บทที่ 3

คุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือก

ในการศึกษาเกี่ยวกับระบบอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก จำเป็นต้องทราบค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ทั้งทางกายภาพและทางความร้อนที่สำคัญของเมล็ดข้าวเปลือกก่อน ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาและค้นคว้าจากงานวิจัยต่างๆ ที่มีผู้ทำการวิจัยไว้แล้วมีดังนี้

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวเปลือก

3.1.1 ขนาดและชนิดของเมล็ดข้าวเปลือก

ขนาดที่สำคัญของเมล็ดข้าวเปลือกมี ขนาดความยาว ขนาดความกว้างและขนาดความหนา ซึ่งเป็นการวัดค่าได้จากการนำตัวอย่างของเมล็ดข้าวเปลือกมาทำการวัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกที่นำมาวัด

ชนิดของเมล็ดข้าวเปลือก จะแบ่งตามค่าความยาวของเมล็ดข้าวเปลือกดังนี้

ก. ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดสั้น(Short grain rough rice)
มีขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก ต่ำกว่า 5.5 มม.

ข. ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง(Medium grain rough rice)
มีขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก ตั้งแต่ 5.5 ถึง 6.5 มม.

ค. ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว(Long grain rough rice)
มีขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก ตั้งแต่ 6.5 ถึง 7.5 มม.

ง. ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวมาก(Extra long grain rough rice)
มีขนาดความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก ตั้งแต่ 7.5 มม. ขึ้นไป

สำหรับพันธ์ข้าวเปลือกที่นิยมปลูกกันมากในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นชนิดเมล็ดยาวจากรายงานของ กองการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ดูในภาคผนวก ก

3.1.2 ความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือก(Bulk density) ρp

Wratten et al (1969), Morita และ Singh (1977) ได้ทำการศึกษาความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือกไว้ โดยสามารถเขียนเป็นรูปของสมการที่เป็นฟังก์ชั่นของค่าปริมาณความชื้นไว้ดังนี้ .

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดสั้น

$$\rho p = 583.6 + 4.27\ (Mw) \qquad (3.1)$$

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง

$$\rho p = 499.7 + 8.33\ (Mw) \qquad (3.2)$$

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว

$$\rho p = 519.4 + 5.29\ (Mw) \qquad (3.3)$$

เมื่อ

ρp - ความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือก(kg/m^3)

Mw - ปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก(% มาตรฐานเปียก)

D.C. Suministrado (1979) ได้ศึกษาหาค่าของความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวโดยศึกษาจากข้าวเปลือกที่ปลูกในประเทศไทย มีสมการที่อยู่ในรูปเช่นเดียวกับรูปสมการของ Wratten et al คือ

$$\rho p = 526.1 + 1.2\ (Mw) \qquad (3.4)$$

3.1.3 ความพรุนของกองเมล็ดข้าวเปลือก ϵp

ความพรุนเป็นค่าที่เกิดจากการที่เมล็ดข้าวเปลือกเมื่อกองไว้ จะมีช่องว่าง

ของอากาศแทรกอยู่ระหว่างเมล็ด โดยคิดเป็นเปอร์เซนต์ของค่าปริมาตรทั้งหมดของกองเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งจากการศึกษาของ Wratten et al (1969), Morita และ Singh (1977) ค่าเปอร์เซนต์ของความพรุนของกองเมล็ดข้าวมีรูปสมการดังนี้

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวป่านกลาง

$$\epsilon p = 69.05 + 0.885\ (Mw) \qquad (3.5)$$

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว

$$\epsilon p = 65.55 + 0.475\ (Mw) \qquad (3.6)$$

3.1.4 พื้นที่ผิวจำเพาะ(specific surface area) , Sa

พื้นที่ผิวจำเพาะของเมล็ดข้าวเปลือกได้มีผู้ทำการศึกษาค้นค้าวิจัยไว้ เช่น Wratten et al (1969), Hosokawa และ Motohashi (1975), Morita และ Singh (1977) ซึ่งต่อมา Fontana (1983) ได้นำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของเมล็ดข้าวโดยมีค่าดังนี้

เมล็ดข้าวเปลือกชนิดเมล็ดสั้น

$$Sa = 2054 \quad m^2/m^3 \qquad (3.8)$$

เมล็ดข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวป่านกลาง

$$Sa = 2361 \quad m^2/m^3 \qquad (3.9)$$

เมล็ดข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว

$$Sa = 2437 \quad m^2/m^3 \qquad (3.10)$$

3.1.5 ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวลความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (Diffusion Coefficient),D

ค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวลความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกได้มีผู้ทำการศึกษาค้นคว้าไว้ได้แก่ Wang และ Singh (1978), Hussain et al (1973), Bakshi

และ Singh (1979), Steffe และ Singh (1980,1982) ดังแสดงไว้ในตาราง 3.1 และ 3.2 ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ในตารางสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการซึ่งเป็นฟังก์ชั่นอุณหภูมิของอากาศ ดังนี้

$$D = A\,[\exp (B/Ta)] \qquad (3.11)$$

เมื่อ

D - ส.ป.ส การพุ้งกระจายทางมวลความชื้น (m^2 /hr.)
Ta - อุณหภูมิสมบูรณ์ของอากาศ (K)
A,B - ค่าคงที่ ดูในตาราง 3.1 , 3.2

Hussain et al (1973) ได้วิจัยหาค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวลของเมล็ดข้าวเปลือกไว้ในรูปของสมการที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิของอากาศและค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก มีรูปสมการดังนี้คือ

$$D = A\,[\exp (B.Md)] \qquad (3.12)$$

เมื่อ

$A = 9.48787 \times 10^{-3}\,[\exp (-7730.65 / 1.8\ Ta)$
$B = 8.833 \times 10^{-4}\ (1.8\ Ta) - 0.3788$
Md - ปริมาณความชื้น , % มาตรฐานแห้ง

สมการ 3.12 เป็นสมการที่ Hussaain พิจารณาเมล็ดข้าวเป็นวัตถุรูปทรงกระบอก อุณหภูมิของอากาศอยู่ในช่วง 40 - 71 $^{\circ}$ C ความชื้นสัมพัทธ์ 20 - 60 %

Fontana (1983) ได้ยืนยันว่าสมการของ Steffe (1979) ของ Steffe และ Singh (1982) ให้ค่าที่ถูกต้องมากที่สุดเมื่อนำค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายนี้ไปใช้ในการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกแบบไหลในทิศทางเดียวกันในประเทศสหรัฐอเมริกา

014313

ตาราง 3.1 ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวลความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก และส่วนประกอบของเมล็ดข้าวเปลือก สมมุติฐานให้เมล็ดข้าวมีสัณฐานเป็นทรงกลม

สมการ D = A * exp(B/Ta)		
ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวล (m^2 /hr.)	A	B
เนื้อข้าวสาร (starchy endosperm)[1]	0.00257	-2880.0
รำ (bran)[1]	0.79700	-5110.0
แกลบ (hull)[1]	484.00000	-7380.0
ข้าวเปลือกทั้งเมล็ด (whole rough rice kernel)[2]	1.63770	-4151.0
ข้าวเปลือกทั้งเมล็ด[3]	33.60000	-6420.0
ข้าวเปลือกทั้งเมล็ด[4]	33029.0000	-8624.0
ข้าวเปลือกทั้งเมล็ด[4]	0.7979	-4933.0
ข้าวเปลือกนึ่งทั้งเมล็ด[4]	401.6200	-6744.0
ข้าวกล้องนึ่งทั้งเมล็ด(parboiled brown kernel)[4]	401.62	-6744.0

เมื่อ

Ta - อุณหภูมิสมบรูณ์ของอากาศ ($^{\circ}K$)

D - ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวลความชื้นของข้าวเปลือก (m^2/hr.)

[1] ข้อมูลจาก Steffe และ Singh (1980a):short grain rough rice
รัศมีของเมล็ดข้าวเปลือก r = 0.177 cm.

[2] ข้อมูลจาก Wang และ Singh (1978):medium grain rough rice
รัศมีของเมล็ดข้าวเปลือก r = 0.184 cm.

[3] ข้อมูลจาก Steffe และ Singh (1982):short grain smooth hulled
รัศมีของเมล็ดข้าวเปลือก r = 0.177 cm.

[4] ข้อมูลจาก Bakshi และ Sing (1979):short grain smooth hulled)
รัศมีของเมล็ดข้าวเปลือก r = 0.177 cm.

ตาราง 3.2 ค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวลความชื้นของข้าวเปลือกซึ่งคำนวณได้จากตาราง 3.1

ค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางมวลความชื้น(m^2 /hr.)x1,000,000,000					
อุณหภูมิ (C)	ชนิดเมล็ดสั้น (Steffe.1979)			ชนิดเมล็ดยาวปานกลาง (Steffe และ Singh.1982)	(Wang และ Singh 1978)
	ข้าวสาร	รำ	แกลบ	ทั้งเมล็ด	ทั้งเมล็ด
0	68	6	1	2	2
10	199	12	2	5	4
20	140	22	6	10	7
30	193	38	13	22	11
40	262	66	28	42	17
50	348	109	59	80	26
60	455	175	117	145	38
70	585	274	224	254	55
80	748	417	411	432	78
90	938	621	730	712	107
100	1152	906	1258	1143	146

3.1.6 <u>ค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือก</u> Me , EMC
(Equilibrium moisture conten of rough rice)

ค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือก หมายถึง ค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ณ จุดที่ค่าปริมาณความชื้นภายในของเมล็ดข้าวเปลือก มีค่าเท่ากับค่าปริมาณความชื้นของบรรยากาศสิ่งแวดล้อม ซึ่งเมื่อมีค่าเท่ากันจะไม่เกิดการแลกเปลี่ยนมวลความชื้นซึ่งกันและกัน โดยปกติที่อุณหภูมิและค่าปริมาณความชื้นของอากาศค่าหนึ่งจะมีค่าปริมาณ

ความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือกค่าหนึ่งซึ่งจากการค้นคว้าของ Steffe (1980) พบว่าค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือกจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่อไปนี้ คือ อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ลักษณะและชนิดพันธ์ของข้าวเปลือก และยังขึ้นอยู่กับสภาพการดูดหรือคายความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกด้วย แต่โดยปกติการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือกเมล็ดข้าวเปลือกจะคายความชื้นออกมากกว่า

ความรู้ในเรื่องค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดพืช มีความสำคัญอย่างมากต่อการอบแห้ง เพราะจะทำให้ทราบค่าปริมาณความชื้นต่ำสุดของเมล็ดพืช ณ สภาวะของอากาศขณะนั้น ซึ่งค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์นี้จะเป็นค่าต่ำสุดที่จะสามารถอบให้เมล็ดพืชแห้งได้ โดยเมล็ดพืชจะไม่แห้งเกินไป ซึ่งถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นแห้งเกินไปจะส่งผลให้เมื่อปล่อยเมล็ดพืชไว้ในสภาวะปกติเมล็ดพืชจะดูดความชื้นเข้าไปในเมล็ดพืชอีก

สมการของค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือกได้มีผู้ทำการค้นคว้าไว้หลายคนได้แก่

1. Henderson (1952) ได้สร้างสมการของค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวโพดไว้และต่อมา Thompson (1972) ได้พัฒนาสมการขึ้นใหม่จัดเป็นสมการแบบ Henderson-Thompson ซึ่งเป็นสมการที่ได้จากการศึกษากับเมล็ดข้าวโพด ต่อมา Pfost et al (1976) ได้ใช้รูปสมการของ Henderson-Thompson ศึกษาหาค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือก สมการที่ได้ใหม่จากการศึกษาของ Pfost et al ถือว่าเป็นสมการที่ให้ผลแน่นอนและถือกันว่าเป็นการเริ่มแรกในการศึกษาการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก รูปสมการของ Pfost et al มีรูปสมการดังนี้

$$Me = [.325 - .0460 \ln\{-1.987(Tc + 35.703)\ln(RH)\}] \times 100 \qquad (3.13)$$

เมื่อ

Me - ค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ , % มาตรฐานแห้ง

RH - ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จุดทศนิยม (.05 - 0.9)

Tc - อุณหภูมิของอากาศ C (10 - 40 C)

Zuritz และ Singh (1978) ได้สร้างสมการเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น

สมดุลย์ของเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นใหม่เป็น 2 สมการ สมการแรกในช่วงของอุณหภูมิตั้งแต่ 10 - 40 ° C และ ต่อมาในปี 1980 Zuritz ได้สร้างสมการที่สองเพื่อใช้ในช่วงของอุณหภูมิที่สูงกว่า 40 ° C ขึ้นไป ซึ่งเหมาะกับการอบแห้งในกรณีที่ใช้อุณหภูมิของอากาศสูง ๆ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วง 10 % - 80 % สมการเป็นดังนี้

สมการค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของข้าวเปลือก ในช่วงอุณหภูมิ 10 - 40 C

$$Me = [(-\ln(1-RH))Tak / (1-Tak/641.7)^{-23.4380}(2.667 \times 10^{-7})]$$
$$[1 / 4.0 \times 10^{5} (Tak^{-2.1166})] \qquad (3.15)$$

สมการค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์ของข้าวเปลือก อุณหภูมิของอากาศตั้งแต่ 40 C ขึ้นไป

$$Me = [(-\ln(1-RH))Tak / (1-Tak/641.7)^{-10.178}(1.798 \times 10^{-03})]$$
$$[1 / 451.658 (Tak^{-0.938})] \qquad (3.16)$$

เมื่อ

Me - ค่าปริมาณความชื้นสมดุลย์

Tak - อุณหภูมสมบรูณ์ของอากาศ (K)

RH - ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ จุดทศนิยม

ซึ่งสมการที่ (3.15) , (3.16) จะใช้ในการวิจัยครั้งนี้

3.2 คุณสมบัติทางความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือก

3.2.1 ค่าความร้อนจำเพาะของเมล็ดข้าวเปลือก (specific heat), Cp

Wratten et al (1969), Morita และ Singh (1977) ได้ทำการศึกษาและให้ค่าสมการของค่าความร้อนจำเพาะของเมล็ดข้าวเปลือกไว้ดังนี้

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดสั้น

$$Cp = 1.26947 + 0.03488 (Mw) \qquad (3.17)$$

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง

$$Cp = 0.92145 + 0.05447\ (Mw) \qquad (3.18)$$

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว

$$Cp = 1.20953 + 0.04480\ (Mw) \qquad (3.19)$$

เมื่อ

Cp - ค่าความร้อนจำเพาะของเมล็ดข้าวเปลือก (kJ/kg C)

Mw - ค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก % มาตรฐานเปียก

3.2.2 <u>ส.ป.ส.การนำความร้อนของกองเมล็ดข้าวเปลือก</u>
(Bulk thermal conductivity) , k

Wratten <u>et al</u> (1969), Morita และ Singh (1977) ได้แสดงรูปสมการการหาค่า ส.ป.ส.การนำความร้อนของเมล็ดข้าวไว้ในรูปของสมการที่เป็นฟังชั่นของค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกไว้ ดังนี้คือ

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดสั้น

$$k = 0.09999 + 0.001107\ (Mw) \qquad (3.20)$$

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง

$$k = 0.08656 + 0.001327\ (Mw) \qquad (3.21)$$

D.C.Suministrado (1979) ได้ทำการศึกษาและสร้างสมการของค่า ส.ป.ส.การนำความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือกไว้โดยมีรูปสมการดังนี้

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว

$$k = 0.0374 + 0.0025\ (Mw) + 0.0050\ (T) \qquad (3.22)$$

เมื่อ

k - ค่า ส.ป.ส.การนำความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือก (W/m C)

Mw - ค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก % มาตรฐานเปียก

T - อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือก (C)

3.2.3 <u>ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางความร้อนของกองเมล็ดข้าวเปลือก</u>

(Bulk thermal diffusivity) , α

ค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือกซึ่ง Wratten <u>et al</u> ได้ทำการศึกษาและรายงานไว้มีรูปสมการดังนี้

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดสั้น

$$\alpha = 0.000451 - 5.85 \times 10^{-06} (Mw) \qquad (3.23)$$

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง

$$\alpha = 0.000456 - 8.96 \times 10^{-06} (Mw) \qquad (3.24)$$

ซึ่งสมการ (3.23) ,(3.24) นี้หาได้จากการคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$\alpha = 3.6 (k) / Cp \rho p \qquad (3.25)$$

เมื่อ

α - ค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางความร้อนของเมล็ดข้าว (m^2 /hr)

k - ค่า ส.ป.ส.การนำความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือก(W/m C)

ρp - ค่าความหนาแน่นของกองเมล็ดข้าวเปลือก (kg/m^3)

ค่าของ ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางความร้อน α จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.000304 ถึง 0.000395 m^2 /hr เมื่อข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 11 - 22 % มาตรฐานเปียก

สำหรับค่า ส.ป.ส.การพุ้งกระจายทางความร้อนของข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (3.25) เช่นเดียวกัน ซึ่งค่า α ของข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.00025 ถึง 0.00380 m^2 /hr

3.2.4 ส.ป.ส.การพาความร้อน

(convective heat transfer coefficient) , h_c

จากการค้นคว้าของ Wang et al (1979) ได้หาค่า ส.ป.ส.การพาความร้อนของข้าวเปลือกไว้ ซึ่งมีรูปสมการที่เป็นฟังก์ชั่นของอัตราไหลของอากาศ ดังนี้ คือ

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง (Wang's model)

$$h_c = 0.00718 (Ga^{1.2998}) \quad (3.26)$$

เมื่อ

h_c - ส.ป.ส.การพาความร้อนของข้าวเปลือก (kJ/m^2 C hr.)

Ga - อัตราไหลของอากาศหรือลมร้อน (kg/m^2 hr.)

สำหรับข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว Walker (1978) ได้ใช้สมการ (3.27) ในการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว ซึ่งสมการที่ Walker ใช้มีรูปสมการดังนี้ คือ

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาว

$$h_c = 0.672 (Ga^{0.4899}) \quad (3.27)$$

Adnan (1982) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกแบบไหลในทิศทางเดียวกันโดยใช้ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง และได้สร้างสมการของค่า ส.ป.ส.การพาความร้อนขึ้นใหม่ซึ่งมีรูปสมการดังนี้

ข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวปานกลาง (Adnan's model)

$$h_c = 1.7 \times 10^{-05} (Ga^{2.023}) \quad (3.28)$$

สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้สมการที่ (3.27) ซึ่งเป็นค่า h_c ของข้าวเปลือกชนิดเมล็ดยาวที่ตรงกับคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกที่ปลูกในประเทศไทย

3.2.5 ค่าปริมาณความร้อนในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าวเปลือก (Latent heat of vaporization), hfg

จากการศึกษาของ Wang และ Singh (1978) พบว่าค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าวเปลือก จะเป็นสมการที่เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิและค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$hfg = [1547.84 - 1.46\ (\theta)\ (Md^{-0.346})] \qquad (3.29)$$

เมื่อ

hfg - ค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าว (kJ/kg)

θ - อุณหภูมิของข้าวเปลือก ($^{\circ}$ C)

Md - ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือก จุดทศนิยม มาตรฐานแห้ง

Brook และ Foster (1979) ได้ทำการถึงค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าวเปลือก โดยได้ทำการวิจัยกับข้าวเปลือกทั่ว ๆ ไปไม่จำกัดพันธุ์และชนิด ได้รูปสมการดังนี้ คือ

$$hfg = 2.323\ \{1094.-1.026\ (\theta + 17.78)\}$$
$$\{1.0 + 2.9462\ \exp(-21.733\ (Md))\} \qquad (3.30)$$

สมการที่ (3.29) และ (3.30) เป็นสมการที่ใช้เมื่ออุณหภูมิของเมล็ดข้าวสูงไม่เกิน 40 $^{\circ}$ C แต่ในการอบแห้งเมล็ดข้าวเปลือก สามารถอบแห้งโดยให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงได้ถึง 55 $^{\circ}$ C โดยที่คุณสมบัติของเมล็ดข้าวเปลือกไม่มีความเสียหาย ซึ่ง Adnan H.Z. (1982) จึงได้ทำการศึกษาและวิจัยหาค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าวใหม่ โดยแบ่งช่วงอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเป็นสองช่วง คือ ช่วงแรกอุณหภูมิข้าวเปลือกระหว่าง 10 - 40 $^{\circ}$ C และช่วงที่สองอุณหภูมิระหว่าง 40 - 60 $^{\circ}$ C สมการเป็นดังนี้

สมการค่าปริมาณความร้อนในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าวเปลือก

อุณหภูมิข้าวเปลือกระหว่าง 10 - 40 ° C

$$hfg = (1626.25 - 1.546\ (\theta)\ )\ (Md^{-0.3162}) \qquad (3.31)$$

อุณหภูมิข้าวเปลือกระหว่าง 40 - 60 ° C

$$hfg = (1862.45 - 1.757\ (\theta)\ )\ (Md^{-0.213}) \qquad (3.32)$$

ซึ่งในการวิจัยของ Adnan H.Z. ได้ทำการเปรียบเทียบสมการของเขากับสมการที่ (3.29) และ สมการที่ (3.30) พบว่าสามารถใช้สมการที่ (3.29) ได้ ซึ่งให้ผลตรงกับสมการที่ (3.31) เมื่ออุณหภูมิอยู่ในช่วง 0 - 40 C ตามกำหนด

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะใช้สมการของ Adnan H.Z. คือสมการที่ (3.31) และ (3.32) หาค่าปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากเมล็ดข้าวเปลือก