บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อราบนถั่วลิสง (ถั่วไร่หรือถั่วฝน)

ถั่วลิสง (Arachis hypogaea) เป็นพืชตระกูลถั่ว (Leguminosae) ชนิดหนึ่งที่มีดอกบนต้นแต่มีฝักอยู่ใต้ดิน ฝักคือเกสรตัวเมียเมื่อได้รับการผสมพันธุ์แล้วก็จะแทงเข็มลงดินเจริญเติบโตเป็นฝักใต้ดิน [29] จึงมีโอกาสได้รับการปนเปื้อนจากเชื้อราต่าง ๆ ได้ทุกขั้นตอนการผลิต ตั้งแต่ขณะที่เติบโตอยู่ในดิน (development in soil) ขณะเก็บเกี่ยว (harvesting) ระหว่างการบ่ม (curing) การบ่มของถั่วลิสงคือ การผึ่งแดดถั่วลิสงทั้งเถาโดยมิได้ปลิดฝักออกจากต้น ไว้ราว 1 - 2 วันแล้วจึงปลิดฝักออกจากต้น ระหว่างการลดความชื้น (drying) [28] แต่จุดสำคัญในการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินจะเริ่มจากช่วงขณะเก็บเกี่ยวเป็นต้นไป [30 - 31] เชื้อราที่เจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินได้ และเชื้อราอื่น ๆ ที่พบบนถั่วลิสงคือ Aspergillus flavus, A. parasiticus, A. niger, A. glaucus, Penicillium sp., Rhizopus sp. และ Fusarium sp. [28, 32 - 40]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อราบนถั่วลิสง (ถั่วฝนหรือถั่วไร่) ช่วงหลังการเก็บเกี่ยว (post harvest) คือ

2.1.1 ความชื้น (moisture content) ของถั่วลิสงและความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ของสภาพแวดล้อม

ระดับความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินของเชื้อราคือ

ความชื้นในช่วงร้อยละ 15 - 30 [41 - 45]

ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 - 85 ขึ้นไป [26, 31, 39, 41, 44, 46 - 50]

2.1.2 อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม

ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน คือ 25 - 35 องศาเซลเซียส [26, 31, 41 - 42, 44, 46 - 48, 51 - 54]

2.1.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว บ่ม และลดความชื้น

ควรจะกระทำให้รวดเร็วที่สุด เพราะในสภาวะที่เหมาะสมดังข้อ 2.1.1 และ 2.1.2 แล้วเชื้อราสามารถเจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินได้ภายใน 48 ชั่วโมง [16, 28, 39, 43, 45, 50, 53]

2.1.4 ความเสียหายของฝักและเมล็ดถั่วลิสง

ฝักที่เป็นแผลหรือแตก เมล็ดที่ผิวหุ้มเมล็ดถลอกหรือเป็นแผลจะมีเชื้อราเจริญได้ดีกว่าฝักหรือเมล็ดดี และอะฟลาทอกซินที่ตรวจพบมีพิษร้ายแรงกว่าที่พบในฝักหรือเมล็ดดี [28, 55 - 56]

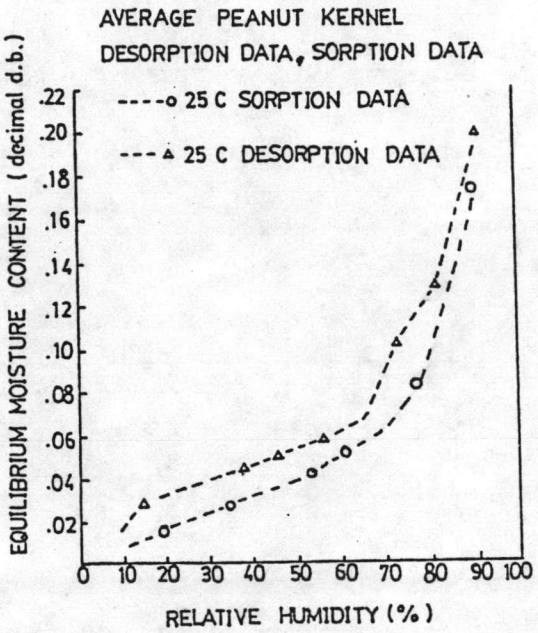
ช่วงฤดูฝนไม่มีแดดเพื่อลดความชื้น ถั่วลิสงที่เก็บจึงมีระดับความชื้นสูงร่วมกับสภาพภูมิอากาศในฤดูนี้มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป อุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส [57] เป็นสภาพซึ่งตรงกันกับสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญและผลิตสารอะฟลาทอกซินของเชื้อราที่ผลิตสารพิษอะฟลาทอกซินได้ และเชื้อราอื่น ๆ ที่พบบนถั่วลิสงพอดี เป็นเหตุให้ถั่วฝนหรือถั่วไร่มีเชื้อราเจริญมีสารพิษอะฟลาทอกซินปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมาก อีกทั้งยังงอกและเน่าเนื่องจากระดับความชื้นในเมล็ดสูง

2.2 ความชื้นสมดุลย์ (equilibrium moisture content) ของถั่วลิสง

ความชื้นสมดุลย์ของวัตถุใดหมายถึง เมื่อปล่อยให้วัตถุนั้นอยู่ในสภาพแวดล้อมที่กำหนด (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่) เป็นเวลานานพอ (infinite) การถ่ายเทความชื้นระหว่างวัตถุและสภาพแวดล้อมจะอยู่ในสภาวะสมดุลย์ คือความดันไอน้ำของวัตถุเท่ากับความดันไอน้ำของสภาพแวดล้อม ความชื้นของวัตถุขณะนั้นเรียกว่าความชื้นสมดุลย์ [58 - 59]

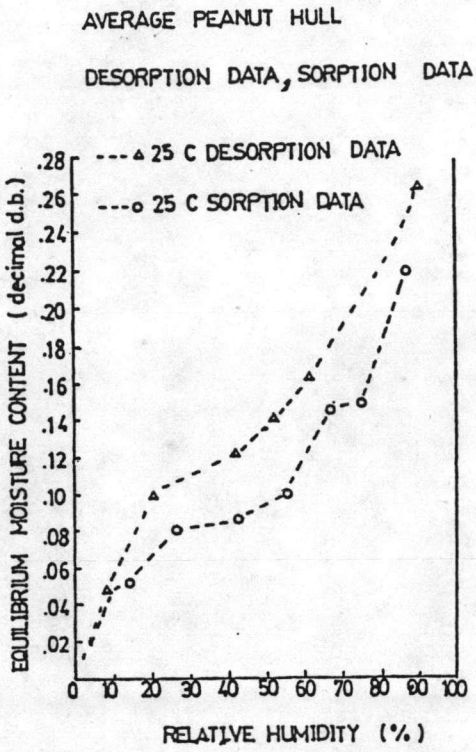
ความชื้นสมดุลย์ของวัตถุแต่ละชนิดเป็นฟังก์ชั่นของ อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมซึ่งสัมผัสอยู่ และประวัติความชื้นของวัตถุ (previus moisture history) [59] มีการทดลองเกี่ยวกับ equilibrium moisture content isotherm ของถั่วลิสง

[60, 61 - 63] และ [64] desorption และ sorption isotherm ของเมล็ดและเปลือกถั่วลิสงที่อุณหภูมิต่าง ๆ ปรากฏดังรูป 2 - 1 ถึง 2 - 6 [64]



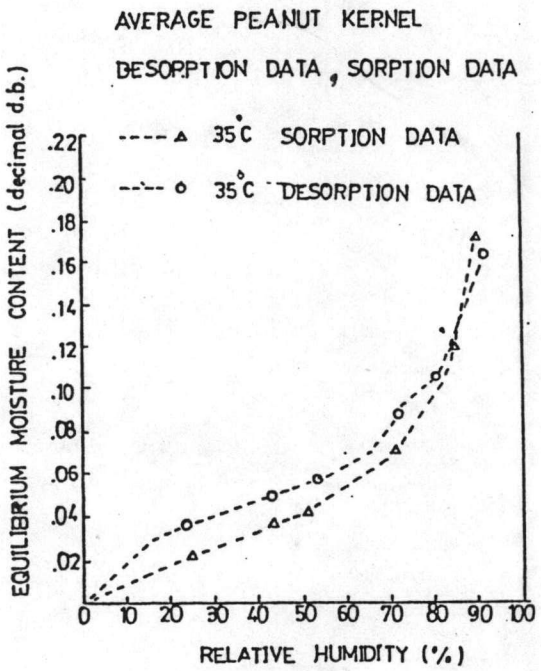
รูปที่ 2 - 1

ข้อมูล desorption และ sorption ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 - 2

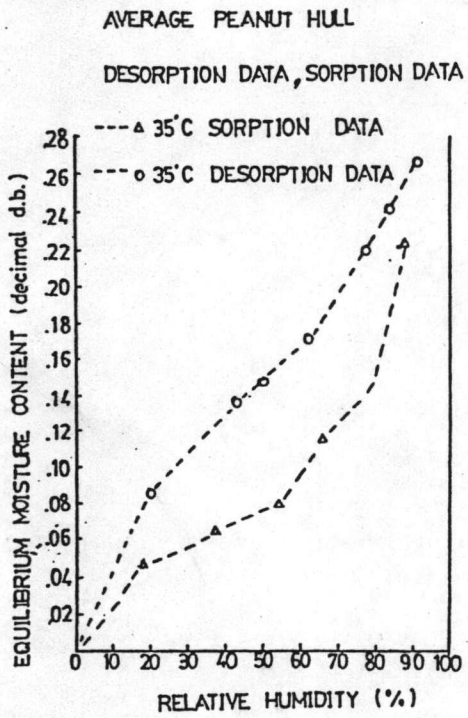
ข้อมูล desorption และ sorption ของเปลือกที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 - 3

ข้อมูล desorption และ sorption

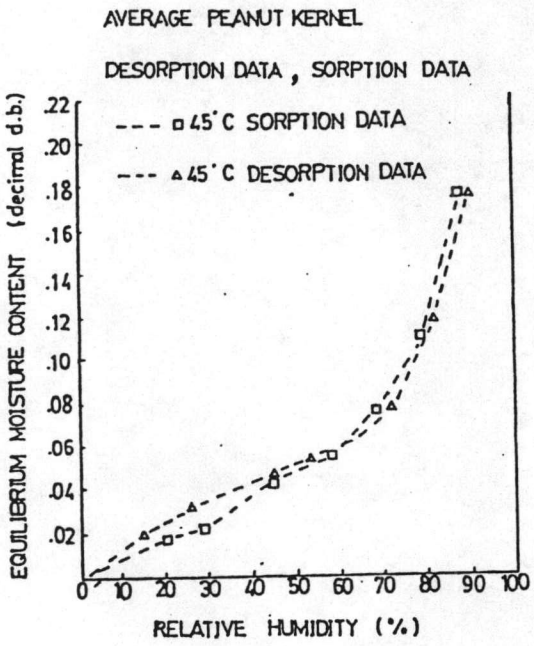
ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 - 4

ข้อมูล desorption และ sorption

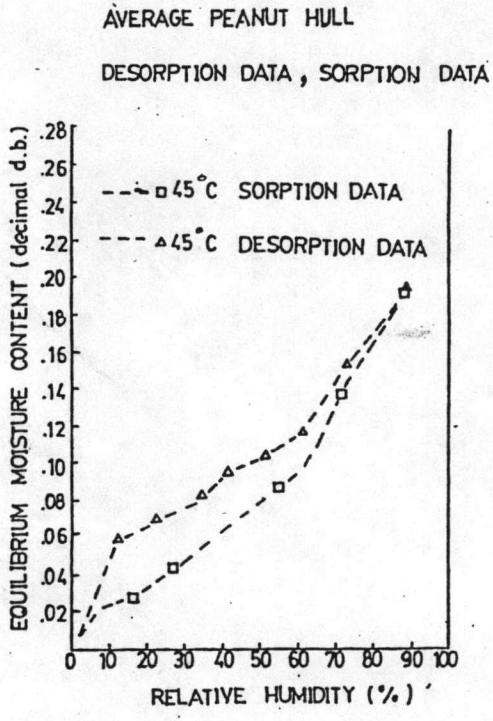
ของเปลือกที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 - 5

ข้อมูล desorption และ sorption

ของเมล็ดที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 - 6

ข้อมูล desorption และ sorption

ของเปลือกที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

และพบว่าสมการ Smith สอดคล้องกับผลการทดลองได้ดีที่สุดในจำนวน 5 สมการที่เปรียบเทียบกันคือสมการ BET สมการ Chung-Pfost สมการ Henderson สมการ Smith และสมการ Young รูปของสมการทั้ง 5 คือ

สมการ BET ; $$M = \frac{A.E\ rh}{(1-rh)\ [1 + (E-1)\ rh]}$$ ----- (2.1) [64]

M = ความชื้นสมดุลย์, เป็นทศนิยม, น้ำหนักแห้ง (dry basis)

A = พารามิเตอร์ เป็นสัดส่วนกับ พื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยมวลของวัตถุ, ไร้หน่วย

E = พารามิเตอร์ ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิและ heat of sorption หรือ desorption ของน้ำ, ไร้หน่วย

rh = ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นทศนิยม

สมการ Chung — Pfost $$M = \frac{\ln \frac{A}{RT} - \ln\left[-\ln (rh)\right]}{B}$$ ----- (2.2) [64]

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์, องศาเคลวิน

R = ค่าคงที่ของแก๊ส, 8.32 จูล (กรัม-โมล)$^{-1}$ (องศาเคลวิน)$^{-1}$

A = ค่าคงที่ของวัตถุ, แคลอรี (กรัม-โมล)$^{-1}$

B = ค่าคงที่ของวัตถุ, ไร้หน่วย

สมการ Henderson $$M = 0.01\left[\frac{-5 \ln (1-rh)}{9cT}\right]^{\frac{1}{n}}$$ ----- (2.3) [64]

c และ n = ค่าคงที่ของวัตถุ

สมการ Smith $$M = A - B \ln (1-rh)$$ ----- (2.4) [64]

A, B = ค่าพารามิเตอร์ซึ่งแปรตามวัตถุ, ประวัติความชื้น (moisture history) และอุณหภูมิ

สมการ Young $M_s = A(\theta + a) + B\phi$ ----- (2.5.1)[64]

$M_d = A(\theta + a) + B\theta\, rh_{max}$ ----- (2.5.2)[64]

$A = \frac{\rho Vm}{w}$

$B = \frac{\rho V}{w}$

θ = ส่วนของผิวของเซลที่ถูกปกคลุมด้วยชั้นของโมเลกุลของน้ำผูกพัน (bound water molecules)

a = normally condensed moisture ที่วัดได้ใน molecular layers ทั้งหมด

ϕ = ส่วนของผิวซึ่งถูกปกคลุมด้วยชั้นของ normally condensed molecules อย่างน้อยที่สุด 1 ชั้น บนชั้นบนสุดของชั้น bound molecules

M_s = ความชื้นสมดุลย์สำหรับ sorption process, เป็นทศนิยม, น้ำหนักแห้ง

M_d = ความชื้นสมดุลย์สำหรับ desorption process, เป็นทศนิยม, น้ำหนักแห้ง

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, กรัม/ลบ.ซม.

Vm = ปริมาตรของความชื้นใน unimolecular layer ของโมเลกุลน้ำบนผิวของเซล, ลบ.ซม.

W = มวลของวัตถุแห้ง, กรัม

V = จำนวนความชื้นที่ถูกดูดซึมเมื่ออิ่มตัว, ลบ.ซม.

ค่าพารามิเตอร์ A, B สำหรับสมการความชื้นสมดุลย์ Smith สำหรับเมล็ดและเปลือกถั่วลิสงที่ 15 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 2-1

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-1 ค่าพารามิเตอร์ A และ B สำหรับสมการความชื้นสมดุลย์ Smith สำหรับเมล็ดและเปลือกถั่วลิสง ที่ 15 องศาเซลเซียส

	Desorption		Sorption	
องค์ประกอบของถั่วลิสง	A	B	A	B
เมล็ด (seed)	0.01448	0.06302	0.00098	0.06567
เปลือก (hulls)	0.07003	0.08514	0.02370	0.08199

ค่าพารามิเตอร์ A, B แปรตามอุณหภูมิซึ่งเป็นสัดส่วนกับ การเปลี่ยนความหนาแน่นของน้ำกับอุณหภูมิ ดังนั้นค่า A, B ที่อุณหภูมิใด ๆ คือ

$$A = Ao \frac{\rho}{\rho_o}$$

$$B = Bo \frac{\rho}{\rho_o}$$

Ao, Bo = ค่าของ A, B ที่อุณหภูมิอ้างอิง

ρ_o = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิอ้างอิง, กก./ลบ.ม.

ρ = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิซึ่งจะประเมินค่า A, B, กก./ลบ.ม.

ในการอบแห้งและการเก็บถั่วลิสง ถ้าให้ถั่วลิสงสัมผัสกับสภาพแวดล้อมซึ่งความชื้นสมดุลย์ของถั่วลิสงน้อยกว่าระดับความชื้นที่ถั่วลิสงมีอยู่ ความชื้นจะถ่ายเทจากถั่วลิสงสู่สภาพแวดล้อม และถ้าให้ถั่วลิสงสัมผัสกับสภาพแวดล้อมซึ่งความชื้นสมดุลย์ของถั่วลิสงมากกว่าความชื้นที่ถั่วลิสงมีอยู่ ความชื้นจากสิ่งแวดล้อมจะถ่ายเทเข้าสู่ถั่วลิสง ดังนั้นในการอบแห้งถั่วลิสง ขนาดของความแตกต่างระหว่างความชื้นของถั่วลิสง และความชื้นสมดุลย์มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความชื้น (rate of moisture transfer) [59] สำหรับการเก็บถั่วลิสง ระดับความชื้นของเมล็ดที่แนะนำให้เก็บได้อย่างปลอดภัยและระบุในมาตรฐานต่าง ๆ มีตั้งแต่ร้อยละ (น้ำหนักเปียก ; wet basis) 6 [65] ร้อยละ 7 [66] ร้อยละ 8 [67] และร้อยละ 9 [68] แต่เมื่อพิจารณาความชื้นสมดุลย์ของถั่วลิสงจากสมการ Smith ในสภาพบรรยากาศช่วงฤดูฝนในประเทศไทยที่อุณหภูมิเฉลี่ย 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ขึ้นไป

[57] ได้เท่ากับ หรือมากกว่าร้อยละ 9.6 (น้ำหนักเปียก) นั่นคือถ้าเก็บถั่วลิสงที่มีระดับความชื้นน้อยกว่านี้เพียงเล็กน้อยไว้ในสภาพแวดล้อมเช่นนี้ ความชื้นของถั่วลิสงจะเปลี่ยนแปลงจนถึงความชื้นสมดุลย์ ร้อยละ 9.6 หรือมากกว่า ซึ่งเพียงพอที่เชื้อราจะเจริญและผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน ล้อดคล้องกับผลการสำรวจในประเทศไทยที่พบว่าถั่วลิสงแทบทุกประเภทเป็นอาหารที่มีสารพิษอะฟลาทอกซินปนเปื้อนอยู่มากที่สุด [11 - 13, 32, 65] เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพบรรยากาศในประเทศไทย เมล็ดถั่วลิสงแห้งควรมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 9 ควรเป็นร้อยละ 6 - 7 (น้ำหนักเปียก) เพื่อเผื่อการดูดความชื้นกลับแล้วระดับความชื้นที่เพิ่มขึ้นยังคงน้อยกว่าระดับความชื้นที่เชื้อราจะเจริญได้

2.3 การอบแห้ง

การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยทั่วไปจะใช้วิธีการผึ่งแดด (sun drying) ซึ่งจะสะดวกและให้ผลดีก็ต่อเมื่อสภาพภูมิอากาศเอื้ออำนวยเท่านั้น ในช่วงฤดูฝนที่สภาพภูมิอากาศไม่แน่นอน การอบแห้งถั่วลิสงด้วยลมร้อนซึ่งได้จากแหล่งเชื้อเพลิงอื่นจะช่วยป้องกันการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวได้

2.3.1 การอบแห้งในแผนภูมิความชื้นอากาศ (Psychrometric chart)

จาก psychrometric chart รูปที่ 2-7 อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงที่อุณหภูมิ T_1 ได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น T_3 จะได้ลมร้อนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ สัมผัสกับถั่วลิสงซึ่งมีความชื้นสูงและอุณหภูมิต่ำกว่า เกิดการพาความร้อนเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทมวล คือความชื้นจากถั่วลิสงสู่ลมร้อน [69]

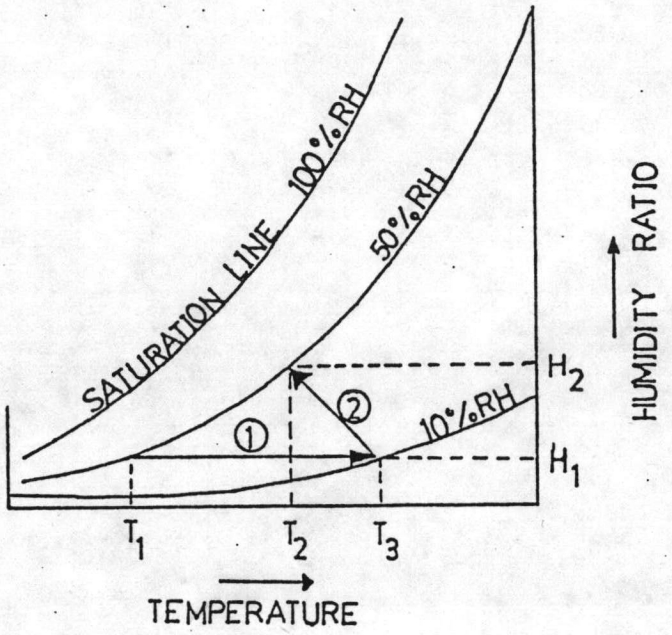
อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งถั่วลิสงจะทำให้เกิดความชื้นสมดุลย์ของถั่วลิสง ความแตกต่างระหว่างความชื้นสมดุลย์และความชื้นของผักถั่วลิสงจะทำให้เกิดศักยภาพของการอบแห้ง [59]

2.3.2 ลักษณะการอบแห้งของเมล็ดพืช (grain drying characteristic)

โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นเป็นระยะดังนี้ [70]

2.3.2.1 ระยะอัตราคงที่ (the constant rate period)

ในระยะนี้การลดความชื้นเกิดขึ้นที่ผิวของเมล็ด และมีลักษณะคล้ายกับการระเหยของความชื้นจาก free water surface สำหรับพืชผลทางการเกษตรนั้น การ



รูปที่ 2-7 การอบแห้งในแผนภูมิความชื้นอากาศ (psychrometric chart)

(1) การให้ความร้อน ให้ความร้อนแก่อากาศอุณหภูมิ T_1 ร้อนชื้นจนถึงอุณหภูมิ T_3 ตามเส้นความชื้นจำเพาะอากาศ H_1 คงที่

(2) การอบแห้ง อากาศร้อนอุณหภูมิ T_3 ไหลผ่านวัตถุที่จะอบแห้ง อุณหภูมิลดลงเป็น T_2 ความชื้นสูงขึ้นเป็น H_2 ตามเส้นเอนทาลปีของอากาศคงที่

ลดความชื้นในระยะอัตราคงที่นี้จะเกิดเป็นช่วงเวลาสั้นมาก ขนาดของอัตราการลดความชื้นระหว่างระยะนี้ขึ้นกับ

ก. พื้นที่ผิวของเมล็ด (area exposed)

ข. ความแตกต่างของความชื้นระหว่างอากาศภายนอกกับส่วนที่เปียกของเมล็ด (difference in humidity between air stream and wet surface)

ค. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล (the coefficient of mass transfer)

ง. ความเร็วของอากาศที่ผ่านเข้าทำการลดความชื้น (velocity of drying air)

2.3.2.2 ระยะอัตราลดลง (the falling rate period)

จะเกิดขึ้นหลังจากพ้นระยะอัตราคงที่แล้ว ในช่วงต่อระหว่างระยะอัตราคงที่และระยะอัตราลดลงนี้จะเกิดความชื้นวิกฤต (critical moisture content) ขึ้น จุดความชื้นวิกฤตนี้เป็นจุดที่ถ้าเราลดความชื้นไปเรื่อย ๆ อัตราการส่งความชื้นออกสู่ผิวจะต่ำกว่าอัตราการส่งความชื้นออกสู่บรรยากาศภายนอก ในระยะอัตราลดลงนี้เป็นระยะที่มีความสำคัญมาก เพราะการลดความชื้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงนี้ ซึ่งจะมีการนำความชื้นจากภายในเมล็ดออกไปมาก การลดความชื้นในระยะอัตราลดลงนี้ส่วนใหญ่จะถูกควบคุมโดยสภาพแวดล้อมของเมล็ดพืช และเกิดขึ้นโดย (1) การเคลื่อนย้ายความชื้นภายในเมล็ดมาสู่ผิวโดยวิธีการแพร่ (diffusion) (2) การเอาความชื้นที่ผิวเมล็ดออกไป

การลดความชื้นในระยะอัตราลดลง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงแรก เป็นการลดความชื้นที่ผิวยังไม่อิ่มตัว (first falling rate)

ช่วงที่สอง เป็นการลดความชื้นซึ่งอัตราของการแพร่ของน้ำ (water diffusion) ภายในเมล็ดเกิดขึ้นช้า และมีปัจจัยควบคุม

การลดความชื้นของพืชผลทางการเกษตรจะมีกระบวนการเกิดขึ้น 2 อย่างคือ

1) กระบวนการผ่านความร้อนเพื่อที่จะระเหยน้ำ

2) กระบวนการเคลื่อนความชื้นจากภายในเมล็ดออกมา และน้ำระเหยออกไป

กระบวนการทั้งสองนี้มีความสำคัญมาก ในการควบคุมการอบแห้ง ในการอบแห้งจะมีกลไกภายในเมล็ดซึ่งควบคุมการเคลื่อนย้ายความชื้น จากภายในออกมาได้แก่

ก. กระบวนการแพร่ในรูปของของเหลว และ/หรือไอ (diffusion as liquid and/or vapour)

ข. แคพิลลารี่ แอคชั่น (capillary action)

ค. การหดตัวและความแตกต่างของความดันไอ (shrinkage and vapour pressure gradients)

ง. แรงโน้มถ่วง (gravity)

จ. การระเหยของความชื้น (vaporization of moisture)

ถึงแม้ว่าการลดความชื้นพืชผลทางการเกษตรจะมีกระบวนการและกลไกอันซับซ้อนในการควบคุมการเคลื่อนที่ของความชื้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น อีกทั้งลักษณะรูปร่างยังไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต (geometric shape) ที่สมบูรณ์แบบ และไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (non homogeneous body) คือประกอบด้วยส่วนของเมล็ดและเปลือก แต่มี analytical solution ของสมการการแพร่ (diffusion equation) เพื่ออธิบายการถ่ายเทมวลจากส่วนหนึ่งของวัตถุไปสู่ส่วนอื่น ๆ สำหรับวัตถุที่มีรูปทรงเรขาคณิตแบบต่าง ๆ เช่น ในกรณีวัตถุที่อบแห้งเป็นแผ่น (slab) การเสียความชื้นของวัตถุจะเป็นไปตามสมการ (2.6) [69]

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2}\left(e^{\frac{-D_v\theta\pi^2}{4a^2}} + \frac{1}{9}e^{\frac{-9D_v\theta\pi^2}{4a^2}} + \frac{1}{25}e^{\frac{-25D_v\theta\pi^2}{4a^2}} + \ldots\right) \quad \text{--- (2.6)}$$

M = ความชื้น, น้ำหนักแห้ง ที่เวลา θ

Mo = ความชื้นเริ่มต้น, น้ำหนักแห้ง

Me = ความชื้นสมดุลย์

D_v = mass diffusivity ตร.ม/ชั่วโมง

a = ความหนาครึ่งหนึ่งของ slab เมตร

θ = เวลาอบแห้ง ชั่วโมง

สำหรับวัตถุที่มีรูปทรงเรขาคณิตอื่น ๆ เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก เป็นต้น ค่าคงที่ $\frac{8}{\pi^2}$ หน้าวงเล็บ และค่า a จะเปลี่ยนไปด้วยสุดแท้แต่จะเป็นรูปทรงเรขาคณิตแบบใด ในกรณีการอบแห้งแบบเป็นชั้นบาง ๆ (thin layer drying) คือเป่าลมร้อนที่ อุณหภูมิและความชื้นคงที่ผ่านวัตถุที่อบแห้งซึ่งอยู่เป็นชั้นบาง ๆ อย่างทั่วถึง เช่นการอบแห้งเมล็ดข้าวแบบเป็นชั้นบาง ๆ drying curve จะปรากฏดังรูป 2-8 สมการในส่วนที่เป็นเส้นตรงของ curve คือ

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = Ae^{-K\theta} \qquad \text{--- (2.7) [69]}$$

ค่า A เปรียบได้กับค่าคงที่ $\frac{8}{\pi^2}$ ในส่วนขวามือของสมการ (2.6) ซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งบอกรูปทรงของวัตถุ และเอ็กโปเนนเชียล เทอม (exponential term) เปรียบได้กับเอ็กโปเนนเชียล เทอม ค่าแรกของส่วนขวามือของสมการ (2.6) (เอ็กโปเนนเชียล เทอม ค่าหลัง ๆ จะมีค่าน้อยจนตัดทิ้งได้เมื่อ θ คือเวลาอบแห้งนานขึ้น) นั่นคือ

$$K = \frac{D_v \pi^2}{r^2}$$

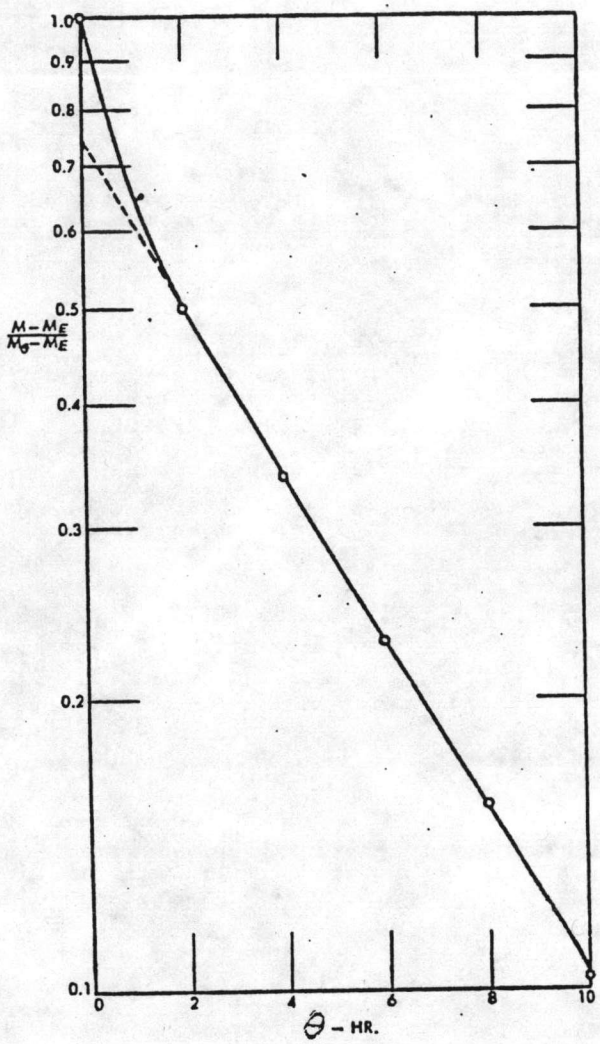
เมื่อ K = ค่าพารามิเตอร์การอบแห้ง (drying parameter)

r = ระยะทางสั้นที่สุดสำหรับการถ่ายเทความชื้นจากภายในเนื้อเยื่อสู่ผิว

2.3.3 การอบแห้งถั่วลิสง

การใช้สภาวะการอบแห้งที่รุนแรง เช่น ใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมาก และความเร็วลมสูง อบแห้งถั่วลิสงมีผลทำให้คุณภาพการกะเทาะ (milling

012157



รูปที่ 2-8 ข้อมูลการอบแห้งสำหรับข้าว (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 43.9 องศา เซลเซียส, อุณหภูมิกระเปาะเปียก 23.3 องศา เซลเซียส)

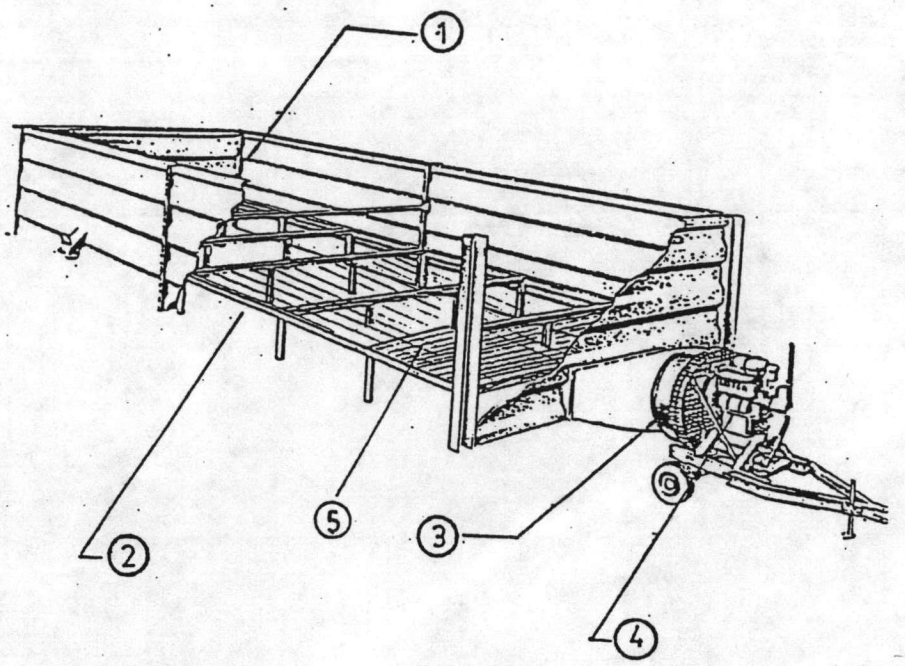
quality) ต่ำ ผิวหุ้มเมล็ด (skin) ฉีกขาด เมล็ดปริแตกจากกัน รสชาติ (flavor) เปลี่ยนแปลง [71 - 74] หากจะลดความชื้นถั่วลิสงให้มีคุณภาพดี ลมร้อนไม่ควรมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 35 - 37 องศาเซลเซียส [71 - 82] 42 องศาเซลเซียส [83] 46 องศาเซลเซียส [84] แต่การลดความชื้นถั่วลิสงด้วยการผึ่งแดดนั้น อุณหภูมิของฝักถั่วลิสงอาจสูงถึง 49 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หรือมากกว่านี้ต่อวัน [79] จากข้อมูลการตากข้าวในประเทศไทย อุณหภูมิของข้าวชื้นที่สัมผัสกับแดดโดยตรงอาจสูงถึง 55 องศาเซลเซียส [85] ดังนั้นอาจจะใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิสูงลดความชื้นถั่วลิสงได้ด้วยวิธีการลดความชื้นแบบทิ้งช่วง (intermittent drying) ซึ่งจะช่วยลดการแตกหักของเมล็ดและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ลดความชื้น (drier) อีกด้วย [78, 80] ด้วยวิธีนี้สามารถอบแห้งถั่วลิสงพันธุ์ไทยนาน 9 ที่อุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้อบแห้งติดต่อกันครั้งละ 1 ชั่วโมง เวลาพักระหว่างการอบแห้งแต่ละครั้ง 3 ชั่วโมง โดยที่คุณภาพของถั่วลิสงไม่เปลี่ยน [85] การอบแห้งถั่วลิสงต้องกระทำอย่างรวดเร็ว และต้องคำนึงถึงคุณภาพการกะเทาะด้วย เพื่อให้ได้คุณภาพการกะเทาะที่ดี คือร้อยละการกะเทาะสูง ร้อยละการแตกหักน้อย เมล็ดถั่วลิสงควรมีความชื้นประมาณร้อยละ 8 - 16 (wet basis) [59, 71, 86] ซึ่งไม่ใช่ระดับความชื้นที่จะเก็บได้โดยปลอดภัย การอบแห้งถั่วลิสงควรทำเป็น 2 ขั้นคือ อบแห้งจนเหลือระดับความชื้นที่จะให้คุณภาพการกะเทาะที่ดีที่สุด แล้วจึงอบแห้งเมล็ดถั่วลิสงต่อ จนเหลือร้อยละ 6 - 7 ซึ่งจะเก็บได้โดยปลอดภัย ลมร้อนที่ใช้อบแห้งถั่วลิสงควรจะสะอาด ปราศจากกลิ่นแปลกปลอม เพราะถั่วลิสงอาจดูดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ไว้ [87] ลมร้อนไม่ควรมีอุณหภูมิสูงมาก และต้องควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้

2.3.4 อุปกรณ์อบแห้งแบบต่าง ๆ

อุปกรณ์อบแห้งแบบต่าง ๆ ที่มีผลิตจำหน่ายและศึกษากันมาแล้วคือ

(1) Tropical Crop Drier [88]

ส่วนประกอบหลักของอุปกรณ์คือ กะบะใส่เมล็ดพืช, พัดลม และเครื่องยนต์ปั่นพัดลม ดังรูป 2-9

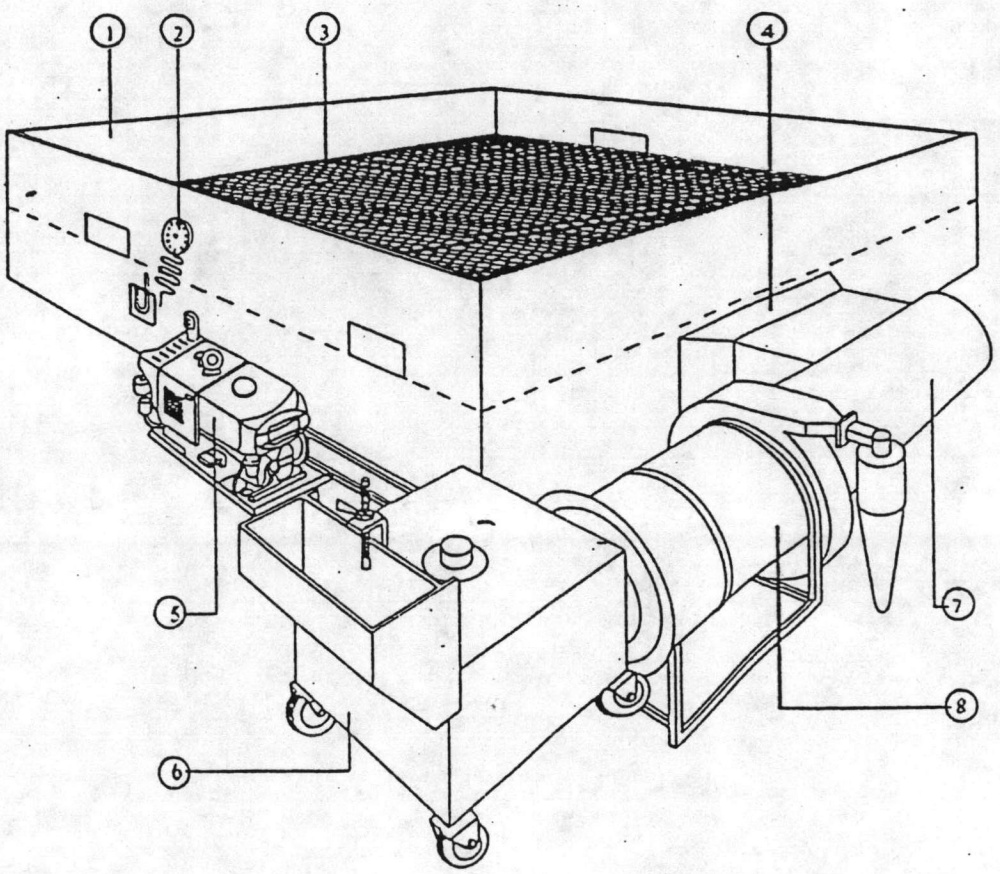


รูปที่ 2-9 Tropical Crop Drier (1) กะบะใส่เมล็ดพืช (2) ช่องว่างให้ลมร้อนผ่าน (3) พัดลม (4) เครื่องยนต์ปั่นพัดลม (5) ตะแกรง

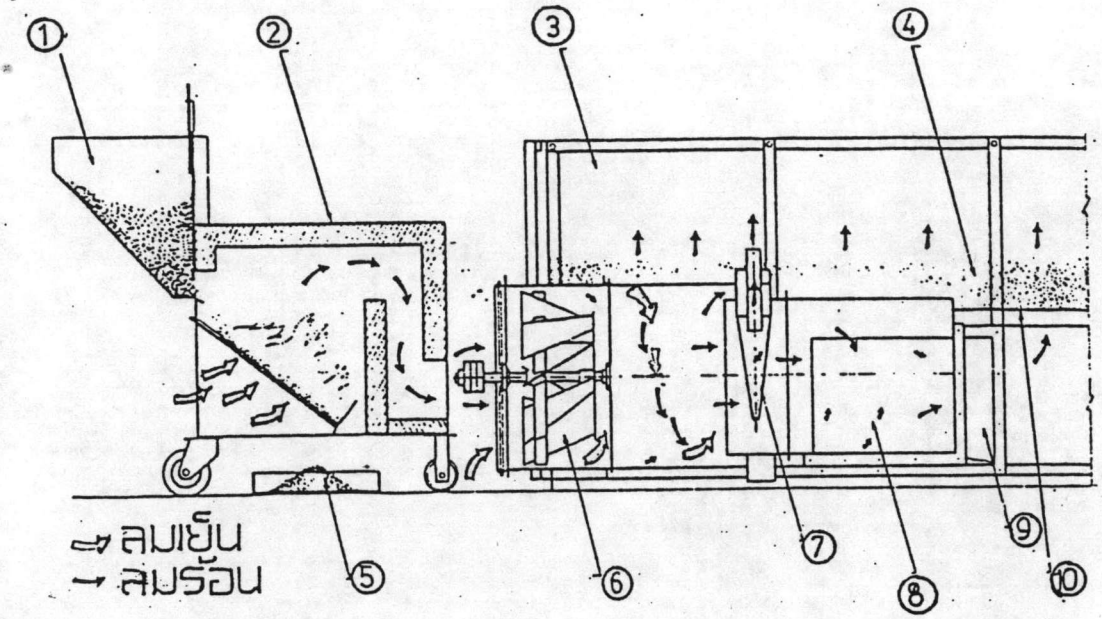
อุปกรณ์อบแห้งแบบนี้อาศัยเพียงความร้อนจากเครื่องยนต์ที่ปั่นพัดลมไปอบแห้ง เมล็ดพืชจึงได้ลมร้อนที่มีคุณภาพดี (ความชื้นต่ำ) ระดับอุณหภูมิไม่สูงมาก และอุณหภูมิสม่ำเสมอเนื่องจากเครื่องยนต์ทำงานคงที่ สามารถใช้เครื่องกำเนิดความร้อนอื่น ๆ เป็นแหล่งให้ความร้อนเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งได้ แต่ราคาต้นทุนในการซื้ออุปกรณ์และเครื่องกำเนิดความร้อนเสริมตลอดทั้งเชื้อเพลิงที่ใช้คือน้ำมันล้วนมีราคาแพงทั้งสิ้น

(2) เครื่องอบเมล็ดพืชของกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร [87]

ส่วนประกอบของอุปกรณ์คือ กะบะใส่เมล็ดพืช, เทอร์โมมิเตอร์, ตะแกรง, ท่อผ้าใบ, เครื่องยนต์, เตาเผาแกลบ, ท่อลม และพัดลม ดังรูป 2-10.1 และผังการไหลเวียนของลมร้อน ดังรูป 2-10.2



รูปที่ 2-10.1 เครื่องอบเมล็ดพืชของกองเกษตรวิศวกรรม (1) กะบะใส่เมล็ดพืช (2) เทอร์โมมิเตอร์ (3) ตะแกรง (4) ท่อผ้าใบ (5) เครื่องยนต์ (6) เตาเผาแกลบ (7) ท่อลม (8) พัดลม



รูปที่ 2-10.2 ผังแสดงการไหลเวียนของลมร้อนในเครื่องอบเมล็ดพืชของกองเกษตรวิศวกรรม

(1) กะบะใส่แกลบ (2) เตาเผาแกลบ (3) กะบะใส่เมล็ดพืช

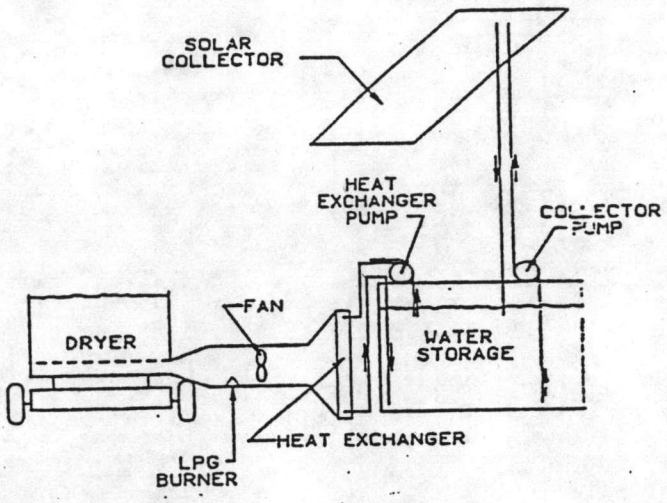
(4) เมล็ดพืช (5) เถ้า (6) พัดลม (7) ท่อดักฝุ่น

(8) ช่องอากาศ (9) ท่อผ้าใบ (10) พื้นตะแกรง

เครื่องอบเมล็ดพืชนี้ใช้เศษวัสดุทางการเกษตรเป็นแหล่งเชื้อเพลิง นำเอาลมร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มาใช้โดยตรง การควบคุมอุณหภูมิลมร้อนให้อยู่ในช่วงที่ต้องการทำได้ลำบาก เพราะว่าอัตราการเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ และลมร้อนที่ได้มีความชื้นสูง ทำให้ประสิทธิภาพการลดความชื้นลดลง (ความชื้นในลมร้อนได้มาจากความชื้นจากการสันดาป + ความชื้นจากอากาศที่ใช้สันดาป + ความชื้นจากเชื้อเพลิง ดูภาคผนวก ง-1)

(3) เป็นระบบการลดความชื้นถั่วลิสงด้วยน้ำร้อนซึ่งรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ (peanut drying system using solar heated water) [76]

ดูผังแสดงการทำงานของระบบลดความชื้นถั่วลิสงด้วยความร้อนจากน้ำซึ่งรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ รูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 ผังแสดงการทำงานของระบบลดความชื้นถั่วลิสงด้วยความร้อนจากน้ำ ซึ่งรับพลังงานจากแสงอาทิตย์

แหล่งพลังงานของระบบนี้คือแสงอาทิตย์ เก็บรวบรวมพลังงานไว้ที่ solar collector แล้วถ่ายเทสู่น้ำ (water storage) ปั๊มน้ำร้อนเข้าสู่แผ่นถ่ายเทความร้อน (heat exchanger) ใช้พัดลมดูดลมผ่านแผ่นถ่ายเทความร้อน ได้ลมร้อนไปลดความชื้นถั่วลิสง อาจจะมี LPG burner เป็นแหล่งให้ความร้อนเสริม ลมร้อนที่ได้จากระบบนี้มีความชื้นต่ำ สะอาด ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่ต้องการได้ แต่การพึ่งแสงอาทิตย์อาจไม่เหมาะสมที่จะใช้ในช่วงฤดูฝนของประเทศไทย