะเรียกว่า เบดหนาแน่น (dense bed) และส่วนสุดท้ายจะอยู่ระหว่างฟองอากาศกับเบดหนาแน่น คือ interstitial gas (49) ก๊าซภายในเบดจะมีการเคลื่อนที่หมุนเวียนไปมาระหว่างส่วนทั้งสาม ในระหว่างที่มีการระเหยของความชื้นจากเมล็ดข้าวโพด ฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในเบดย่อมต้องมีส่วนรับถ่ายโอนจกาเบดหนาแน่นไปบางส่วน ดังนั้นการระเหยของความชื้นควรมีปริมาณสูงขึ้น ถ้าฟองอากาศสามารถลอยผ่านเบดได้นานขึ้น จากระดับความสูงของเบดที่เพิ่มจากระดับ 16 ซม. ไปจนถึงระดับความสูง 24 ซม. ควรมีส่วนช่วยให้การระเหยของความชื้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง แต่จากผลการทดลองตามรูปที่ 6.6 กลับพบว่า ความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งที่ผ่านชั้นความสูงของเบดที่แตกต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกัน เช่น การทดลอง

ที่อัตราการป้อนเมล็ดข้าวโพด 51.9 กก./ชม. ความสูงของเบดที่ระดับ 16, 18, 20, 22 และ 24 ซม. ความชื้นของข้าวโพดที่ออกจากเบดมีปริมาณร้อยละ 13.63, 13.88, 13.27, 14.68 และ 14.17 ตามลำดับ แต่เมื่อทำการคำนวณทางสถิติกลับพบว่า ความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งของแต่ละอัตราการป้อนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ในภาคผนวก ช) แสดงว่าความสูงของเบดย่อมมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าวโพดอย่างแน่นอน อาจเกิดฟองอากาศในเบดมีขนาดใหญ่ขึ้น (เมื่อความสูงของเบดเพิ่มขึ้น) ทำให้การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างฟองอากาศกับเมล็ดข้าวโพด และระหว่างฟองอากาศกับ interstitial gas ลดลง เนื่องจากใน interstitial gas มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (49) ถ้าฟองอากาศโตเวลาแตกตรงบริเวณผิวหน้าของเบดจะมีแรงส่งให้เมล็ดข้าวโพดกระเด็นได้แรงและไกล ส่งผลให้เมล็ดข้าวโพดออกจากเบดได้เร็วกว่าปกติ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เวลาตกค้างของเมล็ดข้าวโพดในเบดมีแนวโน้มลดลง ดังผลการทดลองที่อัตราการป้อนเมล็ดข้าวโพด 78.2 กก./ชม. ที่ความสูงของเบด 16, 18, 20, 22 และ 24 ซม. มีเวลาตกค้างของเมล็ดข้าวโพดในเบดลดลงดังนี้ 32.9 , 34.6 , 33.3 , 33.4 และ 31.7 นาที ตามลำดับ

ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบก็มีแนวโน้มลดลงเกือบทุกอัตราการป้อน เมื่อความสูงของเบดเพิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งที่สูงขึ้นเมื่อความสูงของเบดเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลองในรูปที่ 6.6 ที่อัตราการป้อนข้าวโพด 84.6 กก./ชม. ความสูงของเบด 16 ซม. ได้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงถึงร้อยละ 17.17 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสม เพราะความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งที่ได้รับอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับทางการค้าคือ ต่ำกว่าร้อยละ 14.5 เมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายสำหรับการอบแห้งปรากฏว่าเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในการทดลองชุดนี้ คือประมาณ 0.54 บาทต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม แต่ยังสูงกว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ทำแห้งด้วยวิธีผึ่งแดด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 6.7

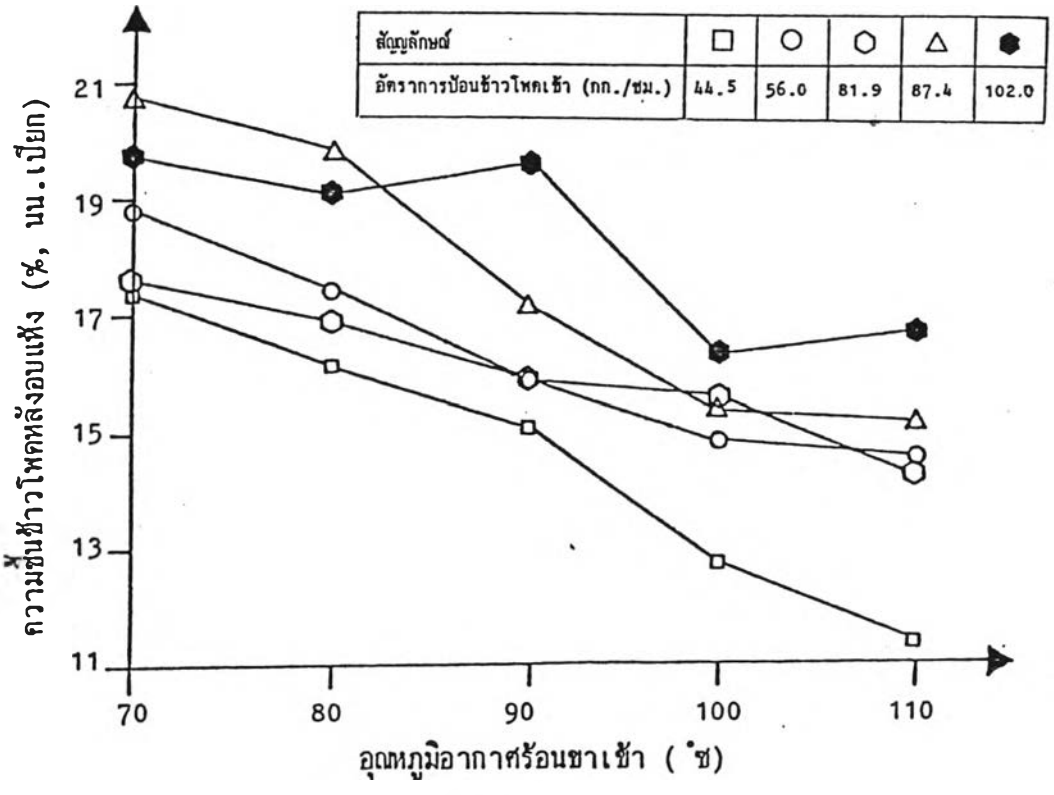
เมล็ดข้าวโพดหลังจากอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ กันแล้ว ถูกนำไปเก็บไว้ในโกดังเป็นเวลา 1 เดือน เพื่อใช้ศึกษาการเพิ่มปริมาณของสารแอฟลาทอกซิน B_1 รูปที่ 6.8 แสดงปริมาณของสารแอฟลาทอกซิน B_1 ที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง เห็นได้ชัดว่าเมล็ดข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งมีเวลาตกค้างในเครื่องอบนาน (71.6 นาที) และอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดในระหว่างอบแห้งสูงพอ (ประมาณ 71 °ซ) จะทำให้อัตราการเพิ่มปริมาณของ

สารพิษนี้น้อยมาก ประมาณร้อยละ 23 จากปริมาณเริ่มต้น แต่ถ้าเมล็ดข้าวโพดมีเวลาตกค้างในเบดน้อยและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวโพดต่ำแล้ว ปริมาณสารพิษจะเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 65 ขึ้นไป แสดงว่าพลังงานความร้อนมีส่วนทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราหยุดชะงักได้ ถ้าเมล็ดข้าวโพดนั้นได้รับพลังงานความร้อนจำนวนหนึ่งเป็นเวลานาน

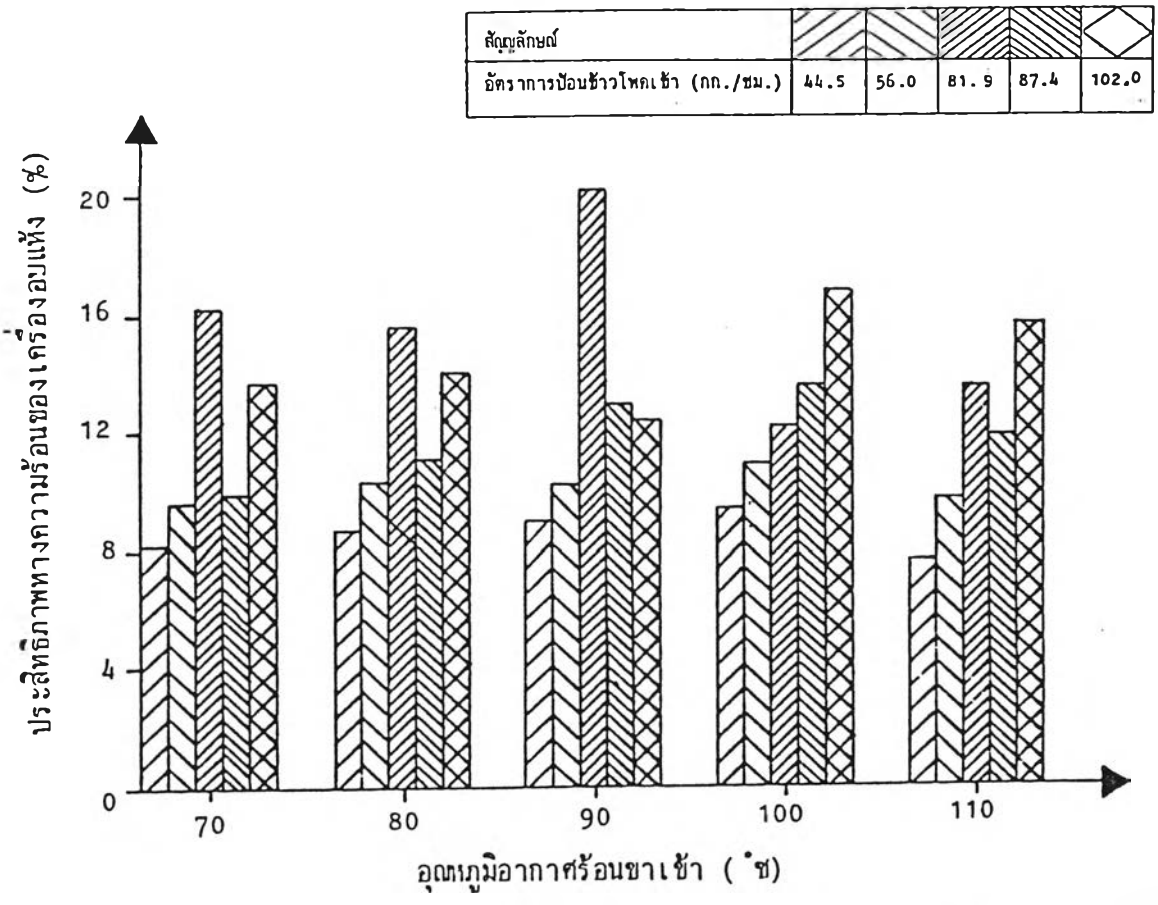
6.1.2.3 <u>การอบแห้งเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้นเริ่มต้นต่ำ</u> (รูปที่ 6.9-6.11) เมล็ดข้าวโพดที่ความชื้นสูง ๆ นั้น จำเป็นต้องปล่อยให้เมล็ดข้าวโพดตกค้างในเครื่องอบแห้งนานขึ้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นในระดับซื้อขายในท้องตลาด จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งต่ำ ถ้าหากเริ่มต้นด้วยความชื้นของเมล็ดข้าวโพดน้อย ๆ อาจจะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของการอบแห้งสูงขึ้นได้ เพราะสามารถเพิ่มอัตราการป้อนข้าวโพดได้มากขึ้น กล่าวคือ จากอัตราการป้อน 44.74 กก./ชม. ถึง 111.40 กก./ชม. ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 12.5 โดยน้ำหนักเปียก ในทุกอัตราการป้อนและทุกความสูงของเบด แต่จากกราฟรูปที่ 6.9 พบว่า แทนที่ความสูงของเบดชั้นล่าง 24 ซม. น่าจะมีความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งน้อยกว่ากรณีความสูงเบด 16 และ 20 ซม. อาจเป็นเพราะความชื้นของข้าวโพดที่เริ่มต้นมีค่าต่ำอยู่แล้ว ทำให้การแพร่ของน้ำจากภายในเมล็ดออกมาที่ผิวจะต้องใช้เวลานานพอสมควร เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำจะต้องเอาชนะแรงตึงผิวของของเหลวซึ่งอยู่ภายในเมล็ดข้าวโพด จึงจะสามารถดึงน้ำจากภายในออกมาได้ แต่การใช้ความสูงของเบดที่สูงจะทำให้มีข้าวโพดภายในมากขึ้น ดังนั้นฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะค่อย ๆ เกิดการรวมตัวกันขึ้น จนกลายเป็นฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่และมีพลังงานจลน์ภายในเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณส่วนบนของฟองอากาศสามารถรับเมล็ดข้าวโพดได้จำนวนมาก ฉะนั้นเมื่อฟองอากาศลอยขึ้นมาถึงผิวหน้าของเบดจะเกิดการแตกตัว ส่งแรงให้เมล็ดข้าวโพดกระเด็นได้แรงและไกลกว่ากรณีเบดที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า เนื่องจากในเบดที่มีความหนาแน่นน้อย (เช่นที่ความสูงเบด 16 และ 20 ซม.) ขนาดของฟองอากาศจะมีขนาดเล็กกว่า ทำให้พลังงานจลน์ภายในฟองอากาศมีค่าน้อย ดังนั้นฟองอากาศเกิดการแตกตัวจะไม่สามารถทำให้เมล็ดข้าวโพดกระเด็นไปได้ไกล แต่กลับไหลลงมาทางด้านข้างของฟองอากาศลงมาในเบดใหม่ เป็นเหตุให้เวลาตกค้างนานกว่ากรณีเบดสูง 24 ซม. และความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งมีค่าต่ำกว่ากรณีเบดสูง 24 ซม. เช่นกัน

เมื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง จะ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพจากร้อยละ 8 เป็น 18 โดยเฉลี่ย เมื่ออัตราการป้อนข้าวโพดสูงขึ้นในทุกความสูงของเบด ถึงอย่างไรก็ตามแม้ว่าประสิทธิภาพที่เพิ่มสูงขึ้น แต่การคำนวณค่าใช้จ่ายของการอบแห้งจะยังมีราคาสูงกว่าการทำแห้งด้วยการผึ่งแดดอยู่มากพอสมควร สาเหตุสำคัญก็คือ เชื้อเพลิงที่ให้ความร้อน ใช้เชื้อเพลิงชนิดมีราคาแพงคือ ก๊าซหุงต้ม

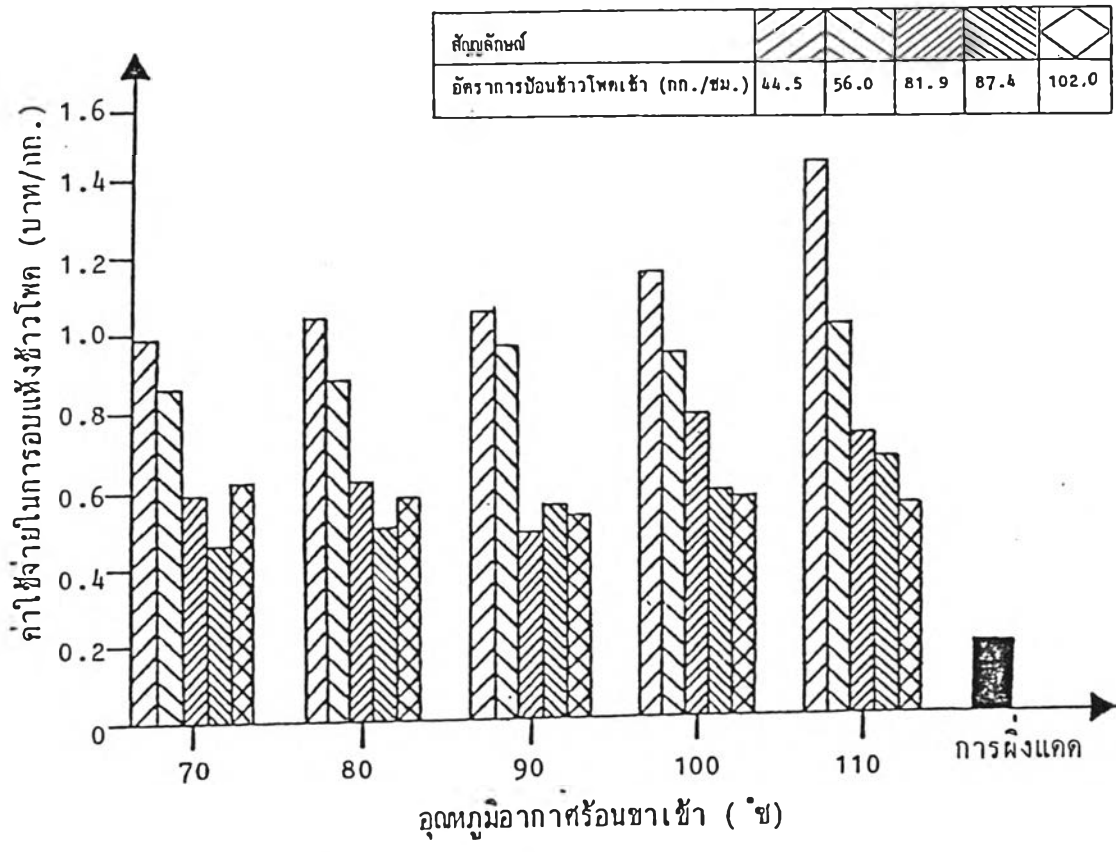
ในงานส่วนนี้จะไม่มีการวิเคราะห์หาปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 เนื่องจากความชื้นของข้าวโพดที่อยู่ในจุดสนใจของพ่อค้าทั้งในและต่างประเทศคือ ร้อยละ 14.5 ดังนั้นจึงมีการศึกษาเฉพาะความชื้นที่อยู่ในระดับร้อยละ 14.5 ขึ้นไป การลดความชื้นลงต่ำกว่าร้อยละ 14.5 เป็นการสูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์และค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เมื่อต้องการเก็บข้าวโพดไว้เพียงระยะเวลาหนึ่งเพื่อรอการขายหรือตรึงราคาขาย แต่ถ้าต้องการเก็บข้าวโพดไว้หลายปีจะต้องลดความชื้นลงให้เหมาะสมกับจำนวนปีที่ต้องการเก็บรักษาไว้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.8



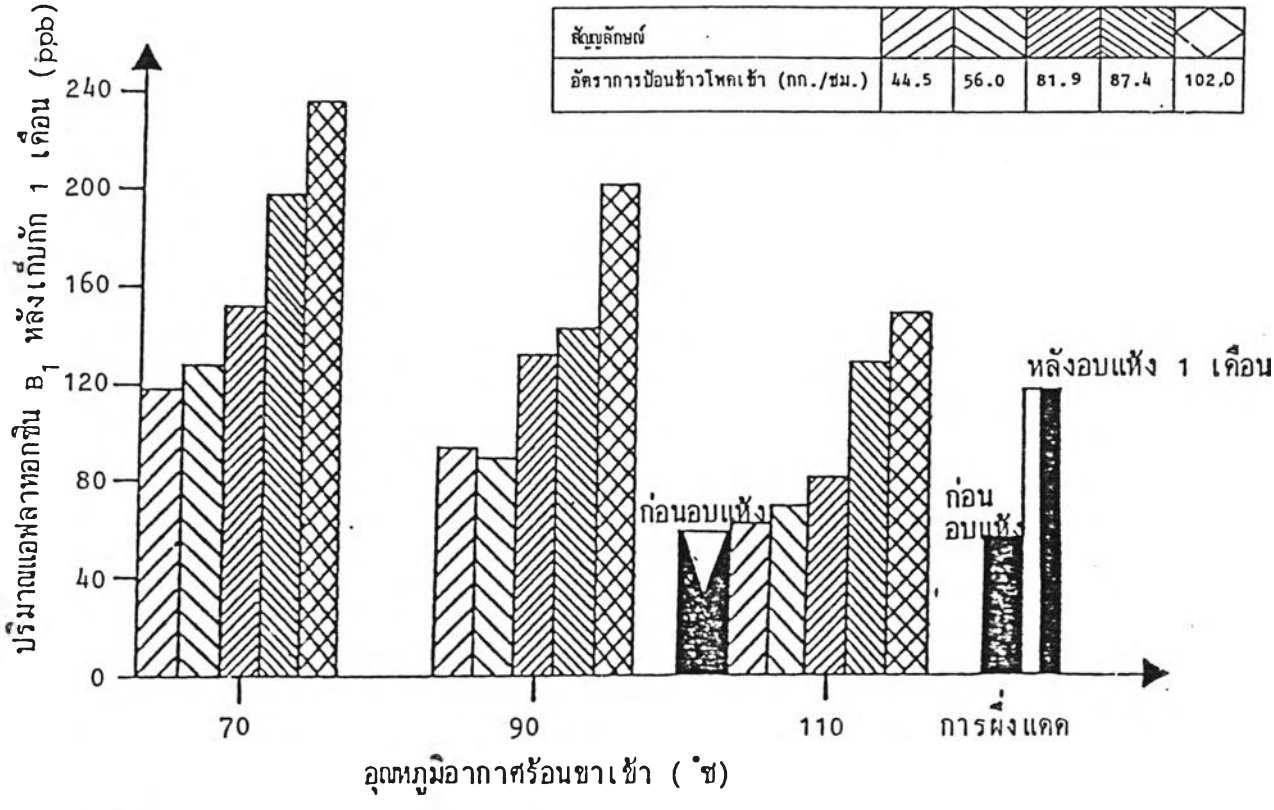
รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้ง (%, นน.เปียก) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ



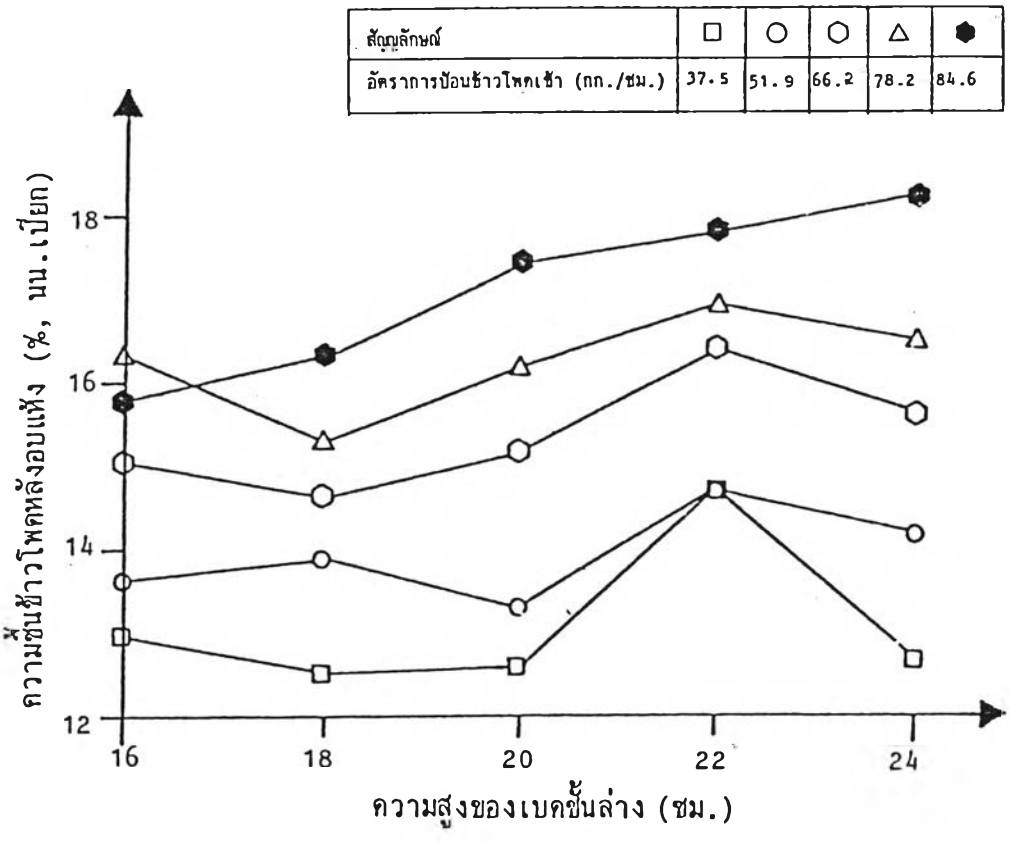
รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (%) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ



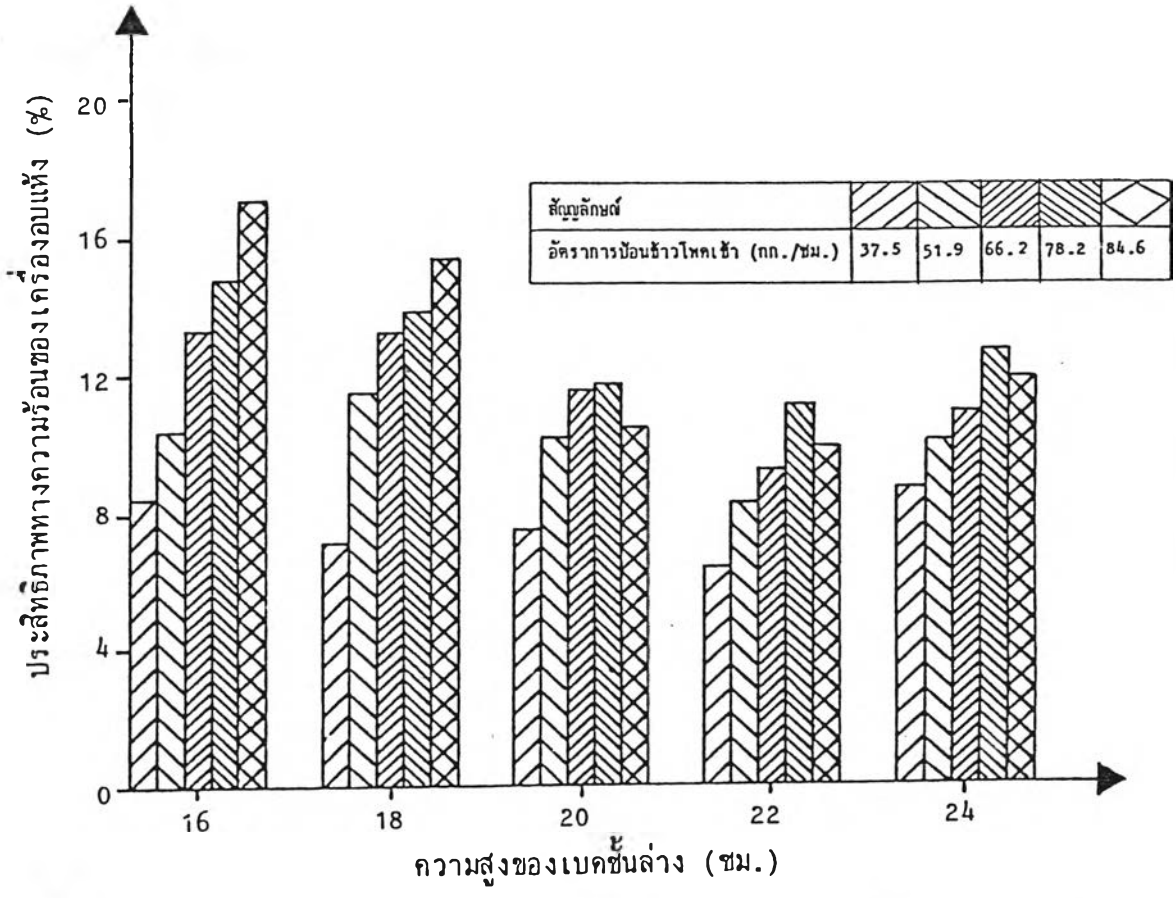
รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวโพดแบบการผิ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (บาท/กก.) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ



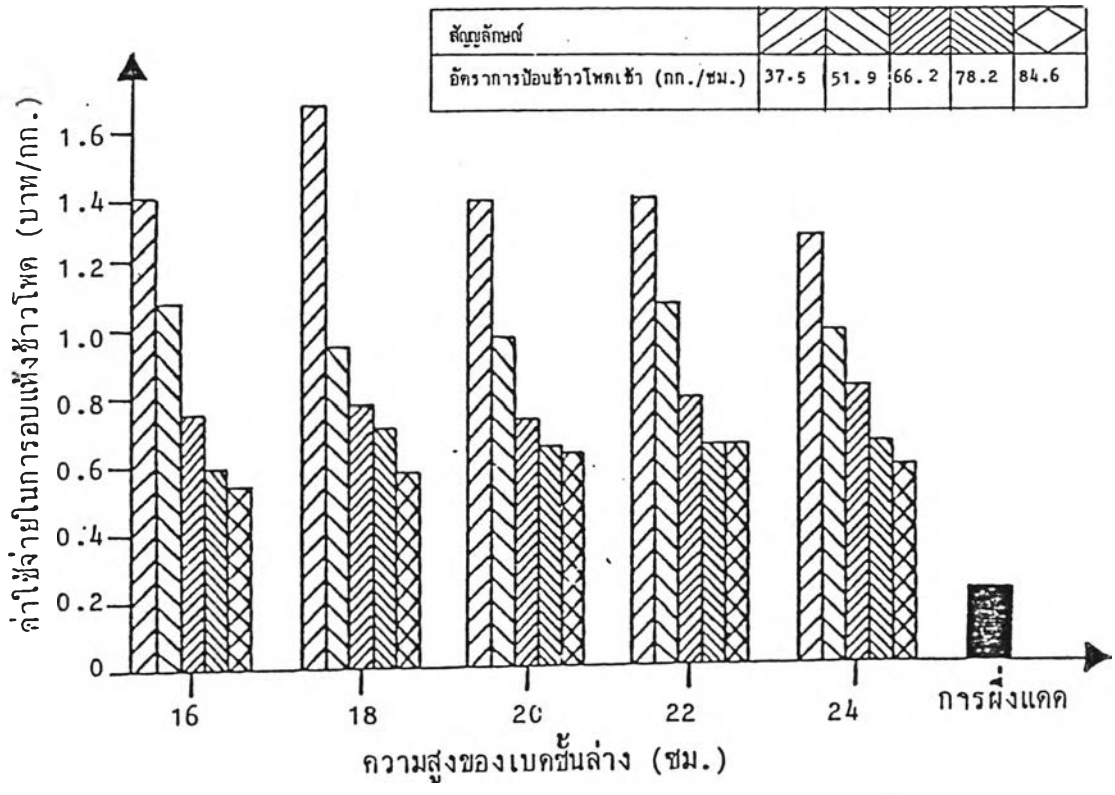
รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า (°ซ) กับปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ทั้งก่อนและหลังอบแห้ง 1 เดือน ในการผึ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (ppb) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. ความสูงของเบดชั้นล่าง 20 ซม. และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.5 , 56.0 , 81.9 , 87.4 และ 102 กก./ชม. ตามลำดับ



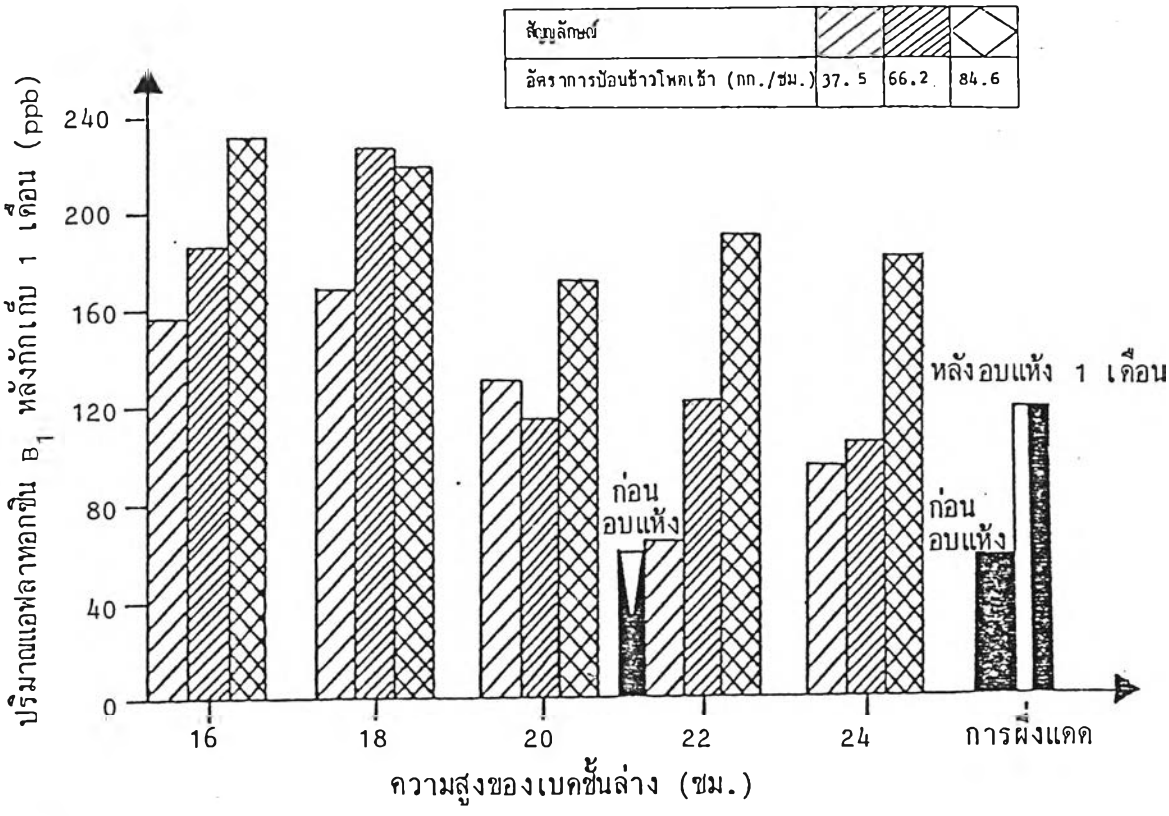
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้ง (%, นน.เปียก) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ



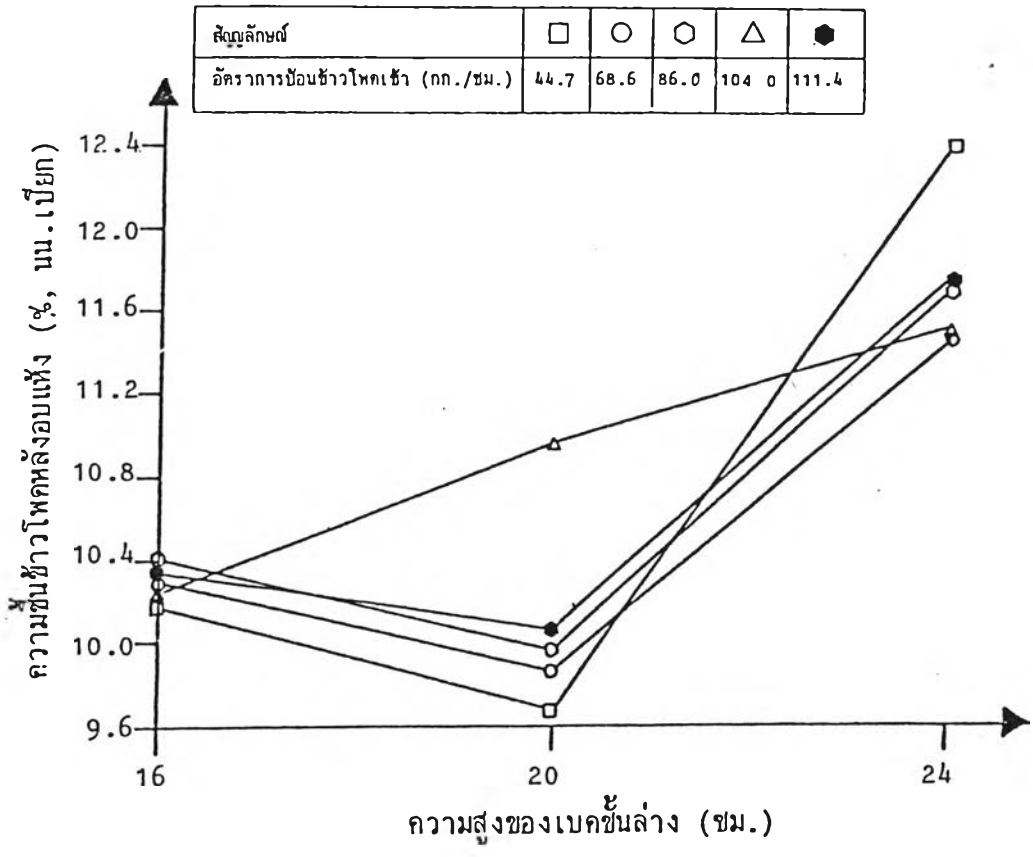
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ชม.) กับประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (%) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ชม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5 . 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ



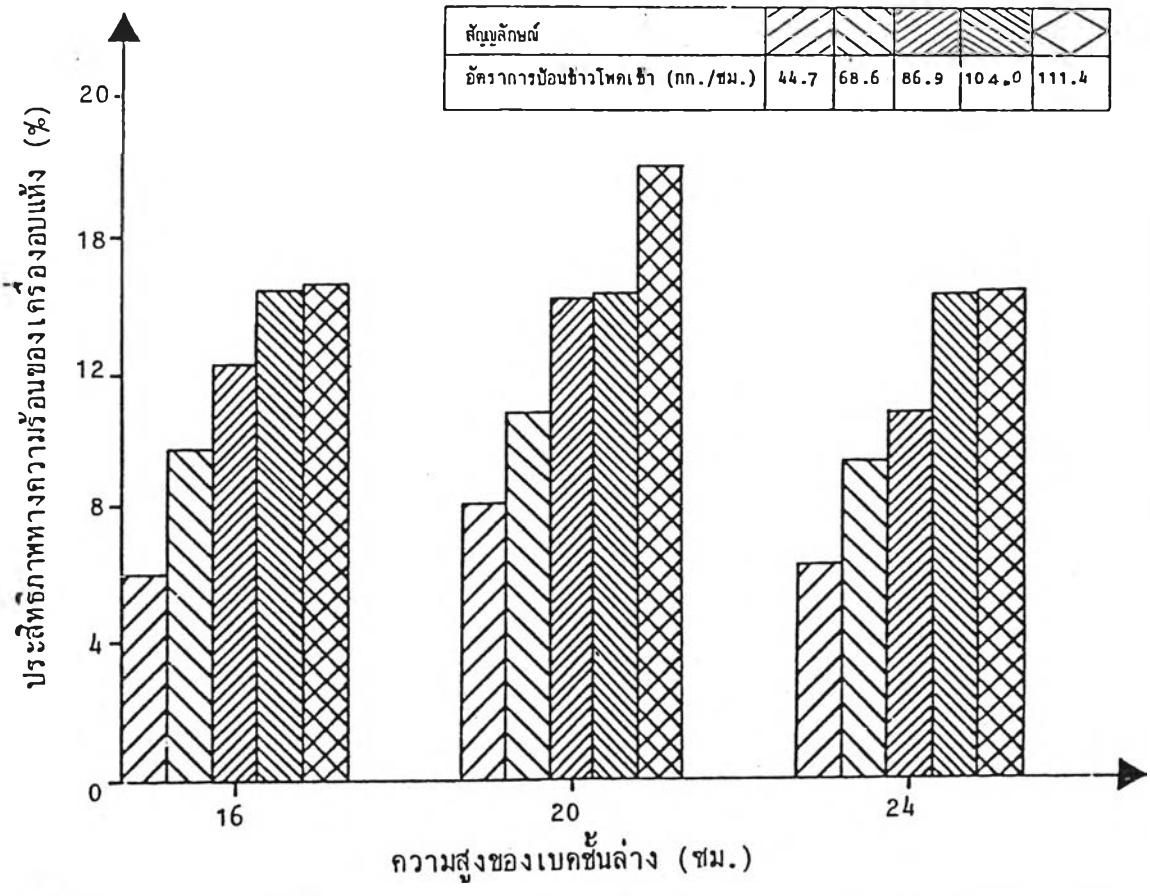
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ชม.) กับค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวโพดแบบการผึ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (บาท/กก.) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ชม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5 , 51.9 , 66.2 , 78.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ



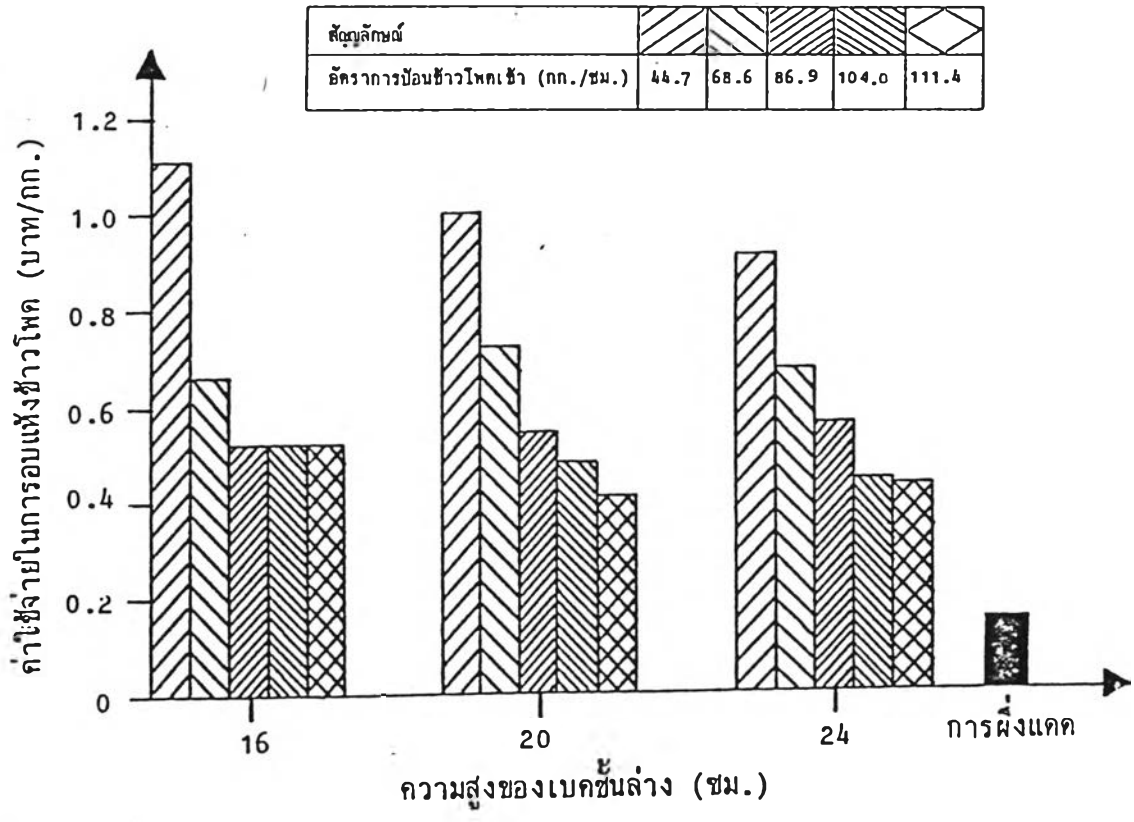
รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ทั้งก่อนและหลังอบแห้ง 1 เดือน ในการผึ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 37.5 , 66.2 และ 84.6 กก./ชม. ตามลำดับ



รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ชม.) กับความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้ง (%, นน.เปียก) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ชม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ



รูปที่ 6.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ซม.) กับประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (%) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ซม. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ และอัตราการป้อนข้าวโพดเข้า 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ



รูปที่ 6.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเบดชั้นล่าง (ชม.) กับค่าใช้จ่ายในการอบแห้งข้าวโพดแบบการผึ่งแดด และเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น (บาท/กก.) ที่ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้นร้อยละ 25 ความสูงของเบดชั้นบน 5.5 ชม. และอัตราการป้อนข้าวโพด 44.7 , 68.6 , 86.9 , 104.0 และ 111.4 กก./ชม. ตามลำดับ

6.2 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง

ในการอบแห้งด้วยวิธีการผึ่งแดด พบว่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นข้าวโพดได้อาศัยแสงแดดซึ่งมีอยู่แล้วตามธรรมชาติ ทำให้ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไม่ต้องเสีย แต่เสียค่าใช้จ่ายด้านอื่น ๆ เช่น

- ค่าผ่ากระสอบแล้วเทลงพื้นซีเมนต์กระสอบละ	0.75	บาท
- ค่าเก็บข้าวโพดใส่กระสอบ ๆ ละ	0.75	"
- ค่าชั่งน้ำหนักข้าวโพดกระสอบละ	1.25	"
- ค่าแรงงานและค่าสึกหรอของเครื่องเกลี่ยข้าวโพด	4.00	"
- ค่าน้ำมัน	64.50	"

จากรายการดังกล่าวข้างต้น พบว่าค่าใช้จ่ายที่เป็นตัวควบคุมค่าใช้จ่ายทั้งหมดคือค่าน้ำมัน ซึ่งมีค่าสูงถึง 64.50 บาท ในขณะที่ค่าใช้จ่ายทางอื่น ๆ ไม่เกิน 4.00 บาท แต่ข้าวโพดที่ใช้ผึ่งแดดทั้งหมด 590 กก. ดังนั้นเมื่อคิดค่าใช้จ่ายต่อ กก.ข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้ง จะเสียค่าใช้จ่ายเพียง 0.18 บาท/กก.

ส่วนค่าใช้จ่ายในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดเซชันจะขึ้นกับ

- ปริมาณกระแสไฟฟ้าของเครื่องป้อนข้าวโพดและเครื่องเป่าอากาศ
- ปริมาณก๊าซแอลพีจีที่ใช้
- อัตราการไหลออกของข้าวโพด

จากการทดลองทั้งหมดในหัวข้อ 6.1.2.1-6.1.2.3 พบว่าค่าใช้จ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 4.55 บาท/ชม. ส่วนค่าก๊าซแอลพีจีเฉลี่ย 40 บาท/ชม. ซึ่งเป็น 10 เท่าของค่ากระแสไฟฟ้า แสดงว่าค่าก๊าซแอลพีจีเป็นตัวควบคุมค่าใช้จ่ายทั้งหมด แต่การคิดค่าใช้จ่ายจะคิดต่อ กก. ของอัตราการไหลออกของข้าวโพด ดังนั้นตัวควบคุมค่าใช้จ่ายอันดับรองลงมาคืออัตราการไหลออกของข้าวโพด พบว่าที่อัตราการไหลออกของข้าวโพดในช่วง 78-102 กก./ชม. มีส่วนทำให้ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งลดลง

เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงเป็นหัวใจของค่าใช้จ่าย ดังนั้นถ้าเปลี่ยนจากก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ เช่น น้ำมันเตา หรือน้ำมันก๊าด (อาจทำให้ค่าใช้จ่ายถูกลง) แต่สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ค่าความร้อนที่ได้จากการสันดาป ดังแสดงในตารางที่ 6.3 (50)

ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบราคา (บาท/กก.) และค่าความร้อนเฉลี่ย (กิโลแคลอรี/กก.) ของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

เชื้อเพลิง	ราคา (บาท/กก.)	ค่าความร้อนเฉลี่ย (กิโลแคลอรี/กก.)
ก๊าซแอลพีจี	9.50	11900
น้ำมันก๊าด	7.69	11000
น้ำมันเตา (เกรด A)	3.36	10300

จากตารางที่ 6.3 พบว่า น้ำมันก๊าดและน้ำมันเตา (เกรด A) มีราคาถูกกว่าก๊าซแอลพีจี ถึงแม้ว่าค่าความร้อนเฉลี่ยจะต่ำกว่า ฉะนั้นถ้าต้องการให้น้ำมันเตามีค่าความร้อนเฉลี่ย 11900 กิโลแคลอรี จะต้องใช้น้ำมันเตาจำนวน 1.16 กก. และเสียค่าใช้จ่ายเพียง 3.90 บาท ซึ่งถูกกว่าการใช้ก๊าซแอลพีจีมาก นอกจากนี้สารประกอบซัลเฟอร์ที่เกิดจากการสันดาปยังช่วยในการยับยั้งการเกิดแอฟลาทอกซิน (51) ดังนั้นการเปลี่ยนชนิดของเชื้อเพลิงนอกจากจะลดค่าใช้จ่ายแล้ว ยังช่วยป้องกันการเกิดสารพิษแอฟลาทอกซินได้อีก

6.3 สรุปผลการทดลอง

6.3.1 การเปรียบเทียบผลการอบแห้งข้าวโพดด้วยวิธีการผึ่งแดดและการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น ดังแสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบผลการอบแห้งข้าวโพดด้วยวิธีการผึ่งแดด และการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น ที่ความชื้นข้าวโพดหลังการอบแห้งร้อยละ 14.5

สภาวะการทดลอง	การผึ่งแดด	การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น
1. ความชื้นเริ่มต้น (%)	26.8	25, 18
2. เวลาที่ใช้ลดความชื้น (ชม.)	9	1
3. อุณหภูมิอากาศร้อน (°ซ)	-	70-110
4. ความหนาของข้าวโพด (ซม.)	2	16-24
5. ปริมาณข้าวโพดที่ใช้อบแห้ง (กก.)	590	37-111
6. ประสิทธิภาพทางความร้อน (%)	-	17
7. ค่าใช้จ่ายในการอบแห้ง (บาท/กก.)	0.18	> 0.18
8. ปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ที่เพิ่มขึ้น (%)	100	23

จากตารางที่ 6.4 พบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น มีข้อได้เปรียบการผึ่งแดดหลายประการ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ลดความชื้น ความหนาของข้าวโพด และปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 ที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น แต่มีข้อเสียเพียงสิ่งเดียวคือ ค่าใช้จ่ายยังสูงกว่าการผึ่งแดด ซึ่งควรปรับปรุงเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น จะช่วยลดค่าใช้จ่ายให้ถูกลงได้ โดยการเพิ่มเบดให้มีจำนวนมากกว่า 2 ชั้นที่มีอยู่เดิม

6.3.2 สรุปสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น

ความชื้นข้าวโพดเริ่มต้น 25 %

อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 95 °ซ

ความสูงของเบดชั้นล่าง	20	ซม.
อัตราการป้อนข้าวโพดเฉลี่ย	80	กก./ชม.

6.3.3 ตัวแปรที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายในการผึ่งแดดและการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์-เบดหลายชั้นคือ ค่าใช้จ่ายทางเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายทางเชื้อเพลิงกับอัตราการไหลออกของข้าวโพด ตามลำดับ

6.3.4 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอฟลาทอกซิน B_1 หลังกักเก็บนาน 1 เดือน คือ

การผึ่งแดด	การใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้น
1. ความร้อนจากแสงแดด	1. อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า
2. คุณภาพข้าวโพดหลังอบแห้ง	2. อัตราการป้อนข้าวโพด
3. การแห้งอย่างไม่สม่ำเสมอ	3. ความสูงของเบดชั้นล่าง
ของเมล็ดข้าวโพด	4. ความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้ง
	5. ขนาดของฟองอากาศที่เกิดขึ้นภายในเบด

6.3.5 ควรใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดหลายชั้นข้าวโพดแทนการผึ่งแดดที่ทำกันมานาน เนื่องจากที่ความชื้นข้าวโพดหลังอบแห้งร้อยละ 14.5 สามารถให้อัตราการเพิ่มขึ้นของแอฟลาทอกซิน B_1 เฉลี่ยเพียงร้อยละ 23 เท่านั้น ขณะที่การผึ่งแดดเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 100 แสดงว่าการลดความชื้นด้วยวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

6.3.5 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้การนำเทคนิคฟลูอิไดเซชันมาใช้ในการอบแห้งข้าวโพดจะสามารถผลิตข้าวโพดที่มีปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินต่ำในฤดูฝนได้ (ทดลองในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวข้าวโพด) ดังนั้นถ้ามีการขยายขนาดของเครื่องอบแห้งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอบแห้งข้าวโพด