

การศึกษาวอเตอร์ซอร์พชัน ไอโซเทอม และ ผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติ
ทางกายภาพของเมล็ดงาดำ

STUDY ON WATER SORPTION ISOTHERM AND EFFECT OF MOISTURE
CONTENT ON PHYSICAL PROPERTIES OF BLACK SESAME SEEDS



25พ.
17672 ก
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... **61995**
วัน,เดือน,ปี..... **25 ก.ค. 2549**

b. 11583903
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาวอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอม และ ผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติ
ทางกายภาพของเมล็ดงาดำ

STUDY ON WATER SORPTION ISOTHERM AND EFFECT OF MOISTURE
CONTENT ON PHYSICAL PROPERTIES OF BLACK SESAME SEEDS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาอวอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอม และ ผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพ
ของเมล็ดงาดำ

STUDY ON WATER SORPTION ISOTHERM AND EFFECT OF MOISTURE CONTENT
ON PHYSICAL PROPERTIES OF BLACK SESAME SEEDS

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|------------------|----------------|--------------|----------|
| 1. นายกิตติ | ชินยงค์ | รหัสประจำตัว | 45015718 |
| 2. นางสาวพิทยาพร | รสด้วง | รหัสประจำตัว | 45015733 |
| 3. นายสุธี | โพธิ์วังตระกุล | รหัสประจำตัว | 45015752 |

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์

(ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาวอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอม และ ผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของ
เมล็ดงาดำ

นายกิตติ	ยืนยงค์	45015718
นางสาวพิทยาพร	รสด้วง	45015733
นายสุธี	โพธิ์วังตระกูล	45015752
ผศ.ดร. พิมพ์เพ็ญ	พรเฉลิมพงศ์	
อาจารย์ที่ปรึกษา		
อ.เอกสิทธิ์	ศรีธรรม	
อาจารย์ที่ปรึกษา		
ปีการศึกษาที่ 2547		

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาวอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอม และ ผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาดำ พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของความชื้น (ฐานแห้ง) กับค่าความชื้นสมดุล ที่อุณหภูมิในช่วง 20-60 องศาเซลเซียส คือ แบบจำลองของ Modified Chung-Pfost. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในช่วงระดับความชื้น 5.2% - 42.97 % (ฐานเปียก) พบว่าความกว้าง ความยาว ความหนา เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต พื้นที่ผิว พื้นที่ภาพฉาย มุมกองเชิงพลวัต และ มุมกองเชิงสถิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นทรงกลมไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นเนื้อความหนาแน่นรวม และ ความพรุนลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์สูงสุดพบบนพื้นผิวของอลูมิเนียม รองลงมาคือ อะคริลิก ลังกะสี และ สเตนเลส ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY ON WATER SORPTION ISOTHERM AND EFFECT OF MOISTURE
CONTENT ON PHYSICAL PROPERTIES OF BLACK SESAME SEEDS**

Kitti Yuenyong

Pittayaporn Rosduang

Sutee Pothiwangtrakul

Asst.Prof.Dr. Pimpen Pornchaloempong

Advisor

Mr. Eakasit Sritham

Advisor

ABSTRACT

This research was carried out to determine water sorption isotherm and effect of moisture content on physical properties of Sesame seeds. The modified Chung-Pfost model was found to be the most suitable for describing the relationship among moisture content (d.b.) and equilibrium moisture content in the temperature range 20-60°C. In the above moisture range, The mean seeds width length, thickness, geometric mean diameter, surface area, projected area, dynamic angle of repose and static angle of repose increased when moisture content increased. The sphericity did not change when moisture content increased. Furthermore were found the true density, bulk density and porosity decreased when moisture content increased. The static and dynamic coefficients of friction were found highest on aluminium surface follow by on acrylic, galvanized steel and stainless surface respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ

ผศ. ดร. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา ให้ความรู้มากมายที่ไม่เคยรู้มาก่อนและนำไปใช้ได้จริง ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพในทุกๆ เรื่อง จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ. ดร. มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ ที่ให้คำปรึกษา และ ช่วยแปลภาษาอังกฤษมาตลอด

อ. เอกสิทธิ์ ศรีธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้อย่างละเอียด และ คอยเป็นห่วงอยู่ตลอดในช่วงการทดลอง จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

อ. กันต์กนิษฐ์ ขวัญพุกฤษ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยแนะนำและถามไถ่อยู่เสมอ

อ. มธรรดา จิโนรส ที่ช่วยสอนการพรีดกราฟแบบไม่เป็นเส้นตรง และ ช่วยแปลภาษาอังกฤษให้อยู่เสมอ

พื่อน้ำ พี่แมน และ พี่บุญนำ ที่ช่วยให้ความสะดวกเรื่องการใช้สถานที่และการใช้อุปกรณ์ต่างๆระหว่างทำการทดลอง

พ่อ และ แม่ ที่ให้การสนับสนุนด้านการเงิน และ กำลังใจมาตลอดการทำงาน

นาย พิเชษฐ ตันจริยานนท์ ที่ให้ยืมกล้องดิจิทัล ตลอดการทำงาน

นาย สุรเชษฐ์ ประดับมุข ที่สอนการใช้โปรแกรม Photoshop ในการคำนวณหาค่าพื้นที่ภาพถ่าย และ เทคนิคต่างๆ ในการทำรูปเล่ม

นางสาว กนกวรรณ บัวจันทร์ ที่ช่วยดูแลขั้นตอนต่างๆในการทดลองหาค่า วอเตอร์ซอร์พชั่น ไอโซเทอม และ ช่วยในการทำไฟลัวิตไอในการพรีเซ็นต์โปรเจ็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	
2.1 ผลและเมล็ดของงา	2
2.2 พันธุ์งา	3
2.3 การใช้ประโยชน์จากเมล็ดงา	5
2.4 คุณค่าทางโภชนาการ	6
2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดงา	7
2.6 วอเตอร์ซอร์พชั่นไอโซเทอม	7
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	
3.1 วอเตอร์ซอร์พชั่นไอโซเทอม	15
3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงา	17
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 วอเตอร์ซอร์พชั่นไอโซเทอม	23
4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ	24
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	36
ภาคผนวก ข	45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของผลหรือฝักของงา	2
2.2 ภาพตัดขวางของฝักงาลักษณะและการจัดเรียงของเมล็ดในฝักที่มี 2 คาร์เพล	2
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ กับ ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง	7
2.4 ปริมาณน้ำอิสระในโชนต่างๆ	8
2.5 ปฏิกิริยาการยีสต์เตอรีซิส	10
2.6 การแบ่งไอโซเทอมเป็น 3 แบบ	10
2.7 ซอร์พชั่นไอโซเทอมของอาหาร 4 ประเภท	11
3.1 ภาพระปิดสนิทที่ใช้ในการทดลองหาค่า วอเตอร์ซอร์พชั่น ไอโซเทอม	15
3.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์และตัวอย่างเมล็ดงาก่อนการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล	18
3.3 การวัดเมล็ดงา	18
3.4 การวัดความสูงและความกว้างของเมล็ดงาที่เหลืออยู่ในกล่อง	20
3.5 การวัดความสูงของกองวัสดุ	21
3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน	21
4.1 วอเตอร์ซอร์พชั่น ไอโซเทอม ของเมล็ดงาที่อุณหภูมิต่างๆ	23
4.2 ความถี่ของค่าความกว้าง ความยาว และ ความหนา ของเมล็ดงาที่ความชื้น 5.2% (ฐานเปียก)	24
4.3 ความกว้าง ความยาว และ ความหนา ที่ระดับความชื้นต่างๆ	27
4.4 ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตที่ระดับความชื้นต่างๆ	27
4.5 ค่าความเป็นทรงกลมที่ระดับความชื้นต่างๆ	28
4.6 ค่าพื้นที่ภาพฉาย และ พื้นที่ผิวที่ระดับความชื้นต่างๆ	28
4.7 ค่าความหนาแน่นเนื้อ และ ความหนาแน่นรวม ที่ระดับความชื้นต่างๆ	29
4.8 ค่าความพรุนที่ระดับความชื้นต่างๆ	30
4.9 ค่ามุมกองเชิงพลวัตและ มุมกองเชิงสถิตย์ ที่ระดับความชื้นต่างๆ	30
4.10 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ที่ระดับความชื้นต่างๆ	31
4.11 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ที่ระดับความชื้นต่างๆ	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสารละลาย (%ERH)	16
3.2 แบบจำลองที่ใช้	17
4.1 ค่า E_s , P และ ค่าพารามิเตอร์ ของ water activity models	24
4.2 คุณสมบัติด้านต่างๆของเมล็ดงาที่ความชื้น 5.2% (ฐานเปียก)	25
ก.1 แสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม Photoshop ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ภาพฉายที่ความชื้น 5.2 % (ฐานเปียก)	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

งานเป็นพืชน้ำมันที่สำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย เมล็ดงามีคุณค่าทางด้านโภชนาการซึ่งอุดมสมบูรณ์ไปด้วยคาร์โบไฮเดรต (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2004) โปรตีน (19-25%) (Tunde-Akintunde & Akintunde, 2004) ธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี แคลเซียม วิตามินบี ฟอสฟอรัส (นิรนาม1, 2004) และมีน้ำมันมากถึง 44% (Tunde-Akintunde & Akintunde, 2004) น้ำมันงาที่สกัดได้เป็นน้ำมันที่มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง ช่วยควบคุมระดับของโคเลสเตอรอลป้องกันไม่ให้เกิดหลอดเลือดแข็งตัวหรือเส้นเลือดอุดตัน ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหัวใจขาดเลือดได้อีกด้วย (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2004)

ในปี พ.ศ. 2544 พบว่าประเทศไทยมีการส่งออกงาร้อยละ 65 เป็นมูลค่า 700-900 ล้านบาท และ ร้อยละ 35 ที่เหลือทำการขายภายในประเทศ (กรมวิชาการเกษตร, 2001) พันธุ์ที่นิยมปลูกมี 4 พันธุ์มีผลผลิตต่อไร่ ดังนี้ 1. พันธุ์งาดำบุรีรัมย์ ผลผลิต 60-130 กิโลกรัมต่อไร่ 2. พันธุ์งาดำนครสวรรค์ ผลผลิต 60-130 กิโลกรัมต่อไร่ 3. พันธุ์งาดำ มก. 18 ผลผลิต 60-148 กิโลกรัมต่อไร่ และ 4. พันธุ์งาดำ มช. 2 ผลผลิต 80-150 กิโลกรัมต่อไร่ (นิรนาม2, 2004)

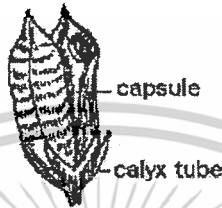
นอกจากงานจะใช้บริโภคโดยตรงแล้ว น้ำมันงายังใช้เป็นน้ำมันสำหรับประกอบอาหาร และใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิต สี มาการีน และ น้ำมันเคลือบเงา (Tunde-Akintunde & Akintunde, 2004) ปัจจุบันมีการนำเมล็ดงามาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิดเช่น งาดำคั่วอบกรอบปรุงรส งาดำอัดแท่ง น้ำมันถั่วเหลืองผสมงาดำ และนำไปกวนเพื่อเป็นไส้ขนม และ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ซึ่งก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการแปรรูปต้องมีการขนถ่าย การอบ การคัดแยก และการล้างทำความสะอาดเมล็ดงาก่อนการนำมาแปรรูปทำให้ความชื้นของเมล็ดงาเพิ่มขึ้น ซึ่งความชื้นมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาเป็นอย่างมาก ที่ผ่านมามีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของงาที่ความชื้นปกติ แต่ยังไม่มีการศึกษาผลของปริมาณความชื้นต่อคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงา

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือการศึกษาอวเตอร์ซอร์พชัน ไอโซเทอม และ คุณสมบัติทางกายภาพที่ระดับความชื้นต่างๆ ของเมล็ดงา ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการพัฒนากรรมวิธีออกแบบเครื่องมือเครื่องใช้และปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือที่มีอยู่ให้เหมาะสมกับกระบวนการและวิธีการผลิต รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อยกระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์และการจัดเก็บอย่างเป็นระบบ

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

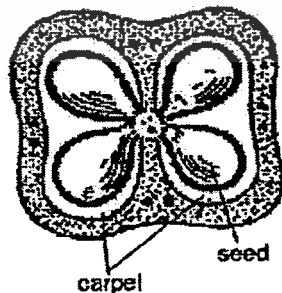
2.1 ผลและเมล็ดของงา (ภาควิชาพืชไร่ฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541)



รูปที่ 2.1 ลักษณะของผลหรือฝักของงา

ผลหรือฝักงาเป็นแบบ capsule เกิดตามมุมใบมีจำนวน 1-3 ฝักต่อมุมใบขึ้นอยู่กับพันธุ์ ลักษณะรูปร่างของฝักที่พบมากมี 2 แบบคือ รูปร่างแบบ 2 คาร์เพล และ 4 คาร์เพลสำหรับรูปร่างฝักงาแบบ 3 คาร์เพลนั้นจะพบน้อยมาก ฝักงา 1 คาร์เพล จะมี 2 ลอคคูล ดังนั้นฝักงา ที่มี 2 คาร์เพลจะมี 4 ลอคคูล ฝักงาที่มี 4 คาร์เพล มี 8 ลอคคูล ฝักงามีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความยาวประมาณ 0.9-4.6 เซนติเมตรที่ฐานของฝักมีกลีบเลี้ยงติดอยู่จนฝักแห้ง เปลือกฝักมีผิวเรียบหรือมีขนอ่อนขึ้นอยู่กับพันธุ์แล้วแต่พันธุ์หนึ่งเปลือกฝักงามีร่องลึกตามความยาว จำนวนร่องขึ้นอยู่กับจำนวนของลอคคูล ฝักแก่ มีสีน้ำตาล หรือม่วงดำ พันธุ์งาส่วนมากเมื่อฝักแก่จะแตกจากปลายฝักลงมา

เมล็ดงามีลักษณะเป็นรูปไข่ รูปหัวใจ มีขนาดเล็ก ประมาณ 1.5 x 3.0 มิลลิเมตร เชื้อหุ้มเมล็ดเรียบหรือมีลักษณะคล้ายร่างแหคลุมอยู่ มีสีขาว เหลือง เทา แดง น้ำตาล หรือดำ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด ประมาณ 2.0 - 4.0 กรัม มีจำนวนเมล็ด 40-400 เมล็ดต่อฝักหรืออาจมากกว่า ฝักและเมล็ดของงาจะพัฒนาจนมีขนาดโตเต็มที่ประมาณ 4-6 สัปดาห์หลังจากการผสมเกสร ซึ่งในขณะนั้นฝักยังมีสีเขียวและเมล็ดยังไม่แข็งการพัฒนาสีของเมล็ดยังไม่สมบูรณ์ การเก็บเกี่ยวจะทำเมื่อฝักเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเมล็ดมีการพัฒนาเป็นสีตรงตามพันธุ์อย่างสมบูรณ์แล้ว



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของฝักงาลักษณะและการจัดเรียงของเมล็ดในฝักที่มี 2 คาร์เพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 พันธุ์งา (ธวัชชัย และ คณะ, 2544 : 2-4)

2.2.1 พันธุ์งาทัวไป

พันธุ์งาที่ใช้ปลูกมีลักษณะประจำพันธุ์แตกต่างกันมากมาย งาที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์ทั้งที่เป็นพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ แต่ส่วนใหญ่ งาที่เกษตรกรนิยมปลูกมักเป็นงาพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งพันธุ์งาเหล่านี้ได้มีการแบ่งแยกออกเป็นหลายแบบตามลักษณะที่แตกต่างกัน แบ่งชนิดของงาที่ปลูกกันในประเทศไทยโดยยึดถือเอาอายุที่แตกต่างกันซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ งาพันธุ์เบา (อายุต่ำกว่า 90 วัน) งาพันธุ์เบาปานกลาง (อายุ 90-95 วัน) พันธุ์หนักอายุปานกลาง (อายุ 95-120 วัน) และ พันธุ์หนัก (อายุ 120-200 วัน) แต่ทรงยศ (2529) ได้แบ่งงาที่ปลูกในประเทศไทยออกตามสีของเมล็ดเป็น 3 กลุ่ม คือ งาดำ งาดำแดง และ งาขาว ซึ่งมีลักษณะดังนี้

2.2.1.1 งาดำ พันธุ์ที่รู้จักทั่วไปได้แก่ พันธุ์นครสวรรค์และพันธุ์บุรีรัมย์ งาพันธุ์นครสวรรค์ คือ มีลำต้นสูงใหญ่ ความสูงประมาณ 150 ถึง 200 เซนติเมตร แตกกิ่งก้านมาก ฝัก 4 กลีบ 8 พู มีอายุถึงวันเก็บประมาณ 90-100 วัน ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 100-130 กิโลกรัมต่อไร่ และพันธุ์บุรีรัมย์มีลักษณะทั่ว ๆ ไปคล้ายพันธุ์นครสวรรค์ ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยว 90-100 วัน แต่ผลผลิตเฉลี่ยค่อนข้างจะต่ำกว่าคือมีเพียง 60-90 กิโลกรัมต่อไร่

2.2.1.2 งาดำแดง หรือที่เรียก “งาเกษตร” มีพันธุ์ที่ปลูกทั่วไปได้แก่พันธุ์พิษณุโลก สามารถปลูกได้ทั้งต้นฝนและปลายฝน ลักษณะทรงต้นจะแตกกิ่งก้านมาก ฝักมี 2 กลีบ 4 พู เป็นส่วนใหญ่และมีขนาดเมล็ดใหญ่ อายุถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 75-80 วันผลผลิตเฉลี่ย 50-80 กิโลกรัมต่อไร่

2.2.1.3 งาขาว ได้แก่พันธุ์เลย พันธุ์เชียงใหม่ พันธุ์ชัยบาดาล พันธุ์สมทอดและพันธุ์ร้อยเอ็ด-1 งาพันธุ์เลยมีฝักขนาดเล็ก ฝักมี 2 กลีบ 4 พู เมล็ดมีขนาดเล็กเรียกว่า “งาไข่ปลา” มักปลูกในช่วงปลายฤดูฝนในเขตจังหวัดเลยเนื่องจากเป็นพันธุ์ที่ตอบสนอง ต่อช่วงแสง มีลำต้นและใบใหญ่จึงนิยมปลูกในช่วงฤดูฝนที่มีความยาววันเป็นวันสั้นเพื่อทำให้งาออกดอกเร็วขึ้น โดยมีอายุถึงวันเก็บเกี่ยวประมาณ 110-120 วัน

2.2.2 พันธุ์งาปรับปรุง

งาที่ปลูกในประเทศไทยแต่ละพันธุ์มีความแตกต่างกันในด้านสัณฐานวิทยาและความแตกต่างอันนี้เชื่อว่าจะส่งผลให้มีการสร้างน้ำหนักแห้งและผลผลิตของงาได้แตกต่างกัน โดยทั่วไปงาที่มีการแตกกิ่งมากและอายุมากมักมีน้ำหนักแห้งสูงกว่างาที่มีการแตกกิ่งน้อยและอายุสั้น นอกจากนี้ยังมีงาขาว งาแดงและ งาดำ สายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการปรับปรุงโดยกรมวิชาการเกษตรร่วมกับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และมหาลัยขอนแก่นคือ

2.2.2.1 งาขาวสายพันธุ์ มหาสารคาม 60 เป็นสายพันธุ์ที่ได้รับจากการคัดเลือกแบบสายพันธุ์บริสุทธิ์ T-85 ของประเทศอินเดียทำการปลูกและคัดเลือกพันธุ์ครั้งแรกที่สถานีทดลองพืชไร่มหาสารคาม เมื่อ พ.ศ. 2523 พบว่าสายพันธุ์นี้แตกต่างจากสายพันธุ์ T-85 คือ ไม่แตกกิ่ง ออกดอกเร็ว และมีขนาดเมล็ดโต ได้ทำการคัดเลือกพันธุ์และเปรียบเทียบพันธุ์ตามขั้นตอนการปรับปรุงพันธุ์ของกรมวิชาการเกษตร ถึงปี พ.ศ. 2529 รับรองพันธุ์ เมื่อวันที่ 20 กันยายน 2530 โดยกรมวิชาการเกษตร มีลักษณะเด่นคือ มีขนาดเมล็ดโต ผลผลิตสูงถึง 107 กิโลกรัมต่อไร่ อายุสั้นเพียง 80-85 วัน ลำต้นมีลักษณะตั้งตรง ไม่แตกกิ่ง ดอกมีสีขาว ดอกแรกออกเมื่ออายุ 28-30 วัน ฝักมีการเรียงตัวแบบตรงกันข้าม มี 1 ฝัก ต่อชอกใบ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดหนัก 2.90 กรัมเหมาะสำหรับปลูกในช่วงต้นฤดูฝน

2.2.2.2 งาขาวสายพันธุ์ มข. 1 เป็นงาที่ปรับปรุงพันธุ์มาจากงาขาว CW-103 ของจีน มีอายุสั้นเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 70-75 วัน ไร่ไว้ต่อช่วงแสง ต้นสูง 110-120 เซนติเมตร ไม่แตกกิ่ง การเรียงตัวของใบเป็นแบบตรงกันข้าม ฝักเป็นแบบ 2 พู เมล็ดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดหนัก 2.79 กรัม ให้ผลผลิตเฉลี่ย 100-180 กิโลกรัมต่อไร่ เหมาะจะปลูกในช่วงปลายฤดูฝน

2.2.2.3 งาแดงสายพันธุ์อุบลราชธานี1 เป็นงาซึ่งได้คัดเลือกพันธุ์ แบบสายพันธุ์บริสุทธิ์จาก พันธุ์ Hnanni 25/160 ซึ่งเป็นพันธุ์ที่มีต้นกำเนิดจากประเทศเมียนมาและได้รับเมล็ดพันธุ์จาก FAO เมื่อปี 2528 นำมาปลูกและศึกษาพันธุ์ ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ อุบลราชธานี พบว่ายังมีการกระจายตัวภายในสายพันธุ์อยู่มาก จึงทำการคัดเลือกพันธุ์แบบสายพันธุ์บริสุทธิ์ รับรองพันธุ์ เมื่อวันที่ 9 มกราคม 2536 โดยกรมวิชาการเกษตร มีลักษณะเด่นคือ ขนาดเมล็ดโตสีแดงสม่ำเสมอ น้ำหนัก 1,000 เมล็ดหนัก 3.16 กรัม ให้ผลผลิตสูงเฉลี่ย 139 กิโลกรัมต่อไร่ มีการแตกกิ่ง 3-5 กิ่ง ด้านทานต่อโรคเหี่ยว หนอนห่อใบงา ไชขาว และมวนผีเสื้อ เหมาะสำหรับปลูกในช่วงต้นฤดูฝน มีข้อจำกัดคือ ไม่ควรปลูกในเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม เนื่องจากตอบสนองต่อช่วงแสงและมีการเจริญเติบโตไม่ดีในสภาพอุณหภูมิต่ำ การเก็บเกี่ยวไม่ควรเกิน 85 วัน เพราะฝักจะแตกและเมล็ดร่วงเสียหาย

2.2.2.4 งาแดงสายพันธุ์ มข.3 ปรับปรุงพันธุ์มาจากพันธุ์นานนีของพม่า อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ฝักแบบ 2 พู ลำต้นสูง 130-150 เซนติเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ดหนัก 3.12 กรัม ผลผลิตเฉลี่ย 100-180 กิโลกรัมต่อไร่ ค่อนข้างต้านทานโรคและแมลง ปลูกได้ทั้งช่วงต้นและปลายฤดูฝน

2.2.2.5 งาดำสายพันธุ์มก.18 เป็นงาพันธุ์แท้ ฝักมีขนาดใหญ่ ค่อนข้างยาว ฝักเกิดตรงกันข้ามความยาวปล้องสั้นทำให้จำนวนฝักสูง การเรียงตัวของฝักเป็นแบบเวียนสลับรอบลำต้น ใบมีสีเขียวเข้ม อายุเก็บเกี่ยว 85-90 วัน ให้ผลผลิตเฉลี่ย 148 กิโลกรัมต่อไร่ น้ำหนัก 1,000 เมล็ด หนัก 3.0 กรัม

2.3 การใช้ประโยชน์จากเมล็ดงา (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่รามา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

ในการนำเมล็ดงาไปใช้ประโยชน์บางครั้งต้องการเมล็ดงาที่มีสีขาวสะอาดต้องนำมาล้างเปลือก เนื่องจากเมล็ดงามี Calcium oxalate และเยื่อใยอยู่สูง ทำให้มีรสขม และสีคล้ำไม่น่าดู ก่อนนำไปใช้จึงต้องแยกเอาส่วนเปลือกของเมล็ดงาออกก่อน มี 2 วิธี คือ การแช่น้ำ (soaking method) และการแช่ค้าง (wet หรือ aqueous dehulling method)

1. วิธีแช่น้ำ อาจแช่น้ำธรรมดาหรือน้ำอุ่น เปลือกซึ่งเป็นเยื่อบางๆ ที่หุ้มอยู่จะหลุดออก อาจใช้เกลือปรับความหนาแน่นของน้ำ เพื่อช่วยแยกส่วนเยื่อบางๆ ดังกล่าวออกจากเมล็ดให้ง่าย หรือ อาจใช้มือขจัดถูรวมด้วยและล้างเปลือกบนตะแกรงร่อน

2. วิธีแช่ค้าง โดยแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างใดอย่างหนึ่ง ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน และกวนตลอดเวลา จากนั้นนำมาสะเด็ดน้ำบนตะแกรงแล้วล้างเอาเปลือกออกโดยใช้น้ำจืด แล้วจึงนำไปอบ

สัดส่วนที่เหมาะสมในการใช้แช่เมล็ดงา คือ สารละลายต่าง 160 มิลลิลิตรต่อเมล็ดงา 100 กรัม ทำให้ร้อนถึง 96 องศา ใช้เวลาสั้นๆ สำหรับความเข้มข้นที่เหมาะสมนั้นถ้าเป็นโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือ โซเดียมคาร์บอเนต ควรเป็น 6 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลา 15 นาที ถ้าเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้ความเข้มข้นเพียง 0.6 เปอร์เซ็นต์ เวลา 1 นาที การใช้แช่ที่มีความเข้มข้นสูงและเวลานานเกินไปจะทำให้เมล็ดงาที่ได้สีออกน้ำตาล หลังจากแช่ค้างแล้วต้องล้างออกทันที พร้อมกับขจัดดูเบาๆบนตะแกรงขนาด 40 mesh และน้ำสุดท้ายล้างด้วยกรดอะซิติก 1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อปรับปรุงสีของงา

2.3.1 การใช้ประโยชน์เมล็ดงาที่อบแห้งแล้ว

2.3.1.1 เพื่อการบริโภคโดยตรง เมล็ดงามีรสหวานเล็กน้อย ส่วนมากนิยมคั่วให้หอมแล้วนำมาตกแต่งของหวาน เช่น โรยหน้าขนมต่างๆ เช่น ขนมทอง ขนมงาดัด นอกจากนี้กรรมอนามัยยังแนะนำให้ใช้ร่วมกับข้าว และถั่วเขียว ในอัตราส่วน ข้าว : ถั่วเขียว : งา เป็น 6.5 : 2.5 : 1 เพื่อใช้เป็นอาหารเสริมของมนุษย์

2.3.1.2 เพื่อสกัดน้ำมัน ในสมัยโบราณของชาวแอฟริกาและอินเดีย ทำโดยนำไปตำในครกไม้ เมื่อแตกดีแล้วใช้น้ำร้อนลงไปล้าง แล้วเทใส่ภาชนะอื่นทิ้งไว้ให้น้ำมันลอยตัวขึ้นข้างบน จึงค่อยช้อนเอาไปใช้ ปัจจุบันใช้บีบสกัดด้วยเครื่อง สกรูเพรส (screw press) และไฮดรอลิกเพรส (hydraulic press) เมื่อสกัดเอาน้ำมันออกจะเหลือกากงา (sesame meal) ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2.4 คุณค่าทางโภชนาการของงา

2.4.1 น้ำมันงา (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

น้ำมันงาจัดเป็นน้ำมันพืชชนิดหนึ่งที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงมาก จนเป็นที่เชื่อถือกันมานานในสมัยโบราณและในวงการแพทย์ ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันงามีกลิ่นหอมน่าบริโภค เมื่อสกัดบริสุทธิ์จะไม่มีกลิ่น มีสารป้องกันพวก sesamol อยู่ในตัว จึงสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่เหม็นหืนง่าย น้ำมันงาประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่น สะดวกในการใช้เพราะไม่จับแข็งเป็นก้อนที่อุณหภูมิห้อง และมีกรดไขมันที่จำเป็นคือ linoleic acid สูงมากซึ่งกรดไขมันนี้จำเป็นต่อการเจริญเติบโต ความชุ่มชื้นของผิวหนัง นอกจากคุณภาพดังกล่าวแล้วน้ำมันงายังใช้เป็นสมุนไพรอีกด้วย โดยเชื่อว่าน้ำมันงาช่วยละลายไขมันในเส้นเลือด ในอินเดียให้น้ำมันงาขโมยร่างกายให้ซึมเข้าผิวหนัง โดยการอบในกระโจมเพื่อจกความปวดเมื่อย ทำให้ร่างกายแข็งแรง สดชื่น ชาวญี่ปุ่นเชื่อว่าน้ำมันงาเป็นยาอายุวัฒนะ นิยมผสมน้ำผึ้งและไข่ไก่บริโภค

2.4.2 กากงา (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่ฯ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542)

กากงาอุดมไปด้วยโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ ดังนั้นจึงมีคุณค่าทางโภชนาการสูงชนิดหนึ่งเหมาะในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนในการผลิตเครื่องคั่วเพื่อสุขภาพและยังใช้สำหรับเป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ กากงาที่ผลิตจากแหล่งต่างกันให้คุณภาพต่างกัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์และกรรมวิธีในการสกัดน้ำมัน กากงามีโปรตีน 28-48 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับเมล็ดงาก่อนสกัดน้ำมันมีการขัดหรือกะเทาะเปลือกออกหรือไม่ถ้าเมล็ดงาไม่กะเทาะเปลือกออกจะมีผลทำให้กากงามีระดับโปรตีนต่ำแต่มีเยื่อใยสูง

2.4.3 โปรตีนในงา (อิสระ, 2541)

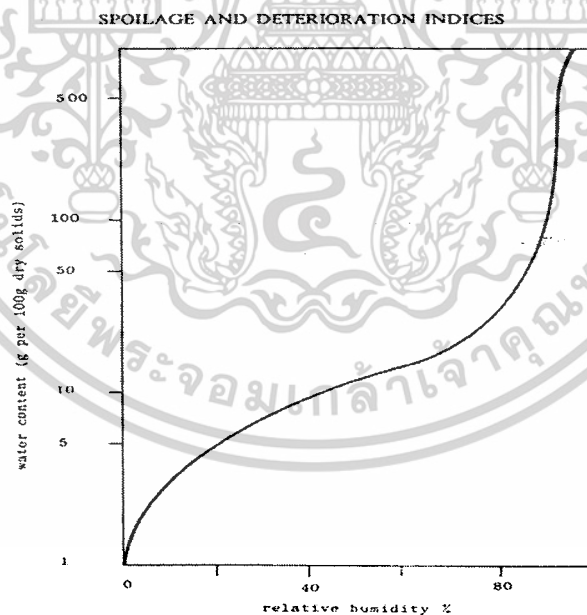
โปรตีนในงามีกรดอะมิโนที่ชื่อ เมธิโอนีน เหมาะกับเด็ก และสตรีวัยหมดประจำเดือน เพราะในงามีแร่ธาตุสูง คือ ธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี แคลเซียม ฟอสฟอรัส โดยเฉพาะแคลเซียมมีบทบาทในการเสริมสร้างกระดูกและฟัน และช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน งาช่วยแก้ปัญหาระบบประสาทนอนไม่หลับ ปวดตามเส้นตามตัว เพราะในงามีวิตามินอยู่มากมาย คือ บี1 บี2 บี3 ฯลฯ และยังมีไบโอติน โคลีน ฯลฯ ซึ่งมีฤทธิ์บำรุงประสาท งาสามารถชะลอความแก่ เพราะมีกรดไขมันไลโนเลอิก ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโต ทำให้ผมดำเป็นเงางาม และงายังมีสารประกอบช่วยต่อต้านมะเร็ง

2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดงา (สมยศ, 2544)

น้ำมัน	35-37	เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	19-25	เปอร์เซ็นต์
เถ้า	5.7	เปอร์เซ็นต์
กาก	3.2	เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	18.0	เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม	1.0	เปอร์เซ็นต์
ฟอสฟอรัส	0.7	เปอร์เซ็นต์

2.6 วอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอม

เส้นกราฟ ซอร์พชันไอโซเทอม คือเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์หรือค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (a_w) กับ ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง เส้นกราฟวอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอมของอาหารและเมล็ดพืชโดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะของเส้นกราฟเป็นรูปซิกมอยด์ หรือ รูปตัวเอส (S) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ กับ ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง

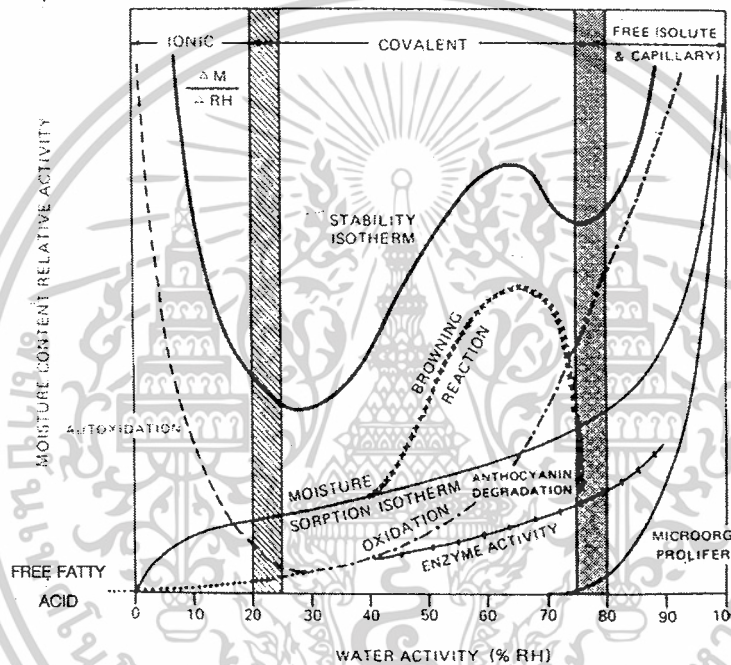
ที่มา: ดัดแปลงจาก Frank และ Heather (1992)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_w = \frac{\%ERH}{100}$$

$$\text{ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำในวัสดุ} \times 100}{\text{น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง}}$$

2.6.1 ปริมาณน้ำของแต่ละโซนในเส้นกราฟไอโซเทอม



รูปที่ 2.4 แสดงปริมาณน้ำอิสระในโซนต่างๆ

ที่มา: Singh และ Heldman (1993)

2.6.1.1 น้ำในโซน free (solute & capillary)

เป็นน้ำส่วนที่กำจัดออกได้ง่ายที่สุด พบในเนื้อเยื่อของพืชและสัตว์ เป็นแหล่งเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ใช้สำหรับการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในอาหาร เราเรียกน้ำส่วนนี้ว่า แคลพิลลาลีวอเตอร์ (capillary water) เมื่อกำจัดน้ำในโซนนี้ออกไปหมดจะมีค่า a_w ประมาณ 0.80 และความชื้นจะเหลือประมาณ 12–25 %

2.6.1.2 น้ำในโซน covalent

เป็นน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นตัวกระจายได้เนื่องจากพันธะของน้ำในโซนนี้ที่มีอยู่ไม่แข็งแรงมากนัก เป็นน้ำที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีอยู่บ้าง ในการกำจัดน้ำในโซนนี้จะต้องใช้พลังงานมากกว่าการกำจัดน้ำในโซน free (solute & capillary)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

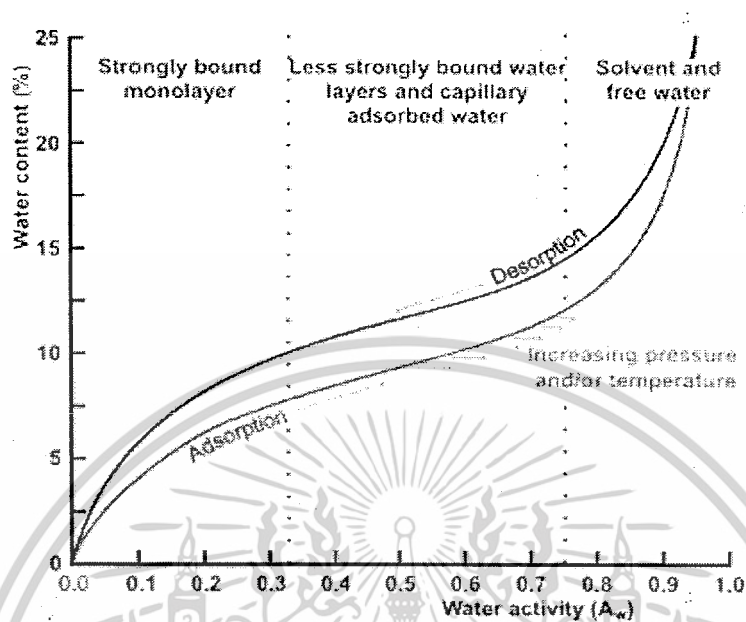
capillary) เราเรียกว่าน้ำส่วนนี้ว่า มัลติเลเยอร์ หรือ มัลติโมเลกุลลาร์เลเยอร์ (multilayer หรือ multilimolecular layer) เมื่อกำจัดน้ำในส่วนนี้ออกไปจนหมดจะเหลือค่า a_w ประมาณ 0.25 และจะมีความชื้นใกล้เคียงกับอาหารแห้ง

2.6.1.3 น้ำในโซน Ionic

เป็นน้ำที่ไม่สามารถกำจัดออกได้ด้วยวิธีการคั่งน้ำออก(dehydration) น้ำส่วนนี้กำจัดออกได้ยากเนื่องจากเป็นน้ำผูกพันที่ถูกล็อคไว้แน่นหนามาก น้ำส่วนนี้จะไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวทำละลายหรือเป็นตัวกลางในปฏิกิริยาเคมีใดๆ น้ำในโซนนี้นี้เราเรียกว่า โมโนเลเยอร์หรือ โมเลกุลควาเลเยอร์(monolayer หรือ molecular layer) และการเหิมนั่นของลิพิดในอาหารจะเกิดขึ้นกับน้ำในโซนนี้นี้

ปริมาณความชื้นในอาหารอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้เรียกว่า การถ่ายเทความชื้น (sorption) ถ้าบรรยากาศที่อยู่รอบๆอาหารมีความชื้นไอสูงกว่าความชื้นไอของอาหาร ความชื้นของอาหารจะเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าความชื้นไอของอาหารสูงกว่าความชื้นไอของบรรยากาศที่อยู่รอบๆ ความชื้นของอาหารจะลดลง การถ่ายเทความชื้นจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นไอของบรรยากาศเท่ากับความชื้นไอของอาหาร ความชื้นของอาหารที่จุดนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content) และ ความชื้นของบรรยากาศที่จุดนี้เรียกว่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity , ERH) ถ้าอาหารนั้นมีความชื้นเพิ่มขึ้นแสดงว่าน้ำจากบรรยากาศได้แทรกตัวเข้าไปในอาหาร (hygroscopic หรือ adsorption) ผลของการแทรกตัวของน้ำทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อยู่รอบๆอาหารลดลงถ้าอาหารนั้นเก็บอยู่ในภาชนะที่ปิดสนิท แต่ถ้าอาหารนั้นตั้งทิ้งไว้ในบรรยากาศหรือเก็บไว้ในภาชนะที่ความชื้นผ่านเข้าออกได้สะดวก ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศจะไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าอาหารมีความชื้นลดลงแสดงว่าน้ำจากอาหารได้แยกตัวและ ออกไปสู่บรรยากาศแวดล้อม (desorption) ผลของการแยกตัวของน้ำจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่อยู่รอบๆ เพิ่มขึ้นถ้าอาหารนั้นอยู่ในภาชนะที่ปิดสนิท แต่ถ้าอาหารนั้นถูกตั้งทิ้งไว้ในบรรยากาศหรือบรรจุอยู่ในภาชนะที่ความชื้นผ่านเข้าออกได้ ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศจะไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน (ฉรรงค์, 2538)

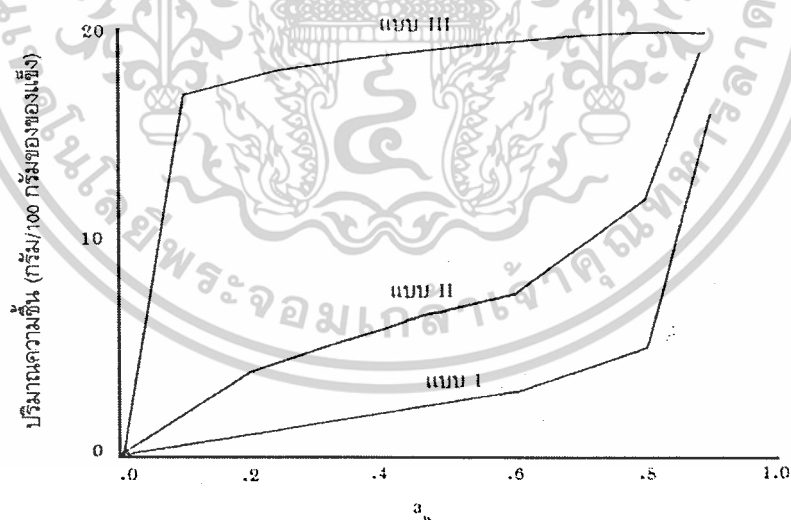
กระบวนการการคายน้ำ (desorption) ที่เริ่มจากระบบของแห้งที่มีค่า $a_w = 1.0$ และกระบวนการดูดน้ำเข้าไปใหม่ (resorption) ที่เริ่มจากระบบของแห้งที่มีค่า $a_w = 0$ เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างปริมาณความชื้น (มาตรฐานแห้ง) กับ a_w หรือ ERH เส้นกราฟที่ได้จะไม่ทับกัน เราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ฮิสเทอริซิส (hysteresis) (ไพบูลย์, 2532)



รูปที่ 2.5 ปรัชการณื ฮีสเตอรีซิส

ที่มา : Chaplin (2003)

2.6.2 ลักษณะต่างๆ ของซอร์พชั่น ไอโซเทอม (ไพบูลย์, 2532)



รูปที่ 2.6 แสดงการแบ่งแบบ ไอโซเทอม แบบที่ 1 เป็นสารที่เป็นผลึก แบบที่ 2 เป็นแบบของอาหารอบแห้ง และ แบบที่ 3 เป็นของสารป้องกันกรจับกันเป็นก้อน

ที่มา: ไพบูลย์ (2532)

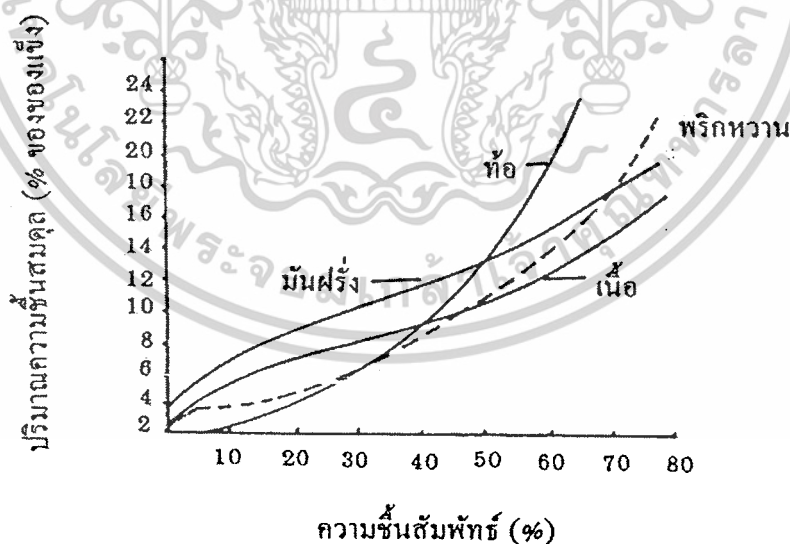
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.1 ไอโซเทอมแบบที่ 1 เป็นไอโซเทอมของการดูดซับ(adsorption isotherm)ของผลึกน้ำตาลบริสุทธิ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความชื้นเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจนกว่าค่า a_w สูงถึง 0.7-0.8 ทั้งนี้เนื่องจากผลของน้ำ กล่าวคือ พันธะไฮโดรเจนไปจับหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งจะอยู่ที่ผิวหน้าของผลึก จะเห็นได้ว่าไอโซเทอมแบบนี้เป็นผลมาจากผลของพื้นที่ผิว ดังนั้นถ้ามีการบดผลึกน้ำตาลให้เป็นอนุภาคเล็กๆ จะทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นได้ต่ำกว่า a_w ต่ำ

2.6.2.2 ไอโซเทอมแบบที่ 2 ได้จากรัศมีพืชและผลิตภัณฑ์จากพืชจะให้ลักษณะของไอโซเทอมเป็นรูปอักษรเอส (แบบที่ 2) ลักษณะกราฟเช่นนี้ เนื่องจากผลจากแรงคัปิลลารี และผลจากอันตรกิริยาของน้ำที่ผิวหน้า ลักษณะของกราฟจะมีจุดหัก 2 จุด โดยจุดแรกจะอยู่ที่ค่า a_w ประมาณ 0.2 - 0.4 และจุดที่ 2 จะอยู่ระหว่าง 0.6 - 0.7

2.6.2.3 ไอโซเทอมแบบที่ 3 เป็นลักษณะเฉพาะของสารป้องกันการจับเป็นก้อน สารประเภทนี้มีการดูดซับน้ำไว้ที่เฉพาะแห่ง แต่พลังงานการจับตัวนี้ค่อนข้างมาก ดังนั้นทำให้ค่า a_w ลดลงอย่างมาก ซึ่งจะเห็นได้จากเส้นของกราฟ คือจะมีความสูงชันที่ค่า a_w ต่ำ แต่เมื่อมีการจับตัวจนเต็มทุกจุด ปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ a_w เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้เพราะว่าตัวสารเองไม่เกิดการละลาย ฉะนั้นเมื่อเติมน้ำลงไป น้ำก็จะไปจับตัวกับน้ำที่มีอยู่เดิม และด้วยพันธะไฮโดรเจนอ่อนๆนี้เอง ทำให้เกิดลักษณะสารละลายที่ผิวหน้าขึ้น

2.6.3 ลักษณะของ ซอร์พชัน ไอโซเทอมของอาหาร 4 ประเภท (ไพบูลย์, 2532)



รูปที่ 2.7 ซอร์พชันไอโซเทอมเฉพาะของอาหาร 4 ประเภท
ที่มา: ไพบูลย์ (2532)

ลักษณะไอโซเทอมที่ 22 องศาเซลเซียส โดยจำแนกออกเป็น 4 ประเภท

2.6.3.1 ประเภทที่ 1 อาหารประเภทแป้ง เช่น มันฝรั่ง ถั่ว ข้าวโพด ข้าว และแป้ง พบว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อาหารประเภทนี้จะมีความสามารถอุ้มน้ำได้สูงและมีความชื้นที่ชื้น โมโนประมาณ 6 % ที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 15 %

2.6.3.2 ประเภทที่ 2 อาหารประเภทโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ สัตว์ปีก ปลา ไข่ และ เนยแข็ง อาหารประเภทนี้จะมีความสามารถอุ้มน้ำต่ำ และคุณสมบัติของซอร์พชั่นจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่า ถ้าอุณหภูมิเพิ่มจากประมาณ 4.5 องศาเซลเซียส เป็น 38 องศาเซลเซียส เส้นโค้งของไอโซเทอมจะมีเส้นโค้งรูปตัว เอส ลดลง

2.6.3.3 ประเภทที่ 3 อาหารประเภทที่มีปริมาณน้ำตาลสูงและประเภทที่มีส่วนประกอบของสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก เช่น ฟริกหวาน ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลร้อยละ 30 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 40 และโปรตีนร้อยละ 12 การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิจะเกิดขึ้นมากกว่าอาหารประเภทโปรตีน ที่อุณหภูมิสูงลักษณะของเส้นโค้งจะโค้งออกข้างนอกไปยังแกนความดันไอ ยกเว้นที่ความดันไอต่ำๆ ทั้งนี้เกิดจากผลของสารละลายน้ำตาล

2.6.3.4 ประเภทที่ 4 อาหารประเภทที่มีน้ำตาลสูงๆ เช่น ลูกท้อ ซึ่งมีน้ำตาลถึงร้อยละ 67 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 25 และโปรตีนร้อยละ 4 ลักษณะของไอโซเทอมจะพบว่าเส้นโค้งจะโค้งออกข้างนอกไปยังแกนความดันไอ อาหารประเภทนี้จะเสื่อมเสียได้ง่าย แม้ที่ความชื้นต่ำ ฉะนั้นจะต้องทำแห้งอย่างสมบูรณ์จึงจะมีความคงตัว

2.6.4 ความสำคัญและการใช้ประโยชน์ของ ซอร์พชั่น ไอโซเทอม (ไฟบูลย์, 2532)

ซอร์พชั่น ไอโซเทอม ของความชื้น ใช้ในการทำนายสภาวะการเปลี่ยนแปลงความคงตัวของอาหาร นอกจากนี้ยังใช้สำหรับการเลือกชนิดของภาชนะบรรจุและการเลือกชนิดของอาหารผสมที่ต่างกันหลายชนิดเข้าด้วยกันได้อีกด้วย

ซอร์พชั่น ไอโซเทอม ช่วยในการทำนายปริมาณความชื้นวิกฤตหรือ a_w ได้ ความกรอบของอาหารอบแห้งที่มาจากธัญพืชเป็นฟังก์ชันกับค่า a_w เช่นที่ค่า a_w 0.4 – 0.45 ขนมปังจะสูญเสียความกรอบไป และยังพบความจริงอีกว่าผลิตภัณฑ์ที่มีธัญพืชเป็นองค์ประกอบจะสูญเสียความกรอบในช่วงค่า a_w 0.4 – 0.45 และสำหรับความแข็ง ซึ่งเป็นปัญหากับอาหารกึ่งแป้ง เช่นอาหารสัตว์หรือขึ้นผลไม้ การทำนาย a_w วิกฤตของความแข็งนี้ยังทำได้ยาก ทั้งนี้เพราะว่า ค่า a_w วิกฤตของอาหารประเภทนี้ขึ้นกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่น ไขมันและไกลคอลสามารถทำให้ค่า a_w วิกฤตลดลงได้ แต่โดยทั่วไป อาหารประเภทกึ่งแป้งจะมีค่า a_w วิกฤตอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 – 0.6

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Amin et al. (2004) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดเลนทิล (Lentil seeds) ในช่วงระดับความชื้น 10.33-21.0% (ฐานเปียก) พบว่า เส้นผ่าศูนย์กลาง ความหนา ความพรุน มุมกองเชิงสถิติ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิติ และ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และ พบว่าความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

Aviara et al. (1999) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกุน่า (Guna seeds) ในช่วงระดับความชื้น 4.7-39.3% (ฐานแห้ง) พบว่า เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต ปริมาตรของเมล็ด ความพรุน สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิติ และ มุมกองเชิงพลวัต เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และพบว่าความหนาแน่นเนื้อ และ ความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

Bart-Plange & Baryeh (2003) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดโกโก้ ในช่วงระดับความชื้น 5-24% (ฐานเปียก) พบว่า ความกว้าง ความยาว ความหนา ความหนาแน่นเนื้อ ความพรุน มุมกองเชิงสถิติ มุมกองเชิงพลวัต และ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิติเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และ พบว่าความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ความเป็นทรงกลมไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

Gupta & Das (1997) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดทานตะวัน ในช่วงระดับความชื้น 4-20% (ฐานแห้ง) พบว่าความหนาแน่นเนื้อ ความพรุน ความเร็วสุดท้าย มุมกองเชิงพลวัต และ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิติ เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และ พบว่าความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

Nimkar & Chattopadhyay (2001) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกรีนแกรม (Green Gram) ในช่วงระดับความชื้น 8.39-33.40% (ฐานแห้ง) พบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต ความพรุน ความเร็วสุดท้าย มุมกองเชิงพลวัต และ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิติเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่ม และ พบว่าความหนาแน่นรวม ความหนาแน่นเนื้อ และ ความเป็นทรงกลมลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

Singh & Goswami (1996) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดคิวมิน (Cumin seed) ในช่วงระดับความชื้น 7-22% (ฐานแห้ง) พบว่าความหนาแน่นเนื้อ ความพรุน ความเร็วสุดท้าย มุมกองเชิงพลวัต และ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิติเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และพบว่าความหนาแน่นรวมลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น

Tunde-Akintunde & Akintunde (2004) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาที่ระดับความชื้น 3.4% (ฐานเปียก) พบว่าความกว้าง ความยาว ความหนา และ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต เท่ากับ 2.80, 1.69, 0.82 และ 1.56 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความเป็นทรงกลม และ พื้นที่ผิว เท่ากับ, 0.56 และ 7.80 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ความหนาแน่นเนื้อ ความหนาแน่นรวม และ มุมกองเชิงสถิติ เท่ากับ 1224 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร , 580 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 32° ตามลำดับ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตบนพื้น แก้ว สังกะสี เหล็ก และ ไม้อัด เท่ากับ 0.39, 0.41, 0.52 และ 0.54 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

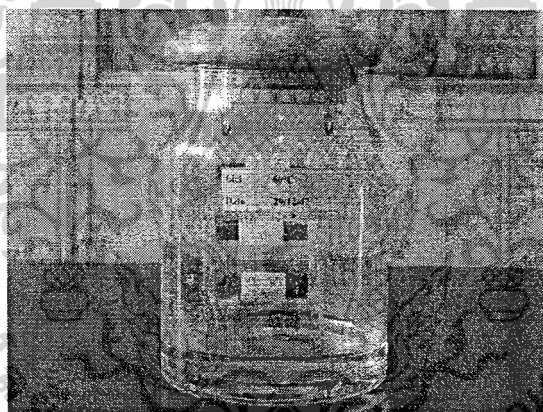
บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ งามำพันธุ์พื้นเมือง จากจังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 25 กิโลกรัม

3.1 การหา วอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอม (Water Sorption Isotherm)

นำเมล็ดงามาอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นเริ่มต้น หลังจากนั้นชั่งเมล็ดงาที่อบแล้วประมาณ 5 กรัมใส่ภาชนะ แล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ และนำไปใส่ในโหลที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวดังต่อไปนี้ LiCl , CH_3COOK , K_2CO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaCl และ MgCl_2 ซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์สมมูลดังตารางที่ 3.1 ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 20, 40 และ 60 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะทำการทดลองในตู้เย็น ส่วนที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะทำการทดลองภายในตู้อบลมร้อน



รูปที่ 3.1 แสดงภาชนะปิดสนิทที่ใช้ในการทดลอง

นำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักอย่างรวดเร็ว ทุก 2 สัปดาห์จนกระทั่งไม่มีการเปลี่ยนแปลง ของน้ำหนัก (± 0.001 กรัม) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือน้ำหนักสมมูลหลังจากได้น้ำหนักสมมูลแล้วให้นำมาทำการคำนวณหาปริมาณความชื้นฐานแห้ง

$$\text{น้ำหนักของน้ำในวัสดุ(g)} = \text{น้ำหนักสมมูล (g)} - \text{น้ำหนักของวัสดุที่แห้ง(g)}$$

$$\text{ความชื้นฐานแห้ง(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ(g)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้ง(g)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสร้างเส้นกราฟของไอโซเทอมโดยใช้แบบจำลองในตารางที่ 3.2 และใช้วิธีวิเคราะห์แบบ Non – linear regression หลังจากนั้นทำการเลือกแบบจำลองโดยพิจารณาค่า E_s และค่า P ของแต่ละแบบจำลอง

E_s ; Standard error of estimate

$$E_s = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{d_f}}$$

P; Mean relative percent deviation

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{(Y - Y')}{Y}$$

df = Degree of freedom, Y = Equilibrium Moisture Content (EMC), Y' = Predict EMC

ตารางที่ 3.1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสารละลาย(%ERH)ที่ใช้

สารละลาย	%ERH		
เกลืออิมิตัว	20°C	40°C	60°C
LiCl	11.28	11.26	11.23
CH ₃ COOK	22.79	21.95	19.87
MgCl ₂	32.90	31.83	30.92
K ₂ CO ₃	43.16	43.17	43.21
NaBr	58.91	53.43	49.03
NaCl	75.44	75.24	74.73
(NH ₄) ₂ SO ₄	81.32	80.62	78.80

ที่มา : ดัดแปลงจาก Labuza & Webb (2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แบบจำลองที่ใช้

Name of Model	Equilibrium moisture content model	Water activity model
Modified Henderson	$M \approx \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{A(T + B)} \right]^{1/C}$	$a_w \approx 1 - \exp[-A(T + B)M^C]$
Modified Chung – Pfof	$M \approx \frac{-1}{C} \ln \left[-\frac{(T + B)}{A} \ln a_w \right]$	$a_w \approx \exp \left[\frac{-A}{(T + B)} \exp(-CM) \right]$
Modified Halsey	$M \approx \left[\frac{-\ln a_w}{\exp(A + BT)} \right]^{-1/C}$	$a_w \approx \exp[-\exp(A + BT)M^{-C}]$
Modified Oswin	$M \approx (A + BT) \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^{1/C}$	$a_w \approx \frac{1}{\left[\frac{(A + BT)}{M} \right]^C + 1}$

A, B, C; พารามิเตอร์, a_w ; water activity, M; EMC, T; อุณหภูมิ

ที่มา : Aviara et al. (2004)

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงา

3.2.1 การปรับความชื้น

ชั่งน้ำหนักเมล็ดงาที่ทราบความชื้นเริ่มต้นแน่นอนนำมาเติมน้ำกลั่นและคลุกเคล้าให้ทั่ว แล้วใส่ในถุงพลาสติกโพลีเอททิลีน ไล่อากาศออกแล้วปิดผนึกปากถุงนำไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C 7 วัน โดยจะทำการปรับความชื้นที่ 14.7, 24.7, 34.7, 44.7 % (ฐานเปียก) มวลน้ำกลั่นที่ใช้คำนวณดังสมการที่ 1 (Bart-Plange & Baryeh, 2003)

$$M_w = \frac{M_i(m_f - m_i)}{100 - m_f} \quad (1)$$

M_w = มวลน้ำกลั่นที่เติมลงในเมล็ดงา (g)

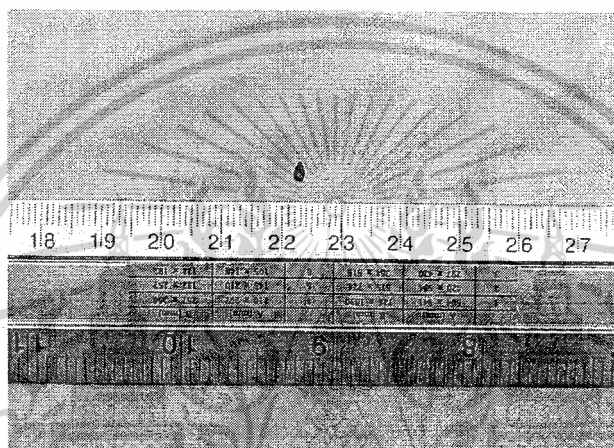
M_i = มวลเริ่มต้นของเมล็ดงา (g)

m_i = ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดงา (w.b)

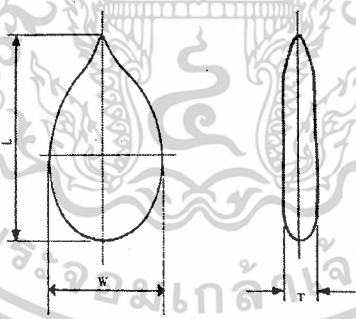
m_f = ความชื้นสุดท้ายของเมล็ดงาที่ต้องการ (w.b)

3.2.2 การวัดความกว้าง ความยาว ความหนา (Width Length Thickness)

สุ่มเมล็ดงา 100 เมล็ด ที่แต่ละความชื้น ถ่ายรูปเมล็ดงาที่วางลงบนกระดาษสีขาวที่มีสเกลไม้บรรทัดวางอยู่ (รูปที่ 3.2) ด้วยกล้องดิจิทัล Sony รุ่น DSC-P9 4.0 MEGA PIXELS นำรูปที่ได้ไปวัดพื้นที่ภาพฉาย ด้วยโปรแกรม Photoshop (version 7) หลังจากนั้นวัด ความยาว (L) ความกว้าง (W) ความหนา (T) ด้วย ไมโครมิเตอร์ นำไปคำนวณหาค่า เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต ความเป็นทรงกลม และ พื้นที่ผิว (รูปที่ 3.3)



รูปที่ 3.2 การจัดเตรียมอุปกรณ์และตัวอย่างเมล็ดงาก่อนการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล



รูปที่ 3.3 การวัดเมล็ดงา

ที่มา : ดัดแปลงจาก Aviara et al. (1999)

3.2.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter)

คำนวณได้จากสมการที่ 2 (Bart-Plange & Baryeh, 2003)

$$D_g = (LWT)^{1/3} \quad (2)$$

L; ความยาว(mm), W; ความกว้าง(mm), T; ความหนา(mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ความเป็นทรงกลม (Sphericity)

คำนวณได้จากสมการที่ 3 (Bart-Plange & Baryeh, 2003)

$$\phi = \frac{D_g}{L} \quad (3)$$

3.2.5 พื้นที่ผิว (Surface area)

คำนวณได้จากสมการที่ 4 (Bart-Plange & Baryeh, 2003)

$$S = (\pi D_g)^2 \quad (4)$$

3.2.6 ความหนาแน่นรวม (Bulk density, ρ_b)

เทเมล็ดกลงในภาชนะบรรจุที่ทราบปริมาตรและน้ำหนักที่แน่นอน โดยทำการเทที่ความสูง 15 เซนติเมตร จนเต็มภาชนะบรรจุแล้วทำการปาดภาชนะบรรจุให้เรียบ นำไปชั่งน้ำหนักโดยทำ 10 ครั้งในแต่ละความชื้น

$$\rho_b; \text{Bulk density (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักของเมล็ดลงในภาชนะบรรจุ (kg)}}{\text{ปริมาตรภาชนะบรรจุ (m}^3\text{)}}$$

3.2.7 ความหนาแน่นเนื้อ (True density, ρ_t)

การหาความหนาแน่นของ Hexane

นำ Hexane เทลงในขวด Pycnometer ที่ทราบปริมาตรและน้ำหนักที่แน่นอนจนเต็มแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (B)

การหาความหนาแน่นของเมล็ดงา

นำเมล็ดงาจำนวน 200 เมล็ด ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน(A) เทลงในขวด Pycnometer เดิมเฮกเซน ให้เต็มขวดแล้วปิดฝาขวด Pycnometer เขັดให้สะอาด หลังจากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก (C)

น้ำหนักเมล็ดงาจำนวน 200 เมล็ด = A

น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนัก Hexane = B

น้ำหนักเมล็ดงาจำนวน 200 เมล็ด + น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนัก Hexane = C

น้ำหนัก Hexane ที่ถูกแทนที่ด้วยงา = (A+B) - C

$$\text{ปริมาตรเมล็ดงา 200 เมล็ด (m}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนัก Hexane ที่ถูกแทนที่ด้วยงา (kg)}}{\text{ความหนาแน่น Hexane (kg/m}^3\text{)}}$$

$$\rho_t; \text{True density (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนักงา 200 เมล็ด (kg)}}{\text{ปริมาตรงา 200 เมล็ด (m}^3\text{)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 ความพรุน (Porosity, ϵ)

คำนวณได้จากสมการที่ 5 (Bart-Plange & Baryeh, 2003)

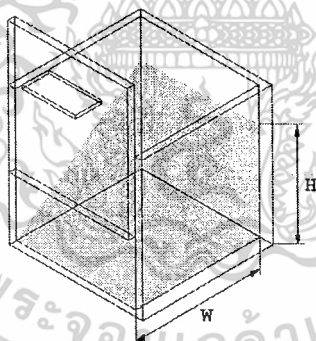
$$\epsilon = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t} \right) \times 100 \quad \text{--- (5)}$$

$$\rho_t = \text{True density (kg/m}^3\text{)}, \quad \rho_b = \text{Bulk density (kg/m}^3\text{)}$$

3.2.9 มุมกองวัสดุ (Angle of repose)

3.2.9.1 มุมกองเชิงพลวัต (Dynamic angle of repose)

ดัดแปลงจากวิธีของ Singh & Goswami (1996) โดยเติมเมล็ดงาลงในกล่องที่ผาด้านหน้าสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ขนาด 10 x 10 x 10 เซนติเมตร (รูปที่ 3.4) จนเต็มหลังจากนั้นทำการเลื่อนผาด้านหน้าขึ้นให้สุดอย่างรวดเร็วเพื่อให้งาไหลออก วัดความสูง (H) และความกว้าง (W) ของงาที่เหลืออยู่ภายในกล่องดังรูป โดยทำจำนวน 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ในแต่ละความชื้น คำนวณค่า θ ดังสมการที่ 6 (Bart-Plange & Baryeh, 2003)



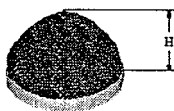
รูปที่ 3.4 การวัดความสูงและความกว้างของเมล็ดงาที่เหลืออยู่ในกล่อง

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{W} \right) \quad \text{--- (6)}$$

3.2.9.2 มุมกองเชิงสถิตย์ (Static angle of repose)

เติมเมล็ดงาให้เต็มลงในกรวย (เส้นผ่านศูนย์กลางปาก 12 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้น 3 เซนติเมตร) แล้วปล่อยเมล็ดงาจากกรวยที่ความสูง 15 เซนติเมตร ลงบนแผ่นรองรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการวัดความสูงของงา (H) (รูปที่ 3.5) โดยทำจำนวน 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ในแต่ละความชื้น คำนวณค่า θ ดังสมการที่ 7 (Amin et al., 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การวัดความสูงของก่องวัสดุ

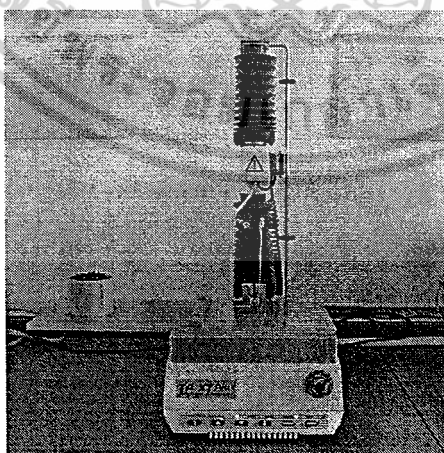
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2H}{D} \right) \quad (7)$$

H = ความสูงของเมล็ดงา (Cm)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นรอรูปวงกลม (Cm)

3.2.10 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction)

ทำการเทเมล็ดงาที่รูน้าหนักแน่นนอนลงในท่อทรงกระบอก PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ที่วางอยู่บนพื้นผิว แล้วยกทรงกระบอกขึ้นเพียงเล็กน้อย ดึงให้กระบอกที่บรรจุเมล็ดงาเคลื่อนที่โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (รุ่น TA XT plus) ดึงเป็นระยะทาง 10 เซนติเมตร โดยใช้ความเร็ว 10 mm/1 sec. (รูปที่ 3.6) โดยทำจำนวน 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 3 ชั่วโมงแต่ละความชื้นทั้ง 4 พื้นผิว ได้แก่ อะคริลิก, อลูมิเนียม, สเตนเลส และ สังกะสี และนำค่าที่ได้จากกราฟมาทำการหาค่าเฉลี่ย และมาคำนวณต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10.1 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ (Static Coefficient of friction)

คำนวณจากสมการที่ 8 (Amin et al., 2004)

$$\mu_0 = \frac{F_0}{W} \quad \text{----- (8)}$$

μ_0 = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์

F_0 = แรงเริ่มต้นที่ใช้ในการทำให้ทรงกระบอกที่มีเม็ดเงินเริ่มเคลื่อนที่ (kg)

W = น้ำหนักเม็ดเงินที่บรรจุในทรงกระบอก (kg)

3.2.10.2 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic coefficient of friction)

คำนวณจากสมการที่ 9 (Amin et al., 2004)

$$\mu = \frac{F}{W} \quad \text{----- (9)}$$

μ = สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์

F = แรงที่ใช้ในการทำให้ทรงกระบอกที่มีเม็ดเงินเคลื่อนที่ (kg)

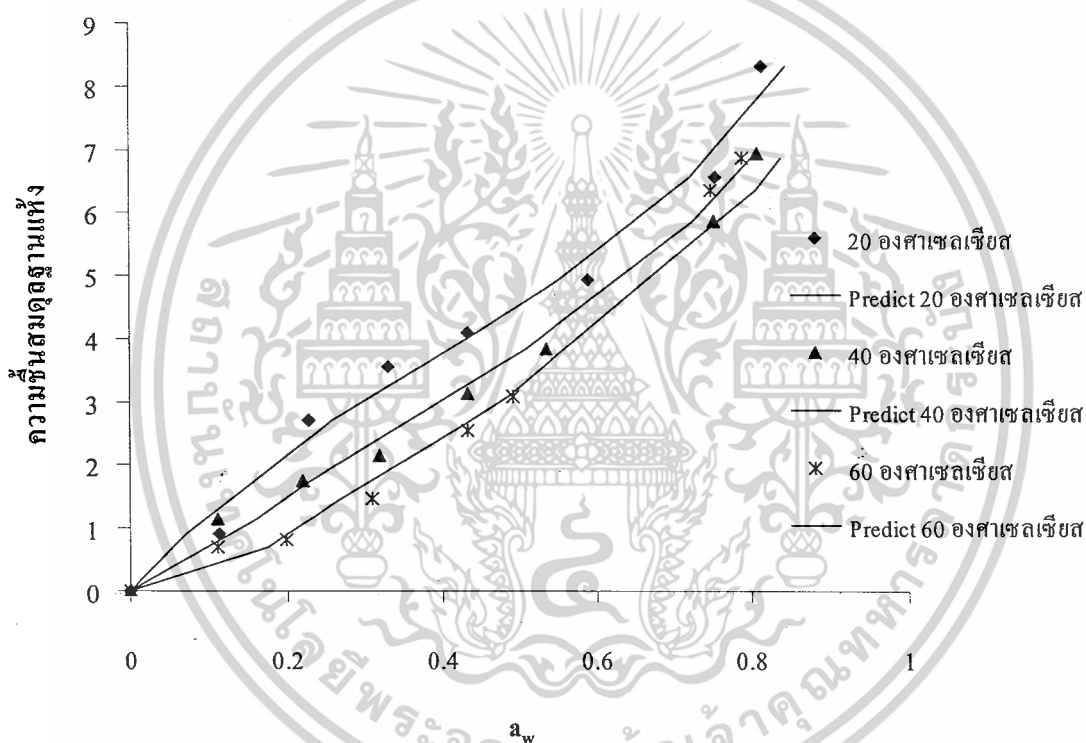
W = น้ำหนักเม็ดเงินที่บรรจุในทรงกระบอก (kg)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 วอเตอร์ซอร์พชันไอโซเทอม

จากรูป 4.1 พบว่า ที่ a_w คงที่และอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความชื้นสมดุลแห้งลดลงแสดงว่าความสามารถในการควบแน่นน้ำลดลงเนื่องจากที่อุณหภูมิสูงความสามารถในการยึดเกาะของน้ำลดลง



รูปที่ 4.1 วอเตอร์ซอร์พชัน ไอโซเทอม ของเมล็ดงาที่อุณหภูมิต่างๆ

พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการวัดความชื้นของเมล็ดงาคือ แบบจำลองของ Modified Chung-Pfost ซึ่งมีค่า Standard error of Estimate (E_s) และ Mean relative percent deviation (P) น้อยที่สุด และค่า R^2 มากที่สุด (ตารางที่ 4.1) เมื่อเทียบกับแบบจำลองของ Modified Henderson, Modifile Halsey และ Modified Oswin

ตารางที่ 4.1 ค่า E_s , P และ ค่าพารามิเตอร์ ของ water activity models

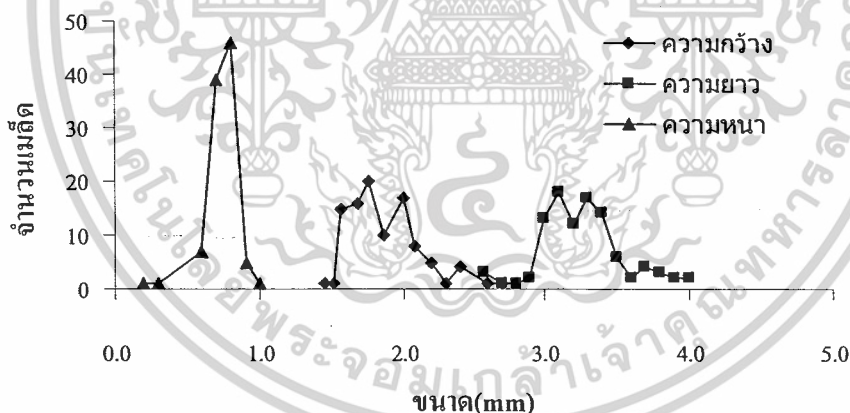
Parameter and criteria	Water activity models			
	Modified.Henderson	Modified Chung-Pfost	Modified Halsey	Modified Oswin
A	0.001492	223.7988	1.590611	5.051536
B	53.1979	43.51860	-0.014636	-0.037028
C	1.243241	0.369005	1.133441	1.731991
R^2	0.9807	0.98969	0.96343	0.97714
E_s	0.5767	0.4578	1.4753	0.8069
P (%)	105.8629	15.2408	0.5665	16.1601

A, B, C = ค่าพารามิเตอร์, E_s = Standard error, P = mean relative percent deviation (%)

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

ความชื้นของเมล็ดงาที่ได้จากการปรับความชื้นคือ 5.2, 14.8, 24.4, 34.72 และ 42.97% (ฐานเปียก)

4.2.1 การแจกแจงความถี่ของเมล็ดงา และ คุณสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆของเมล็ดงาที่ความชื้น 5.2% (ฐานเปียก)



รูปที่ 4.2 ความถี่ของค่าความกว้าง ความยาว และ ความหนา ของเมล็ดงาที่ความชื้น 5.2% (ฐานเปียก)

การแจกแจงความถี่ของค่าความกว้าง ความยาว ความหนา ของเมล็ดงา 100 เมล็ด แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าเมล็ดงาที่ความหนา 0.7-0.8 มม. มีความถี่สูงสุด 85% ความกว้างของเมล็ดงาที่ 1.6-2.0 มม. มีความถี่สูงสุด 78% และ ความยาวของเมล็ดงาที่ 3.0-3.4 mm มีความถี่สูงสุด 74%

ผลการศึกษาคู่สมบัตินี้ทางกายภาพด้านต่างๆของเมล็ดงาที่ความชื้น 5.2% (ฐานเปียก) ซึ่งเป็นความชื้นเริ่มต้น ของเมล็ดงา แสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่า

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต, พื้นที่ภาพฉาย และ พื้นที่ผิว มีค่าเท่ากับ 1.64 ± 0.12 มิลลิเมตร, 4.12 ± 0.52 และ 8.53 ± 1.18 ตารางมิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับงาที่ใช้ในการตารางที่ 4.2 คุณสมบัติด้านต่างๆของเมล็ดงาที่ความชื้น 5.2% (ฐานเปียก)

คุณสมบัติทางกายภาพ	จำนวนครั้งในการทดลอง	ค่าเฉลี่ย	S.D. \pm
ความยาว (Length L, mm)	100	3.26	0.28
ความกว้าง (Width W, mm)	100	1.88	0.24
ความหนา (Thickness T, mm)	100	0.74	0.10
เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต			
(Geometric mean diameter, mm)	100	1.64	0.12
ความเป็นทรงกลม (Sphericity)	100	0.51	0.04
พื้นที่ผิว (Surface area, mm ²)	100	8.53	1.18
พื้นที่ภาพฉาย (Projected area, mm ²)	100	4.12	0.52
ความหนาแน่นเนื้อ (True density, kg.m ⁻³)	30	1369.60	222.60
ความหนาแน่นรวม (Bulk density, kg.m ⁻³)	30	693.53	4.05
ความพรุน (Porosity, %)	30	49.36	---
มุมกองเชิงพลวัต (Dynamic angle of repose)	15	28.90	0.12
มุมกองเชิงสถิตย์ (Static angle of repose)	15	25.23	1.52
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ (Static Coefficient of friction on)			
อะครีลิก (Acrylic)	15	0.23	0.03
อลูมิเนียม (Aluminium)	15	0.31	0.01
สแตนเลส (Stainless)	15	0.1	0.04
สังกะสี (Galvanized steel)	15	0.16	0.04
สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ (Dynamic Coefficient of friction on)			
อะครีลิก (Acrylic)	15	0.2	0.05
อลูมิเนียม (Aluminium)	15	0.28	0.02
สแตนเลส (Stainless)	15	0.09	0.03
สังกะสี (Galvanized steel)	15	0.14	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

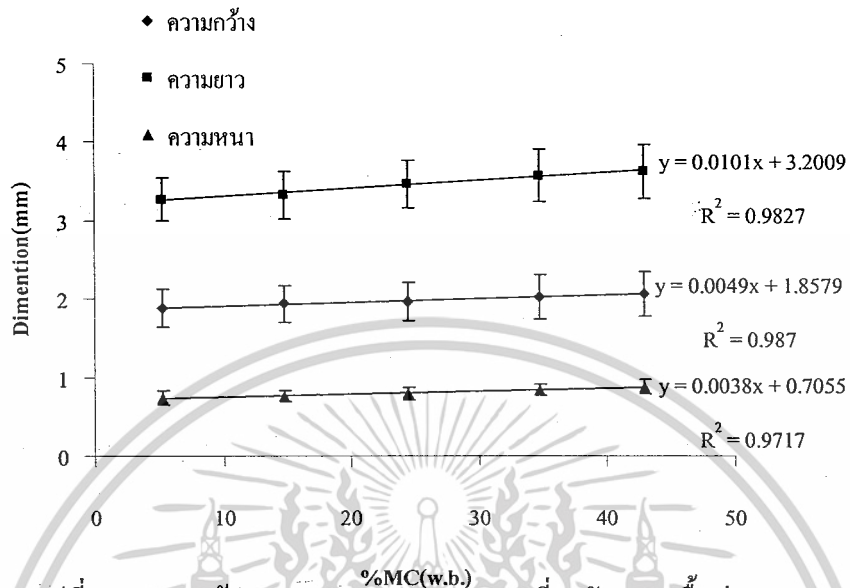
ทดลองของ Tunde-Akintunde & Akitunde (2004) ซึ่งเป็นงานที่แหล่งปลูกในประเทศไนจีเรียพบว่า เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของเมล็ดงาที่ใช้ในการทดลองมีขนาดใหญ่กว่าทำให้มีพื้นที่ผิวมากกว่า ซึ่งพื้นที่ผิวจะเป็นตัวช่วยในการเลือกพิจารณากระบวนการต่างๆ เพราะพื้นที่ผิวมีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนความเย็น ปริมาณเครื่องปรุงรส ส่วนผสมต่างๆที่ต้องการคลุกเคล้ากับเมล็ดงา

ความเป็นทรงกลม (Sphericity) ของเมล็ดงา มีค่าเท่ากับ 0.51 ซึ่งให้เห็นว่าเมล็ดงามีรูปร่างไม่เป็นทรงกลม เมื่อเปรียบเทียบกับงาที่ใช้ในการทดลองของ Tunde-Akintunde & Akitunde (2004) งาที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเป็นทรงกลมน้อยกว่า การที่เมล็ดงามีความเป็นทรงกลมน้อยทำให้เมื่อนำเมล็ดงาไปผ่านเครื่องคัดแยกแบบใช้ตะแกรงร่อนนั้นไม่เหมาะสมเนื่องจากรูตะแกรงส่วนใหญ่เป็นวงกลมแต่เมล็ดงามีความเป็นทรงกลมน้อยทำให้เมล็ดงาผ่านไปได้น้อย แต่สำหรับระหว่างการขนย้ายหรือขนถ่ายเมล็ดงานั้นในการที่เมล็ดงามีความเป็นทรงกลมน้อยทำให้เมล็ดงาเคลื่อนที่บนพื้นผิวด้วยการสไลด์มากกว่า การกลิ้งและเมื่อเทกองไม่กลิ้งกระจุกกระจายออกไปจากกองวัสดุที่เรากำหนด

ความหนาแน่นเนื้อ, ความหนาแน่นรวม มีค่าเท่ากับ 1369.60 ± 222.60 , 693.53 ± 4.0560 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ ความพรุน 49.36% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับงาที่ใช้ในการทดลองของ Tunde-Akintunde & Akitunde (2004) พบว่างาที่ใช้ในการทดลองนี้มีความหนาแน่นเนื้อ ความหนาแน่นรวม และ ความพรุน มากกว่า ความหนาแน่นเนื้อที่ได้จากการทดลองนั้นมากกว่าความหนาแน่นของน้ำจึงนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องทำความสะอาดเมล็ดงาแบบใช้น้ำเป็นตัวคัดแยกฝุ่นผงต่างๆ โดยเมล็ดงาจมลงสู่ด้านล่างและฝุ่นผงต่างๆลอยสู่ด้านบน ในระหว่างกระบวนการจะต้องมีความเมล็ดงาเพื่อให้ฝุ่นผงต่างๆหลุดออกและลอยไปกับน้ำอย่างรวดเร็ว งาที่มีความหนาแน่นรวมและความพรุนมากจะต้องใช้พื้นที่ในการเก็บรักษามากกว่างาที่มีความหนาแน่นรวมและความพรุนน้อย

มูมกองเชิงพลวัตมีค่าเท่ากับ 25.23 ± 1.52 เมื่อเปรียบเทียบกับงาที่ใช้ในการทดลองของ Tunde-Akintunde & Akitunde (2004) พบว่างาที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่ามูมกอน้อยกว่า

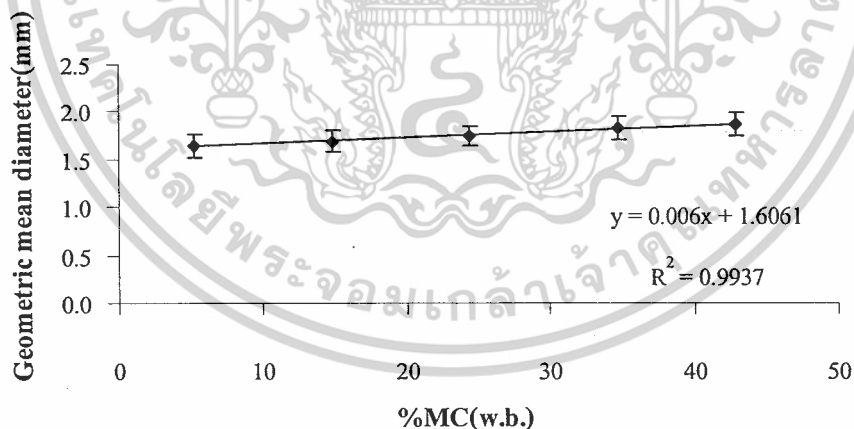
4.2.2 ความกว้าง (Width) ความยาว (Length) ความหนา (Thickness) ที่ระดับความชื้นต่างๆ



รูปที่ 4.3 ความกว้าง ความยาว และความหนา ที่ระดับความชื้นต่างๆ

ความกว้าง ความยาว ความหนาของเมล็ดงาที่ความชื้นต่างๆ แสดงดังรูป 4.3 พบว่าเมล็ดงามีการขยายตัวทั้ง 3 แกน คือความยาวมีการขยายตัว 11% ความกว้าง 10.10% และ ความหนา 18.91%

4.2.3 เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric mean diameter)

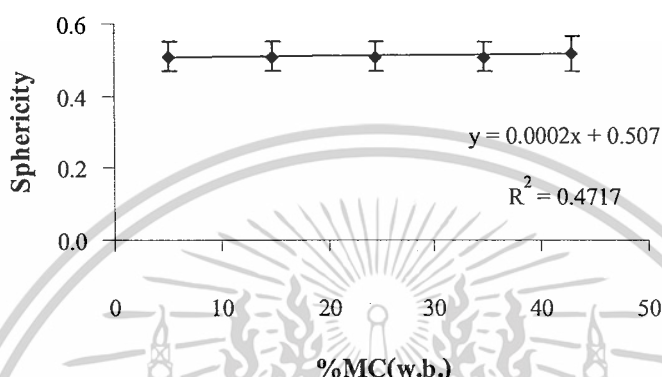


รูปที่ 4.4 ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตที่ระดับความชื้นต่างๆ

เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตของเมล็ดงาที่ความชื้นต่างแสดงดังรูป 4.4 เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตเป็นค่าที่มีผลมาจากค่าความกว้าง ความยาว ความหนาของเมล็ดงา เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น เมล็ดงามีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เมล็ดงาพองตัวออกทั้ง 3 แกนทำให้ค่า ความกว้าง ความยาว ความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปคำนวณตามสมการที่ 2 แล้วทำให้ค่าเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตเพิ่มขึ้นด้วย ค่า

เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิตที่ได้จากการทดลอง เพิ่มขึ้นจาก 1.64 ถึง 1.86 มิลลิเมตร เป็นในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของ Aviara et al.(1999) ที่พบในเมล็ดกุน่า(Guna seeds) และ Nimkar & Chattopadhyay (2001) ที่พบในกรีนแกรม (Green Gram)

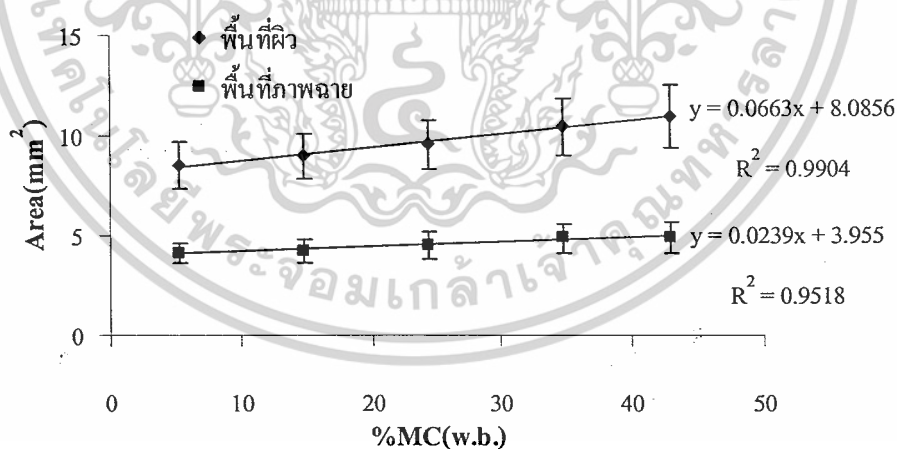
4.2.4 ความเป็นทรงกลม (Sphericity)



รูปที่ 4.5 ค่าความเป็นทรงกลมที่ระดับความชื้นต่างๆ

ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อค่าความเป็นทรงกลมแสดงดังรูปที่ 4.5 ค่าความเป็นทรงกลมที่ได้จากผลการทดลองคือ 0.51-0.52 ผลการทดลองที่ได้เป็นในทำนองเดียวกับผลการทดลองของ Bart-Plange & Baryeh (2003) ที่พบในเมล็ดโกโก้

4.2.5 พื้นที่ภาพฉาย (Projected area) และ พื้นที่ผิว (Surface area)

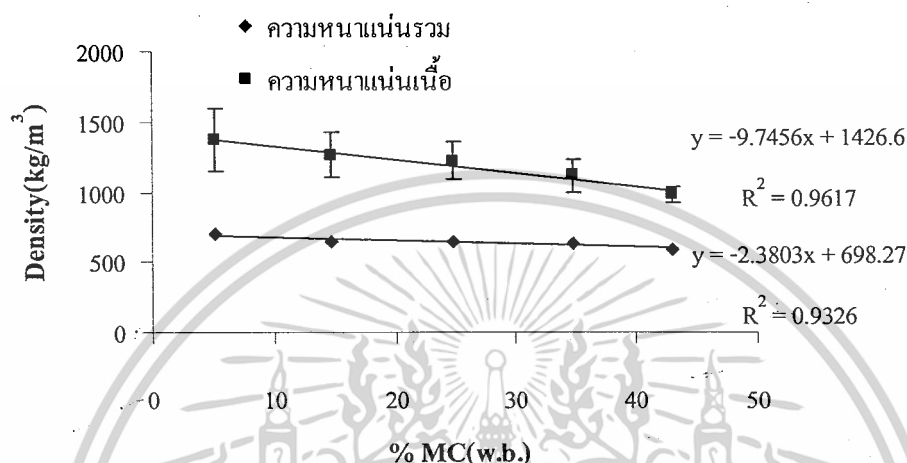


รูปที่ 4.6 ค่าพื้นที่ภาพฉาย และ พื้นที่ผิวที่ระดับความชื้นต่างๆ

พื้นที่ภาพฉาย และ พื้นที่ผิวของเมล็ดงาที่ความชื้นต่างๆแสดงดังรูป 4.6 เมื่อเมล็ดงามีการดูดน้ำเข้าไปทำให้เกิดการพองตัวมากขึ้นทำให้เมล็ดของงาใหญ่ขึ้น พื้นที่ภาพฉาย และ พื้นที่ผิวก็จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของเมล็ดงาด้วย พื้นที่ผิวมีผลต่ออัตราการดูดและการคายความชื้นของกองเมล็ดพืช และ ช่วยในการพิจารณาการเก็บรักษาเมล็ดงาเพื่อให้ใช้พื้นที่น้อยที่สุดในการเก็บรักษา ค่าพื้นที่ผิวที่ได้จากการ

ทดลองเพิ่มขึ้นจาก 8.53 ถึง 10.97 ตารางมิลลิเมตร และ ค่าพื้นที่ผิวภาพฉายที่ได้จากการทดลองเพิ่มขึ้น จาก 4.12 ถึง 4.92 ตารางมิลลิเมตร

4.2.6 ความหนาแน่นเนื้อ (True density) และ ความหนาแน่นรวม (Bulk density)



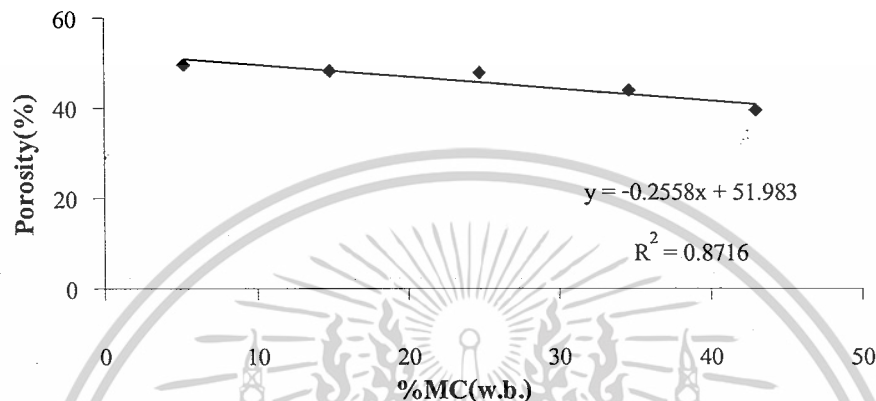
รูปที่ 4.7 ค่าความหนาแน่นเนื้อ และ ความหนาแน่นรวม ที่ระดับความชื้นต่างๆ

ค่าความหนาแน่นเนื้อ และ ความหนาแน่นรวมของเมล็ดงาที่ความชื้นต่างๆแสดงดังรูป 4.7 เมื่อเมล็ดงามีความชื้นสูงขึ้นทำให้ส่วนประกอบที่เป็นแป้งดูน้ำและฟองตัวขึ้นทำให้ปริมาตรของเมล็ดงาเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมวลที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นเนื้อลดลง จากการทดลองพบว่าเมล็ดงาที่มีความชื้นสูงจะไม่สามารถนำไปใช้กับเครื่องทำความสะอาดแบบใช้น้ำเป็นตัวคัดแยกได้ เพราะที่ความชื้นสูงค่าความหนาแน่นเนื้อจะต่ำกว่าค่าความหนาแน่นของน้ำทำให้ังาลอยขึ้นสู่ด้านบนพร้อมกับฝุ่นผงทำให้ไม่สามารถทำความสะอาดเมล็ดงาได้ ค่าความหนาแน่นเนื้อที่ได้จากการทดลองลดลงจาก 1369.60 ถึง 985.67 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของ Nimkar & Chattopadhyay (2001) ที่พบในกรีนแกรม (Green Gram), Aviara et al. (1999) ที่พบในเมล็ดกาน้ำ (Guna seeds) แต่มีผลตรงข้ามกับผลการทดลองที่ได้ของ Gupta & Das (1997) ที่พบในเมล็ดทานตะวัน, Bart-plange & Baryeh (2003) ที่พบในเมล็ดโกโก้ และ Singh & Goswami (1996) ที่พบในเมล็ดคิมิน (Cumin seeds)

ค่าความหนาแน่นรวมลดลงเป็นผลมาจากค่าความหนาแน่นที่ลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นรวมเป็นค่าจำเป็นที่ต้องใช้ในการออกแบบห้องเก็บรักษา และความหนาแน่นที่ลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นชี้ให้เห็นว่าควรเก็บเมล็ดงาที่ความชื้นใดเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการสร้างห้องเก็บรักษา ความหนาแน่นรวมที่ได้จากการทดลองลดลงจาก 693.53 ถึง 591.05 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นไปในทำนองเดียวกันกับการทดลองของ Bart-Plange & Baryeh (2003) ที่พบในเมล็ดโกโก้,

Singh & Goswami (1996) ที่พบในเมล็ดคิมิน (Cumin seeds), Aviara et al. (1999) ที่พบในเมล็ดกุน่า (Guna seeds), Amin et al. (2004) ที่พบในเมล็ดเลนทิล (Lentil seeds) และ Nimkar & Chattopadhyay (2001) ที่พบในกรีนแกรม (Green Gram)

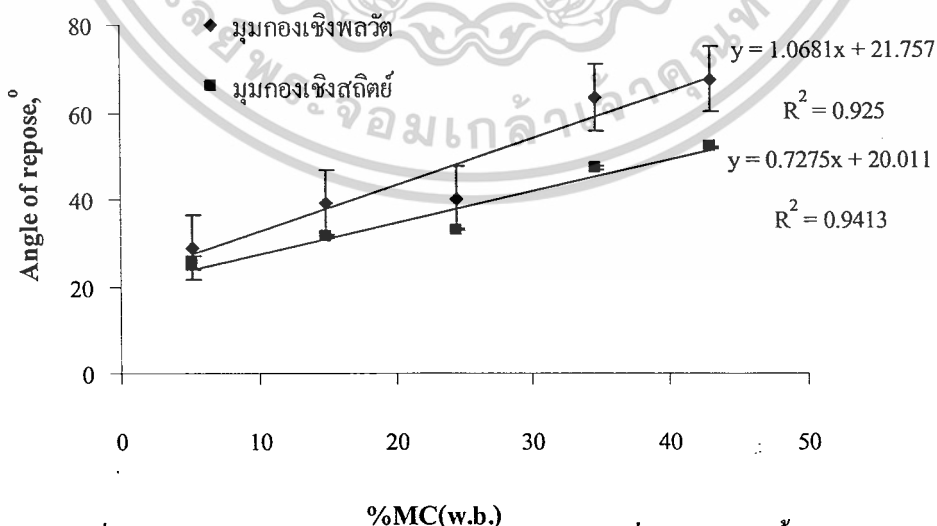
4.2.7 ความพรุน (Porosity)



รูปที่ 4.8 ค่าความพรุนที่ระดับความชื้นต่างๆ

ค่าความพรุนเป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณช่องว่างในกองวัสดุ ค่าความพรุนของเมล็ดงาที่ระดับความชื้นต่างๆแสดงดังรูป 4.8 เนื่องจากที่ความชื้นสูงมีการเกาะตัวกันมากทำให้ช่องว่างระหว่างเมล็ดงา น้อยลงค่าความพรุนจึงน้อยลงไปด้วยจากผลการทดลองค่าความพรุนลดลงจาก 49.36 ถึง 39.37 (%) ซึ่งตรงข้ามกับผลการทดลองของ Bart-Plange & Baryeh (2003) ที่พบในเมล็ดโกโก้, Aviara et al. (1999) ที่พบในเมล็ดกุน่า (Guna seeds), Gupta & Das (1997) ที่พบในเมล็ดทานตะวัน, Amin et al. (2004) ที่พบในเมล็ดเลนทิล (Lentil seeds) และ Singh & Goswami (1996) ที่พบในเมล็ดคิมิน (Cumin seeds)

4.2.8 มุมกอง (Angle of repose)



รูปที่ 4.9 ค่ามุมกองเชิงพลวัต และ มุมกองเชิงสถิตย์ ที่ระดับความชื้นต่างๆ

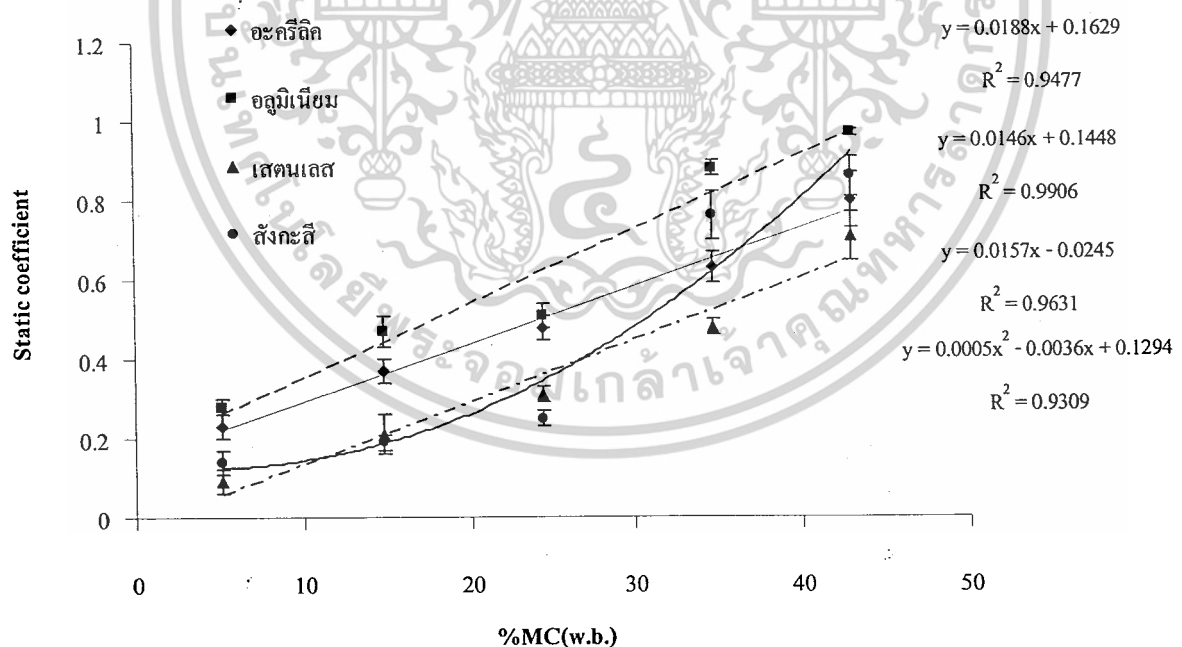
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามุมกองเชิงพลวัต และ มุมกองเชิงสถิตย์ ที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.9 เนื่องจากที่ความชื้นสูงขึ้นมีการเกาะตัวระหว่างเมล็ดงามากกว่าที่ความชื้นต่ำทำให้มุมกองของวัสดุเพิ่มขึ้นตามระดับของความชื้นไปด้วย ค่ามุมกองที่ได้จากผลการทดลองนำไปใช้ในการออกแบบมุมเอียงของทางออกวัสดุของภาชนะที่ใช้ในการถ่ายเทเมล็ดงาเพื่อให้เมล็ดงาไหลอย่างต่อเนื่องระหว่างทางเทวัสดุออกจากถัง

ค่ามุมกองเชิงพลวัตที่ได้เพิ่มขึ้นจาก 28.90° ถึง 67.54° เป็นในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของ Bart-Plange & Baryeh (2003) ที่พบในเมล็ดโกโก้, Singh & Goswami (1996) ที่พบในเมล็ดคิวมิน (Cumin seeds), Aviara et al. (1999) ที่พบในเมล็ดกัญญา (Guna seeds), Nimkar & Chattopadhyay (2001) ที่พบในเมล็ดกรีนแกรม (Green Gram) และ Gupta & Das (1997) ที่พบในเมล็ดทานตะวัน

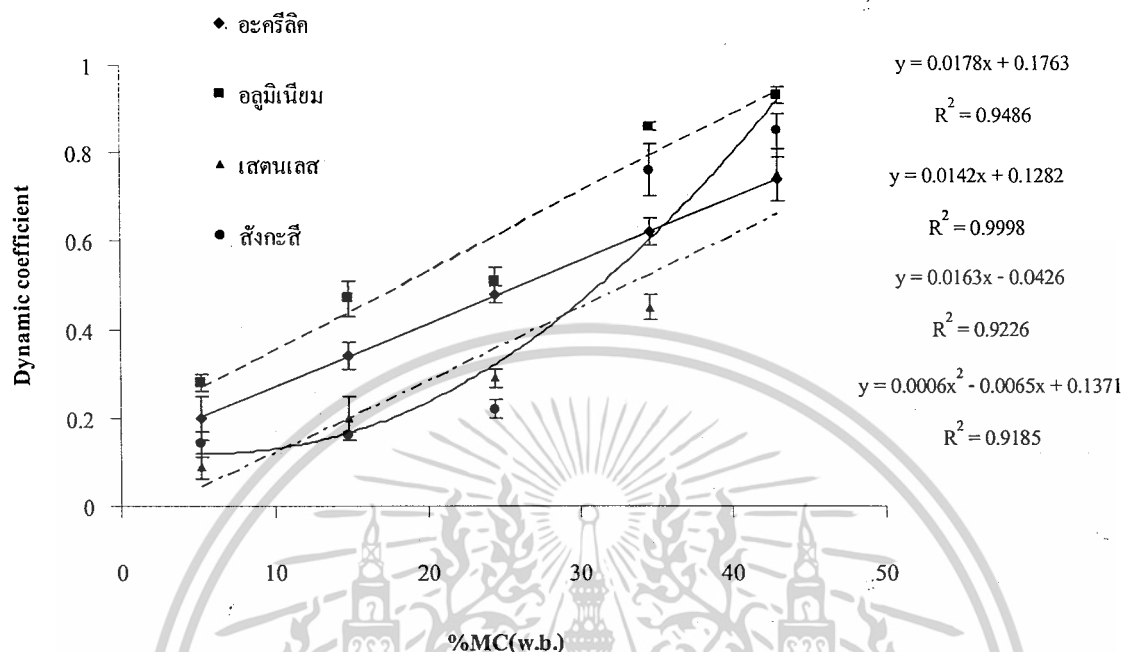
ค่ามุมกองเชิงสถิตย์ที่ได้เพิ่มขึ้นจาก 25.23° ถึง 52.04° เป็นในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของ Bart-Plange & Baryeh (2003) ที่พบในเมล็ดโกโก้ และ Amin et al. (2004) ที่พบในเมล็ดเลนทิล (Lentil seeds)

4.2.9 สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of friction)



รูปที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ที่ระดับความชื้นต่างๆ

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ และ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ ของเมล็ดงาที่ความชื้นแสดงดังรูป 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์ที่ระดับความชื้นต่างๆ

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของแต่ละพื้นผิวเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำทำให้เกิดฟิล์มบางๆที่ผิวของเมล็ดงาทำให้เกิดการติดกันระหว่างผิวของเมล็ดงากับพื้นผิววัสดุ (อะคริลิก, อลูมิเนียม, สเตนเลส, สังกะสี) จึงต้องใช้แรงมากขึ้นในการเอาชนะแรงต้าน ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้จากการทดลองนำไปใช้ในการเลือกชนิดของวัสดุสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการขนถ่าย

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์บนพื้นผิวอลูมิเนียม และ สเตนเลส เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของ Nimkar & Chattopadhyay (2001) ที่พบในกรีนแกรม (Green Gram)

ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์ บนพื้นสังกะสีเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของ Nimkar & Chattopadhyay (2001) ที่พบในในกรีนแกรม (Green Gram) และ Gupta & Das (1997) ที่พบในเมล็ดทานตะวัน

ค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์บนพื้นผิวสังกะสี เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นในทำนองเดียวกันกับผลการทดลองของ Amin et al. (2004) ที่พบในเมล็ดเลนทิล (Lentil seeds)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดกับการดูความชื้นของเมล็ดงาคือแบบจำลองของ Modified Chung-Pfost ซึ่งเป็นสมการที่มีค่า E_s และ ค่า P น้อยที่สุด

จากผลการแจกแจงความถี่ของเมล็ดงาที่ใช้ในการทดลองพบว่าที่ความชื้น 5.2% (ฐานเปียก) เมล็ดงาที่มีความหนาในช่วง 0.7-0.8 มิลลิเมตร มีความถี่สูงสุด 85% เมล็ดงาที่มีความกว้างในช่วง 1.6-2.0 มิลลิเมตร มีความถี่สูงสุด 78% เมล็ดงาที่มีความยาวในช่วง 3.0-3.4 มิลลิเมตร มีความถี่สูงสุด 74%

ผลการศึกษาคูสมบัติทางกายภาพในช่วงระดับความชื้น 5.2 – 42.97% (ฐานเปียก) พบว่าความกว้าง ความยาว และ ความหนา เพิ่มขึ้นจาก 1.88 ถึง 2.07, 3.26 ถึง 3.62 และ 0.74 ถึง 0.88 มิลลิเมตร ตามลำดับ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต, พื้นที่ผิว และ พื้นที่ภาพฉายเพิ่มขึ้นจาก 1.64 ถึง 1.86 มิลลิเมตร, 8.53 ถึง 10.97 ตารางมิลลิเมตร และ 4.12 ถึง 4.92 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ระดับของความชื้น ไม่มีผลต่อค่าความเป็นทรงกลม ค่าความเป็นทรงกลมที่ได้จากการทดลองคือ 0.51-0.52 ความหนาแน่นจริง, ความหนาแน่นรวม และ ความพรุนลดลงจาก 1369.60 ถึง 985.67 kg/m^3 , 693.53 ถึง 591.05 kg/m^3 และ 49.36 ถึง 39.37% ตามลำดับ มุมกองเชิงพลวัต และ มุมกองเชิงสถิตย์เพิ่มขึ้นจาก 28.90° ถึง 67.54° และ 25.23° ถึง 52.04° ตามลำดับ พื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสถิตย์และสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจลน์มากที่สุดคือพื้นที่ผิวของอลูมิเนียม รองลงมาคือ อะคริลิก ลังกะสี และ สแตนเลส ตามลำดับ

บรรณานุกรม

- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2004. การปลูกงา. [Online]. Available : <http://www.doae.go.th/library/html/detail/nga/sesame2.htm>.
- กรมวิชาการเกษตร. 2001. สถานการณ์การผลิตและการตลาด. [Online]. Available : <http://www.doa.go.th/data-agri/SESAMI/1stat/st02.html>.
- คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2542. พืชเศรษฐกิจ . ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : หน้า 200-201.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ฟอรัมพรีนติ้ง : หน้า14-16.
- นिरนาม1. 2004. งาเคลือบที่คลุมองข้าม. [Online]. Available : http://www.healthnet.in.th/cyber_board/room5/messages/1927.html.
- นिरนาม2. 2004. ชนิดพันธุ์งาและแหล่งปลูก. [Online]. Available : http://www.idd.go.th/web_study_center/khoahinson/plantAll/nga/2.htm.
- รัชชชัย อุบลเกิด และ คณะ. 2544. การศึกษาการเจริญเติบโตของรากและลำต้นงา 6 พันธุ์ภายใต้สภาพการขาดน้ำ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง : หน้า 2-4.
- ปานมนัส ศิริสมบูรณ์, พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, สาทิป รัตนภาสกร. 2538. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพมหานคร : หน้า 5 – 38.
- ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาศิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์ : หน้า 159-266.
- ภาควิชาพืชไร่นา. 2541. พฤกษศาสตร์พืชเศรษฐกิจ. ครั้งที่1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : หน้า 96-99
- สมยศ แก่นเพชร. 2544. การผลิตเครื่องดื่มจากงาดำ. กรุงเทพฯ : ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อิสระ ชุศรี. “งาเซซามิ” *ครัว*. ปีที่ 5 ฉบับที่ 54. (ธันวาคม 2541) น. 17
- Aviara, N. A., Ajibola, O. O., & Oni, S. A. (2004). Sorption equilibrium and thermodynamic characteristics of soya bean. *Journal of Biosystems Engineering*, 87(2), 179-190.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

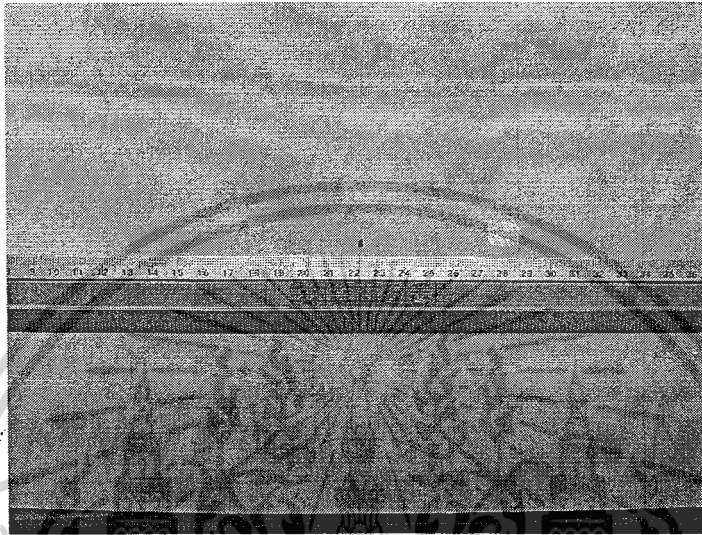
บรรณานุกรม (ต่อ)

- Amin, M. N., Hossain, M. A., & Roy, K. C. (2004). Effect of moisture content on some physical properties of lentil seeds. *Journal of Food Engineering*, 65, 83-87.
- Ato Bart-Plange, & Edward A. Baryeh (2003). The physical properties of Category B cocoa beans. *Journal of Food Engineering*, 60, 219-227
- Aviara, N. A., Gwandzang, M. I., & Haque, M. A. (1999). Physical properties of guna seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, 105-111
- Frank A. Paine, Heather Y. Paine. (1992). A Handbook of Food Packaging. Blackie academic & professional. P 197.
- Gupta, R. K., & Das S. K. (1997). Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 1-8.
- Martin Chaplin. (2003). Water Activity. [Online]. Available : <http://www.lsbu.ac.uk/water/>.
- Nimkar, P. M., & Chattopadhyay, P. K. (2001). Some physical properties of green gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 80(2), 183-189.
- Ron Webb, & Theodore Labuza. (2004). water activity of saturated salt solutions. [Online]. Available : <http://www.users.bigpond.com/webbtech/salt.html>.
- Singh, K. K. & Goswami, T. K. (1996). Physical properties of cumin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 64, 93-99.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (1993). Introduction to Food Engineering, second edition. Academic press, INC. P 417
- Tunde-Akintunde, T. Y., & Akintunde, B. O. (2004). Some physical properties of sesame seed. *Journal of Biosystems Engineering*, 88(1), 127-129.

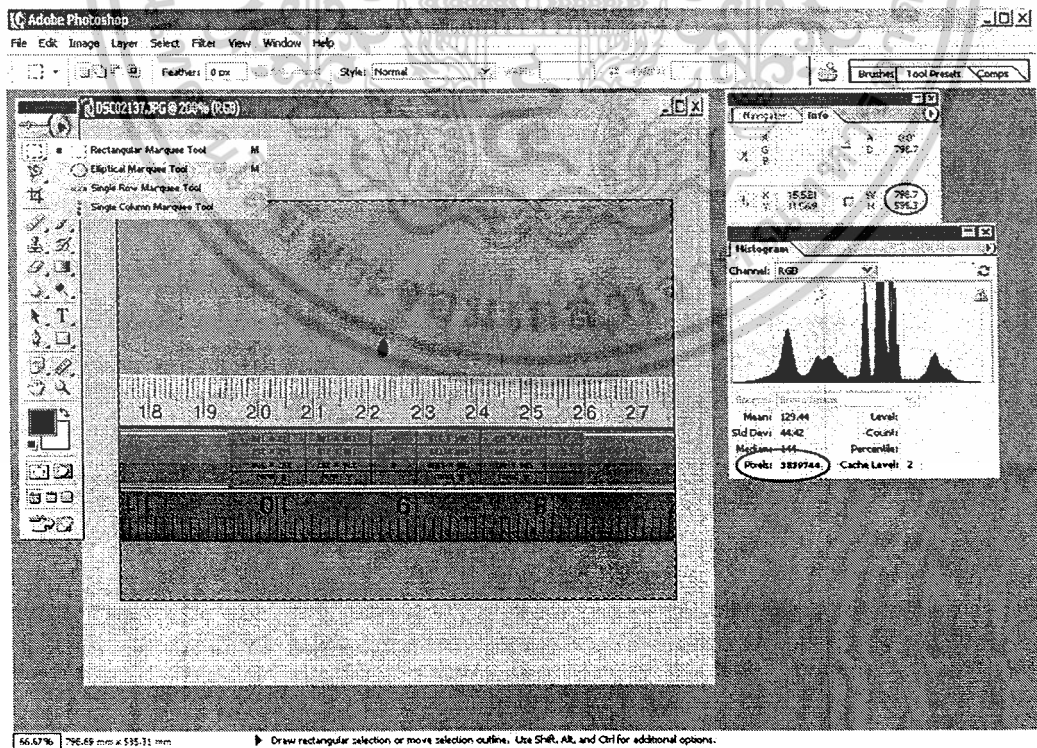
ภาคผนวก ก

การหาพื้นที่ภาพฉาย (Projected area) ด้วยโปรแกรม Photoshop version 7

1. วางเมล็ดงาลงบนกระดาษสีขาวที่มีไม้บรรทัดวางอยู่ ทำการถ่ายรูปด้วยกล้องดิจิทัล

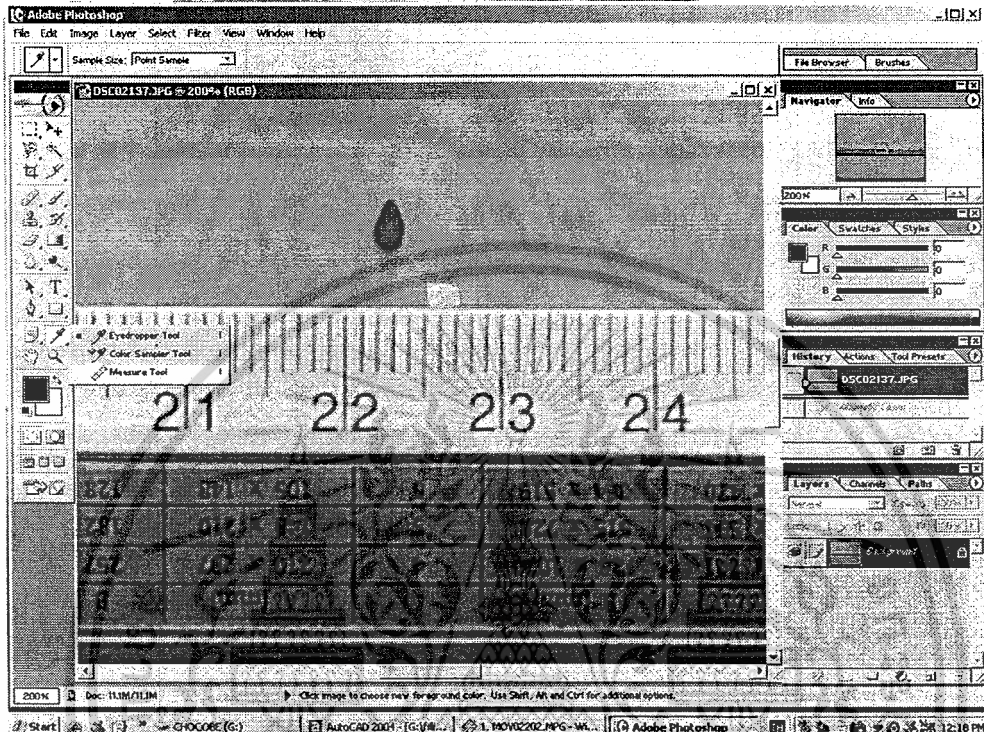


2. นำภาพที่ได้มาเปิดใน โปรแกรม Photoshop version 7 ใช้คำสั่ง Rectangular Marquee Tool แล้วคลิก กรอบรูป แล้วอ่านค่าความกว้าง ความยาว และ Pixels ของรูป

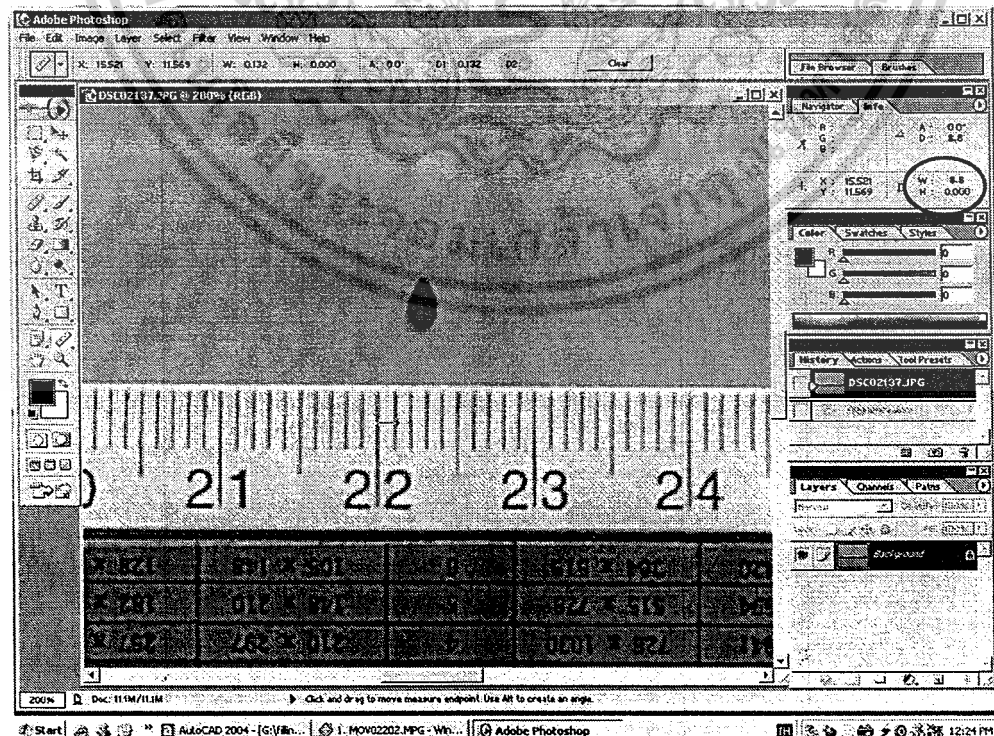


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกคำสั่ง Measure tool

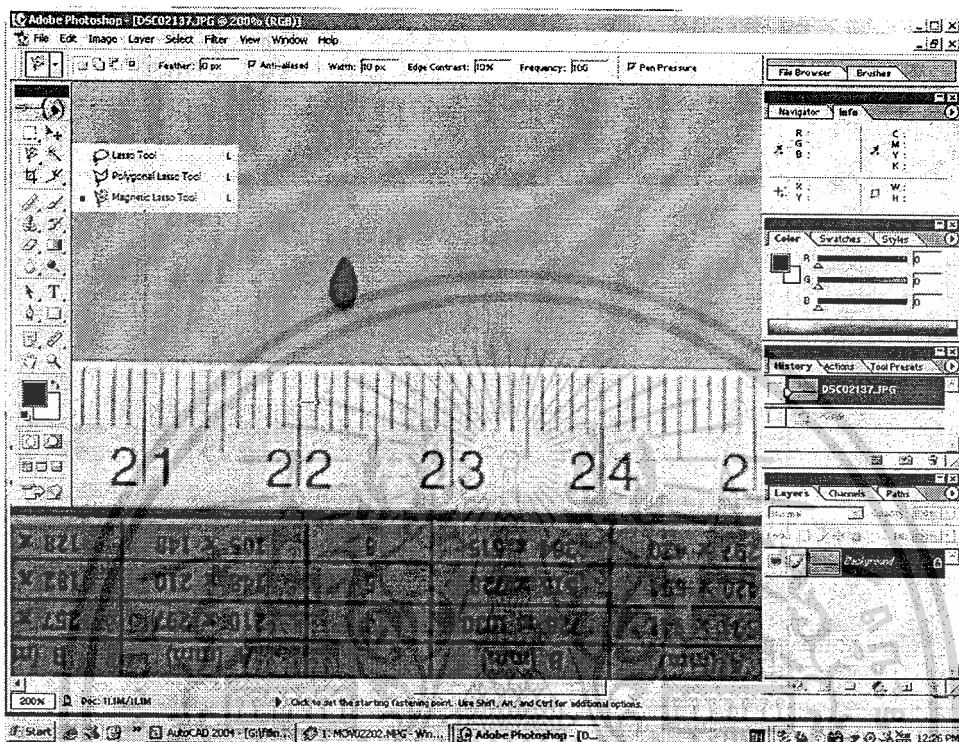


4. ทำการคลิกที่เสกของไม้บรรทัดพร้อมกับการกดปุ่ม Shift แล้วอ่านค่าความกว้าง (W) ที่วัดได้

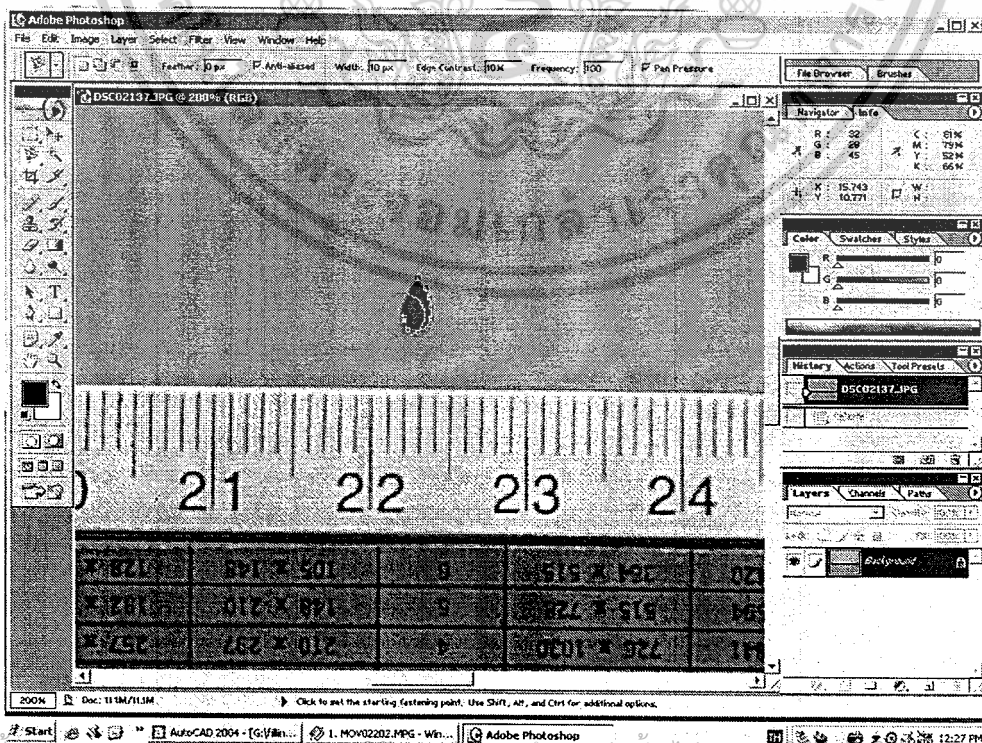


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใช้คำสั่ง Magnetic Lasso Tool

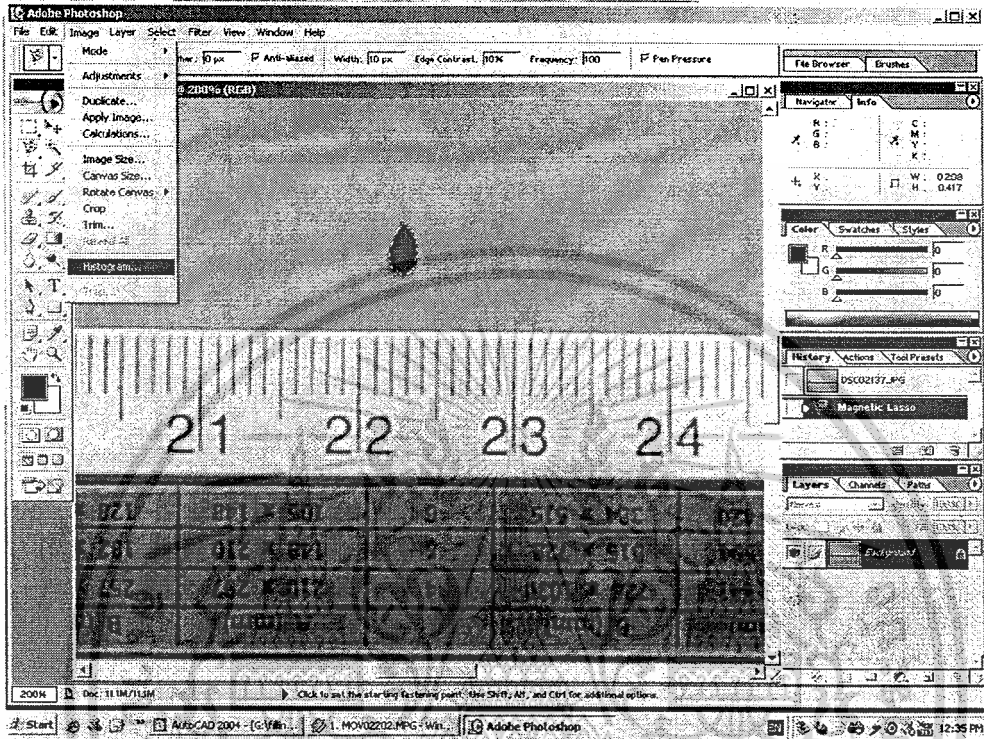


6. ลากเมาท์รอบรูปเมล็ดงา

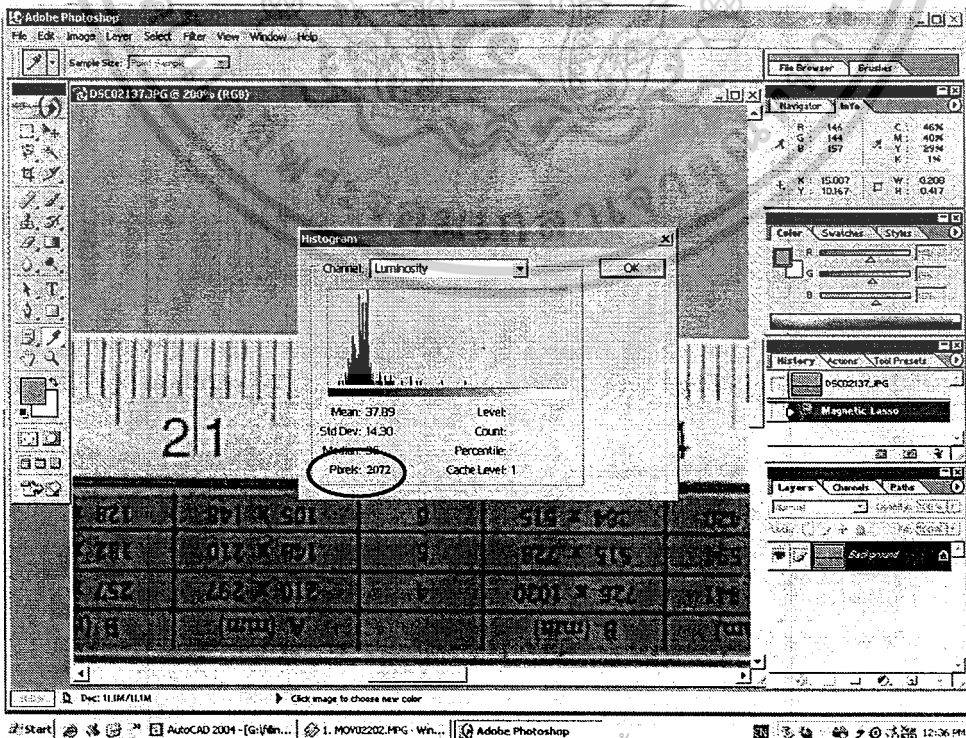


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นนิตยสารหรือนิตยสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เลือกคำสั่ง Histogram



8. อ่านค่า Pixels ที่ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่อ่านได้จาก ข้อ 2. คือ ความกว้าง และ ความยาวของรูป เท่ากับ 798.7 และ 598.3 ตามลำดับ =

477862.21 ตารางมิลลิเมตรใน Photoshop ค่า Pixels ของรูปเท่ากับ 3839744

ข้อ 4. คือ ความกว้าง 1 มิลลิเมตรของไม้บรรทัดจริง จะเท่ากับ 8.8 มิลลิเมตรใน

Photoshop ดังนั้น 1² มิลลิเมตรของ ไม้บรรทัดจริง จะเท่ากับ 8.8² มิลลิเมตรใน

Photoshop

ข้อ 8. คือ ค่า Pixels ของเมสส์คางที่อ่านได้ใน Photoshop เท่ากับ 2072 pixels

การคำนวณหาพื้นที่ภาพฉาย

→ 1 รูปมี 3839744 pixels = 477862.21 ตารางมิลลิเมตร ใน Photoshop

ถ้าเมสส์คางมี 2072 pixels จะเท่ากับ $\frac{477862.21 \times 2072}{3839744} = 257.86$ ตารางมิลลิเมตร ใน Photoshop

→ 8.8² ตารางมิลลิเมตร ใน Photoshop = 1² ตารางมิลลิเมตรของไม้บรรทัดจริง

ถ้า 257.86 ตารางมิลลิเมตร ใน Photoshop จะเท่ากับ $\frac{257.86 \times 1^2}{8.8^2} = 3.33$ ตารางมิลลิเมตร

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม Photoshop ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ภาพฉาย ที่ความขึ้น 5.2

(ฐานเปียก)

ตัวอย่างที่	1 mmจริงจะเท่ากับ ใน Photoshop (mm)	ค่า pixels ของเมสส์คาง ที่อ่านได้จากโปรแกรม Photoshop	พื้นที่ภาพฉายใน Photoshop (mm ²)	พื้นที่ภาพฉาย (mm ²)
1	8.8	2072	257.8630892	3.33
2	9.9	2735	340.3742997	3.47
3	9.5	2604	324.0711797	3.59
4	10.1	3115	387.6657929	3.80
5	9.5	2965	368.9980982	4.09
6	10.1	3122	388.536952	3.81
7	7.8	1763	219.4076382	3.61
8	7.9	2015	250.7693652	4.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) แสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม Photoshop ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ภาพถ่าย ที่ความขึ้น

5.2 (ฐานเปียก)

ตัวอย่างที่	1 mmจริงจะเท่ากับ ใน Photoshop (mm)	ค่า pixels ของเมตริก ที่อ่านได้จากโปรแกรม Photoshop	พื้นที่ภาพถ่ายใน Photoshop (mm ²)	พื้นที่ภาพถ่าย (mm ²)
9	7.9	2339	291.0915857	4.66
10	9	2467	307.0213519	3.79
11	8.1	2057	255.9963197	3.90
12	8.5	2159	268.6903521	3.72
13	7.8	1962	244.1734464	4.01
14	8.8	2387	297.065248	3.84
15	8.6	2129	264.9568132	3.58
16	8.3	2048	254.876258	3.70
17	8.1	2676	333.0316731	5.08
18	9.2	2403	299.0564688	3.53
19	7.1	1644	204.5979337	4.06
20	7.4	1570	195.3885377	3.57
21	7.6	1780	221.5233102	3.84
22	7.2	1612	200.6154922	3.87
23	7.4	1774	220.7766024	4.03
24	7.9	2144	266.8235826	4.28
25	7.9	2086	259.6054074	4.16
26	7.6	1596	198.6242714	3.44
27	7.9	2112	262.8411411	4.21
28	7.2	1671	207.9581187	4.01
29	7.1	1861	231.6038653	4.59
30	7.8	1639	203.9756772	3.35
31	2.8	268	33.35294783	4.25
32	2.8	235	29.246055	3.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) แสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม Photoshop ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ภาพถ่าย ที่ความชื้น

5.2 (ฐานเปียก)

ตัวอย่างที่	1 mmจริงจะเท่ากับ ใน Photoshop (mm)	ค่า pixels ของเมตรีดงา ที่อ่านได้จากโปรแกรม Photoshop	พื้นที่ภาพถ่ายใน Photoshop (mm ²)	พื้นที่ภาพถ่าย (mm ²)
33	2.8	258	32.10843485	4.10
34	2.8	263	32.73069134	4.17
35	2.8	241	29.99276279	3.83
36	2.8	249	30.98837317	3.95
37	2.8	272	33.85075302	4.32
38	2.8	297	36.96203547	4.71
39	2.8	247	30.73947057	3.92
40	2.8	238	29.61940889	3.78
41	2.7	271	33.72630172	4.63
42	2.7	322	40.07331792	5.50
43	2.7	243	30.24166538	4.15
44	2.7	261	32.48178874	4.46
45	2.7	257	31.98398355	4.39
46	2.7	342	42.56234387	5.84
47	2.7	293	36.46423028	5.00
48	2.7	252	31.36172706	4.30
49	2.7	259	32.23288615	4.42
50	2.7	283	35.2197173	4.83
51	2.7	227	28.25044462	3.88
52	2.7	260	32.35733745	4.44
53	2.7	208	25.88586996	3.55
54	2.7	213	26.50812645	3.64
55	2.7	248	30.86392187	4.23
56	2.7	255	31.73508096	4.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) แสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม Photoshop ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ภาพถ่าย ที่ความขึ้น

5.2 (ฐานเปียก)

ตัวอย่างที่	1 mmจริงจะเท่ากับ ใน Photoshop (mm)	ค่า pixels ของเมตรีดงา ที่อ่านได้จากโปรแกรม Photoshop	พื้นที่ภาพถ่ายใน Photoshop (mm ²)	พื้นที่ภาพถ่าย (mm ²)
57	2.7	242	30.11721409	4.13
58	2.7	230	28.62379851	3.93
59	2.7	229	28.49934721	3.91
60	2.7	193	24.01910049	3.29
61	2.9	271	33.72630172	4.01
62	2.9	255	31.73508096	3.77
63	2.9	265	32.97959394	3.92
64	2.9	251	31.23727577	3.71
65	2.9	295	36.71313287	4.37
66	2.9	308	38.33099974	4.56
67	2.9	254	31.61062966	3.76
68	2.9	267	33.22849653	3.95
69	2.9	322	40.07331792	4.76
70	2.9	231	28.74824981	3.42
71	2.9	315	39.20215883	4.66
72	2.9	307	38.20654845	4.54
73	2.9	291	36.21532768	4.31
74	2.9	279	34.72191211	4.13
75	2.9	205	25.51251606	3.03
76	2.9	288	35.84197379	4.26
77	2.9	298	37.08648677	4.41
78	2.9	227	28.25044462	3.36
79	2.9	256	31.85953226	3.79
80	2.9	234	29.1216037	3.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ) แสดงค่าที่ได้จากโปรแกรม Photoshop ที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่ภาพถ่าย ที่ความขึ้น

5.2 (ฐานเปียก)

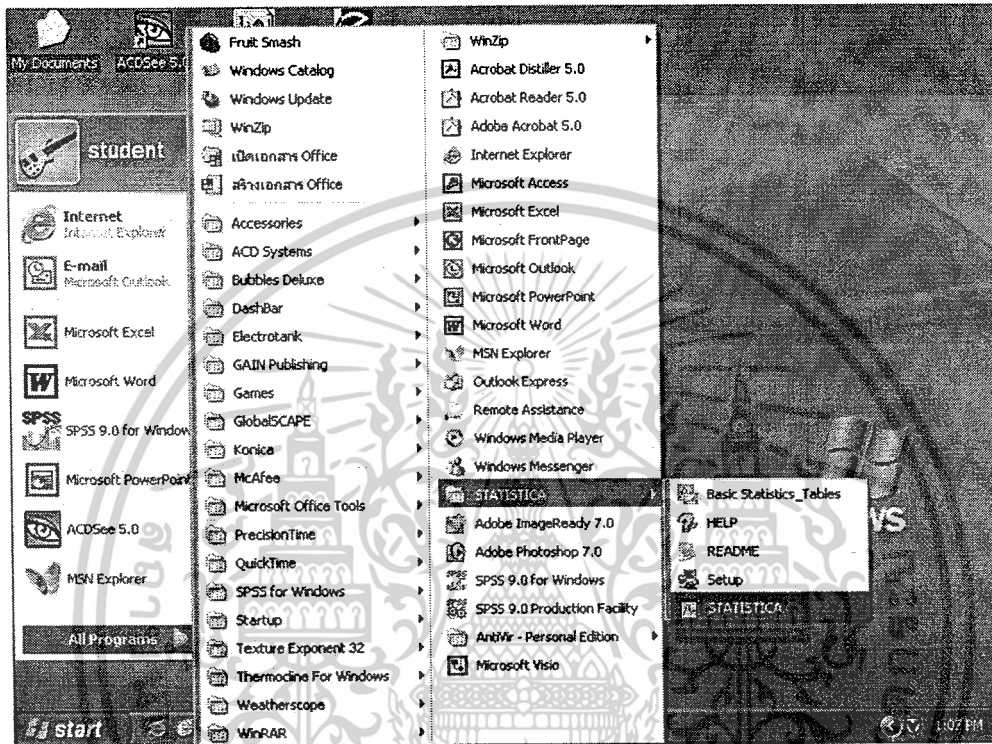
ตัวอย่างที่	1 mmจริงจะเท่ากับ ใน Photoshop (mm)	ค่า pixels ของเมตริก ที่อ่านได้จากโปรแกรม Photoshop	พื้นที่ภาพถ่ายใน Photoshop (mm ²)	พื้นที่ภาพถ่าย (mm ²)
81	2.8	179	22.27678232	2.84
82	2.8	285	35.46861989	4.52
83	2.8	327	40.6955744	5.19
84	2.8	274	34.09965562	4.35
85	2.8	269	33.47739913	4.27
86	2.8	288	35.84197379	4.57
87	2.8	272	33.85075302	4.32
88	2.8	328	40.8200257	5.21
89	2.8	266	33.10404523	4.22
90	2.8	288	35.84197379	4.57
91	2.7	219	27.25483423	3.74
92	2.7	253	31.48617836	4.32
93	2.7	264	32.85514264	4.51
94	2.7	280	34.8463634	4.78
95	2.7	292	36.33977898	4.98
96	2.7	232	28.87270111	3.96
97	2.7	296	36.83758417	5.05
98	2.7	235	29.246055	4.01
99	2.7	257	31.98398355	4.39
100	2.7	208	25.88586996	3.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

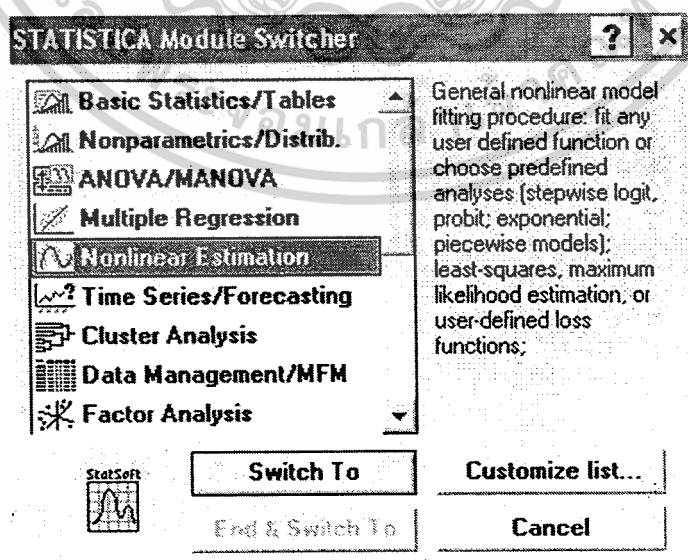
ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์แบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Statistica

1. เปิดโปรแกรม STATISTICA จาก Start → All Program → Statistica

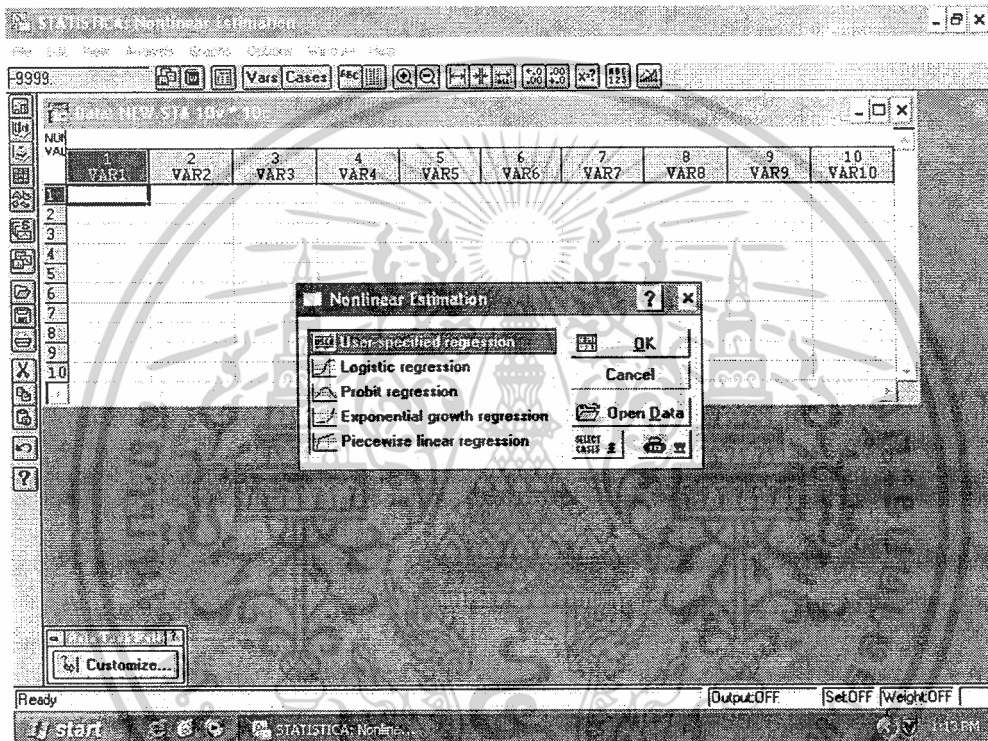


2. เมื่อขึ้นหน้าต่าง STATISTICA Module Switcher ให้เลือก Nonlinear Estimation จากนั้นกด Switch To



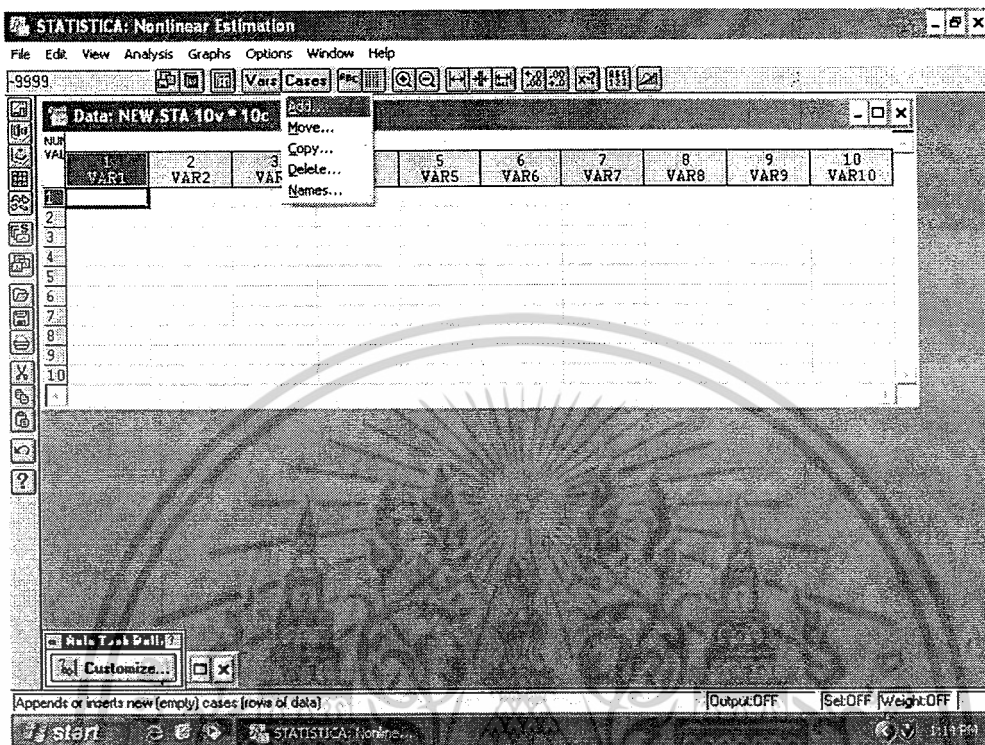
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หน้าต่าง STATISTICA : Nonlinear Estimation จะปรากฏขึ้นพบว่ามีจำนวนตัวแปร 10 ตัวแปร ได้แก่ var1 – var10 และมีจำนวน case 10 cases แต่สำหรับข้อมูลจากการทดลองมีจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ วอเตอร์แอกติวิตี ความชื้น และอุณหภูมิ จำนวน case หรือจำนวนค่าสังเกตมี 21 ค่า (ทดลองที่ 3 อุณหภูมิ ในแต่ละอุณหภูมิมียค่า วอเตอร์แอกติวิตีและความชื้น 7 ระดับ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มจำนวน case เข้าไปอีก 11 cases

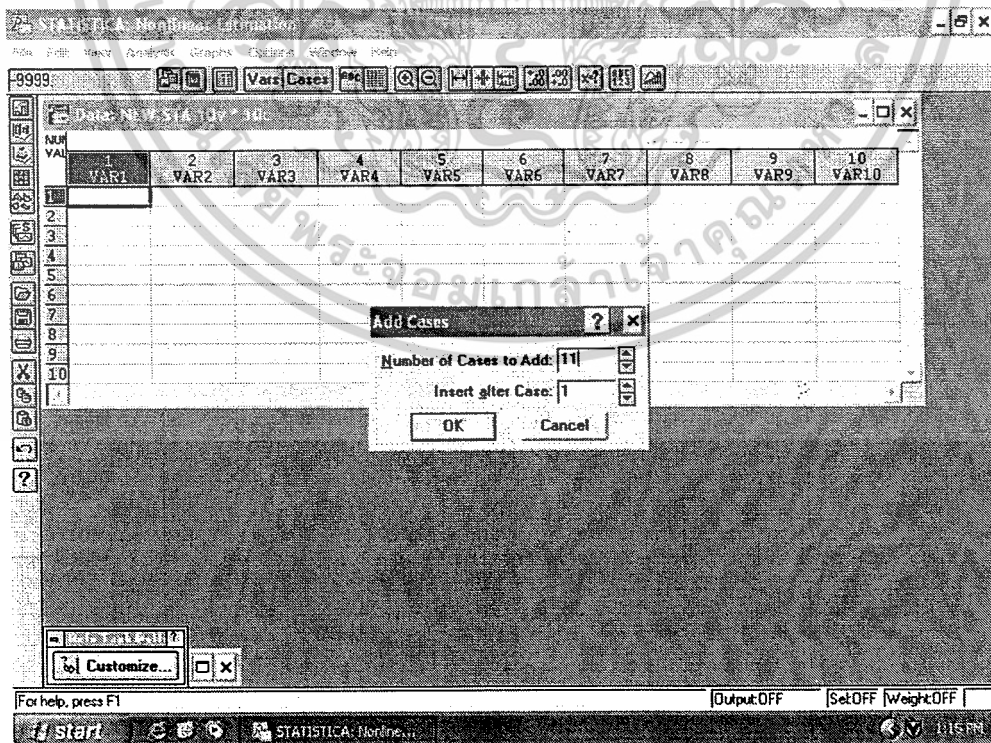


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพิ่มจำนวน case โดยเลือก Cases → Add...

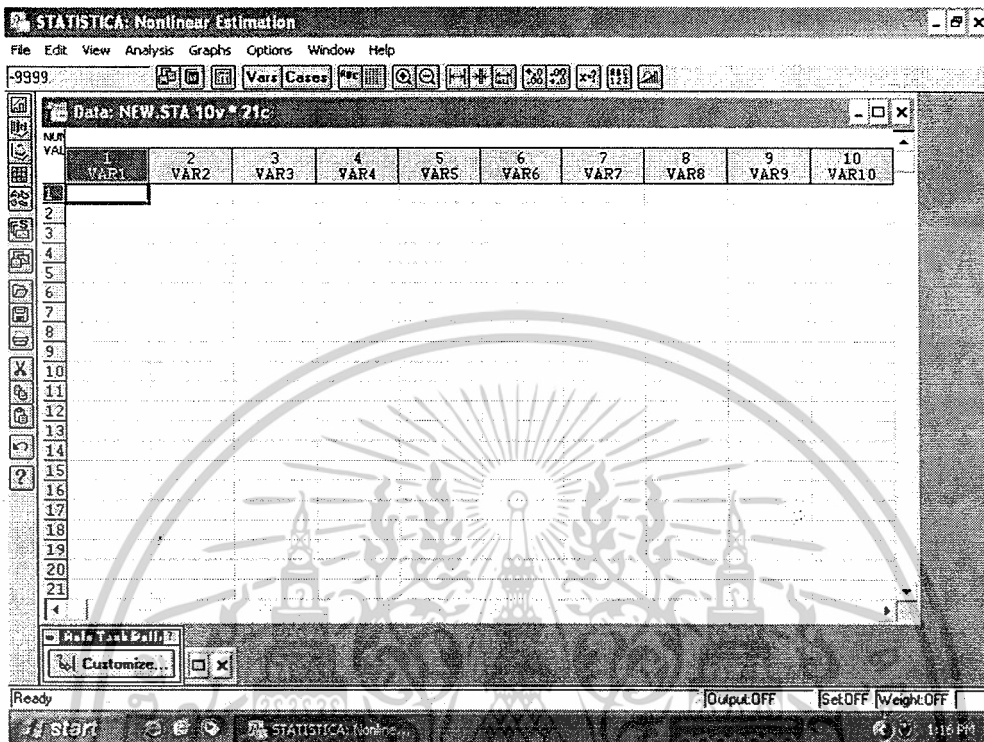


5. เมื่อขึ้นหน้าต่าง Add Cases ให้ใส่ Number of Cases to Add เป็น 11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จำนวน Case จะเพิ่มขึ้นเป็น 21 Cases



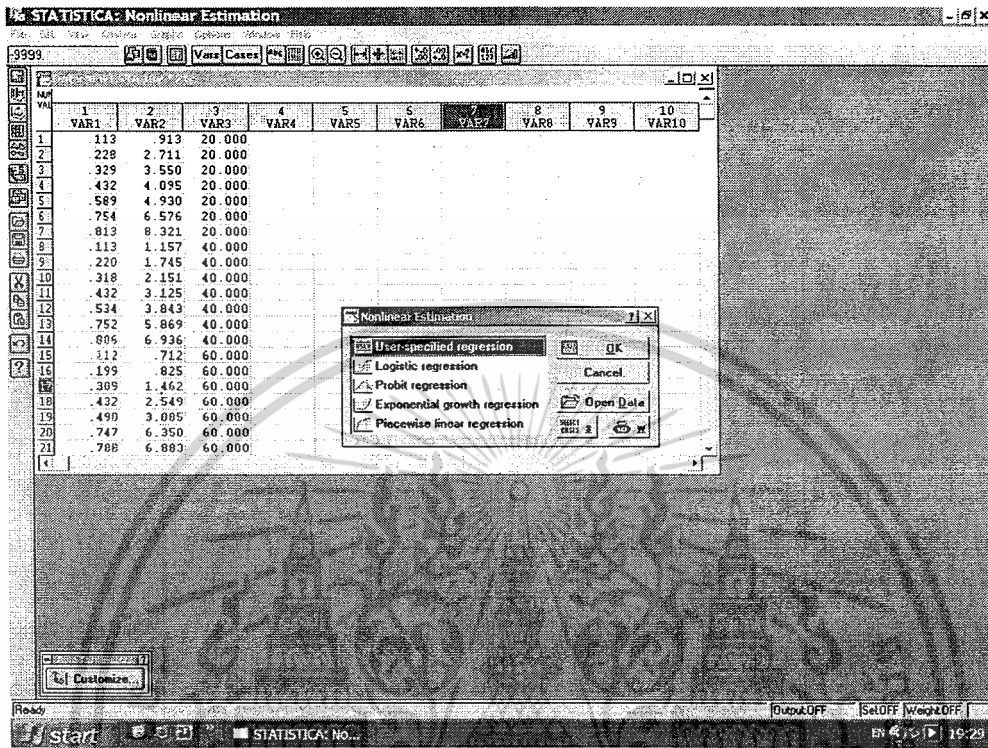
7. กรอกข้อมูลลงในตาราง โดย var1 เป็นวอเตอร์แอกติวิตี, var2 เป็นความชื้น และ var3 เป็นอุณหภูมิ

The screenshot shows the STATISTICA: Nonlinear Estimation software interface with the data table populated. The variables are VAR1, VAR2, VAR3, VAR4, VAR5, VAR6, VAR7, VAR8, VAR9, and VAR10. The cases are numbered 1 through 21. The data is entered into the grid, with VAR1, VAR2, and VAR3 containing numerical values.

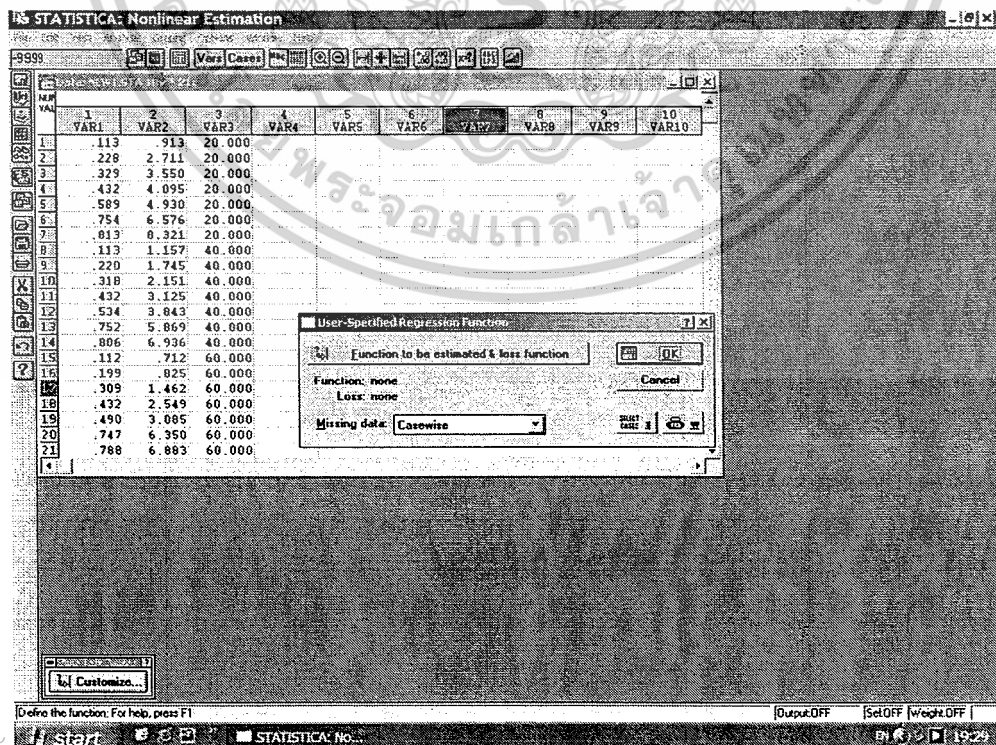
Case	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6	VAR7	VAR8	VAR9	VAR10
1	.113	.913	20.000							
2	.228	2.711	20.000							
3	.329	3.550	20.000							
4	.432	4.095	20.000							
5	.589	4.930	20.000							
6	.754	6.576	20.000							
7	.813	8.321	20.000							
8	.113	1.157	40.000							
9	.220	1.745	40.000							
10	.318	2.151	40.000							
11	.432	3.125	40.000							
12	.534	3.843	40.000							
13	.752	5.869	40.000							
14	.806	6.936	40.000							
15	.112	.712	60.000							
16	.199	.825	60.000							
17	.309	1.462	60.000							
18	.432	2.549	60.000							
19	.490	3.085	60.000							
20	.747	6.350	60.000							
21	.788	6.883	60.000							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. บนหน้าต่าง Nonlinear Estimation ให้เลือก User-Specified Regression จากนั้นกด OK



9. หน้าต่าง User-Specified Regression Function พบว่า Function : none และ Loss : none เนื่องจากยังไม่ได้เพิ่มสมการ ดังนั้นคลิก Function to be estimated & loss function เพื่อทำการเพิ่มสมการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาเบไซระเขยนด้านกรคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. หน้าต่าง Model Estimation จะปรากฏขึ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

Model is : สมการที่เพิ่มเข้าไป

Number of parameters to be estimated : จำนวนตัวแปรที่ต้องการหาค่าซึ่งในแต่ละสมการจะมีตัวแปร 3 ตัว คือ A B และ C

Dependent variable : ตัวแปรตาม

Independent variable : ตัวแปรตาม

Number of valid case : จำนวนข้อมูล

Estimation method : Quasi-Newton

จากนั้นคลิกที่ Start values : เพื่อทำการใส่ค่าเริ่มต้น

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Windows Help

9999

VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6	VAR7	VAR8	VAR9	VAR10
1	.113	.913	20.000						
2	.228	2.711	20.000						
3	.329	3.550	20.000						
4	.432	4.095	20.000						
5	.589	4.930	20.000						
6	.754	6.576	20.000						
7	.819	8.321	20.000						
8	.113	1.157	40.000						
9	.220	1.745	40.000						
10	.319	2.151	40.000						
11	.432	3.125	40.000						
12	.534	3.843	40.000						
13	.752	5.869	40.000						
14	.806	6.936	40.000						
15	.112	.712	60.000						
16	.199	.825	60.000						
17	.309	1.462	60.000						
18	.432	2.549	60.000						
19	.490	3.085	60.000						
20	.747	6.350	60.000						
21	.788	6.883	60.000						

Model Estimation

Model is: $var1 = \exp(-a/(var3+b)) * \exp(-c*var2)$

Number of parameters to be estimated: 3

Less functions (OBS-PRED)**2

Dependent variable: VAR1

Independent variables: VAR3 VAR2

Missing data are casewise deleted

Number of valid cases: 21

Estimation method: Quasi-Newton

Asymptotic standard errors

Start values: 1 for all parameters

Initial step size: 50 for all parameters

Maximum number of iterations: 50

Convergence criterion: 0.001

Means & standard deviations

Matrix plot for all variables

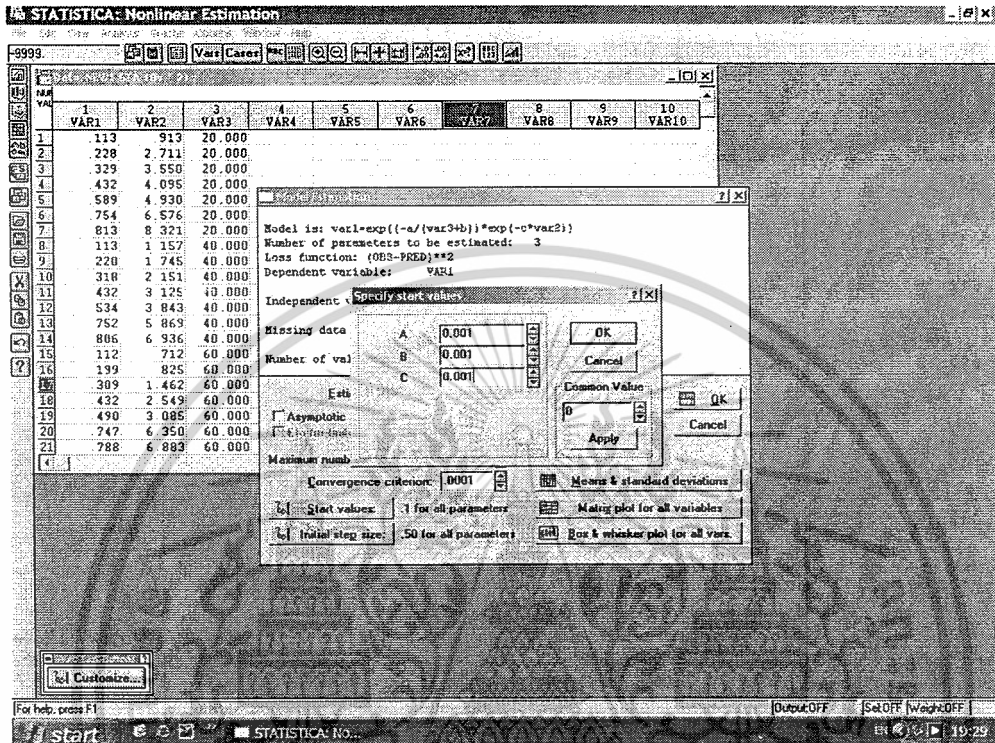
Box & whisker plot for all vars.

STATISTICA No...

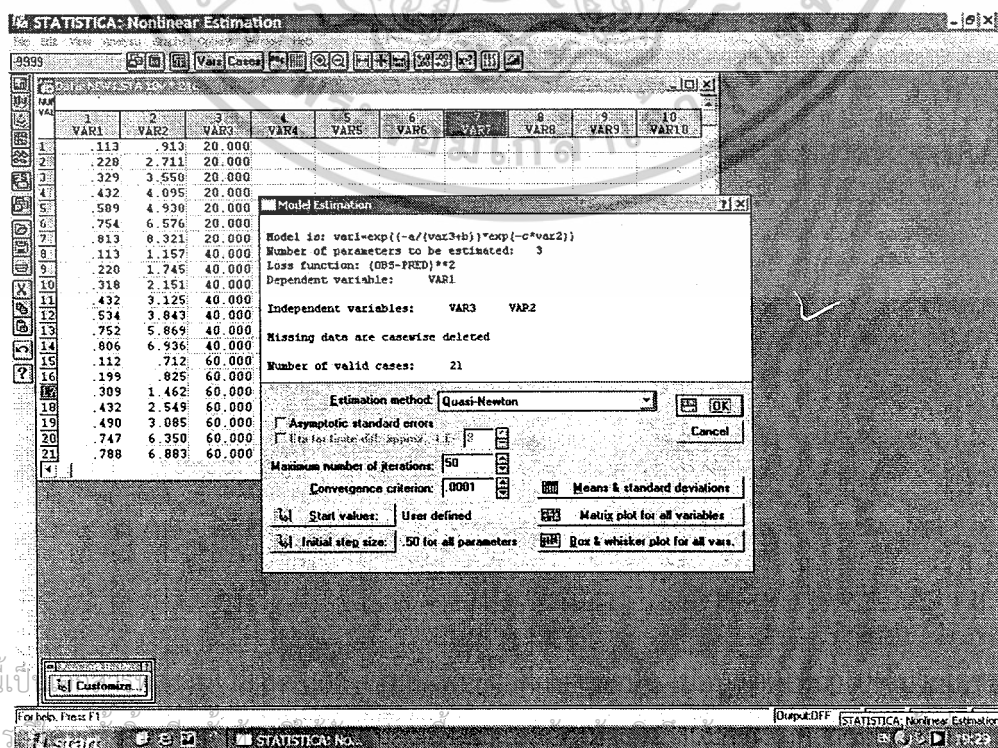
19:29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. หน้าต่าง Specify start values จะปรากฏขึ้นมา ที่ช่อง A, B และ C ให้ใส่ค่า 0.001 (มีค่าใกล้เคียงศูนย์ แต่จะใส่ค่าศูนย์ไม่ได้) จากนั้นเลือก OK

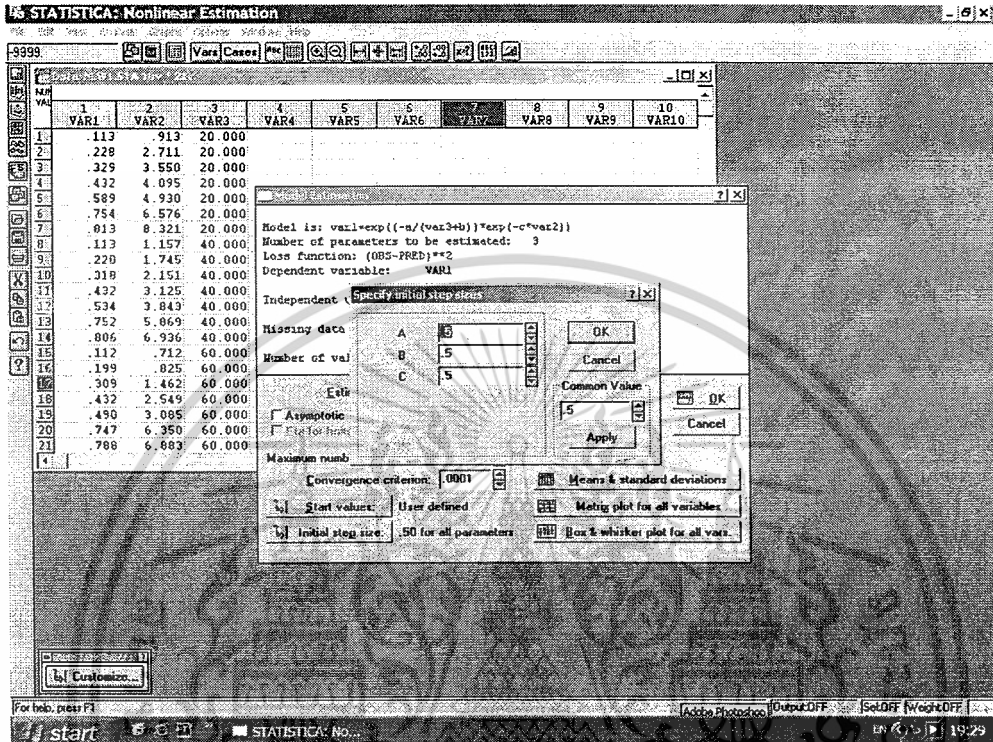


14. หน้าต่าง Model Estimation จะปรากฏขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง แต่ที่ Start Values จะเป็น User defined จากนั้นคลิกที่ Initial Step Size :

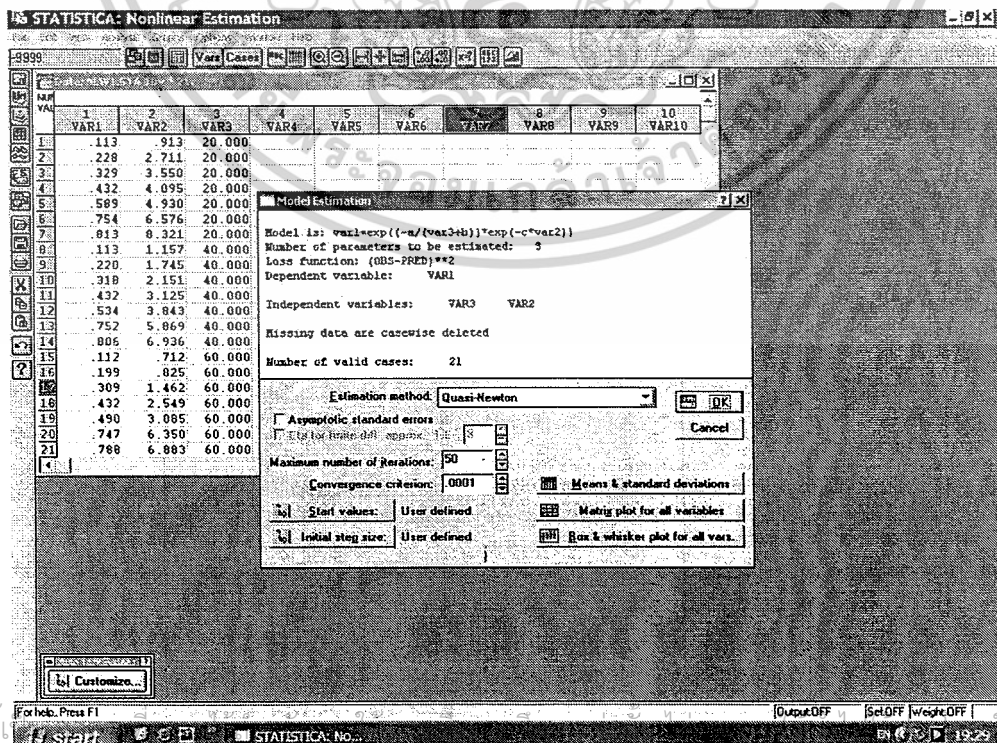


15. หน้าต่าง Specify Initial Step Sizes จะปรากฏขึ้นมา ที่ช่อง A, B และ C ให้ใส่ค่า 0.5 จากนั้นเลือก

OK



16. หน้าต่าง Model Estimation จะปรากฏขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง แต่ที่ Initial Step Size จะเป็น User defined จากนั้นคลิกที่ OK

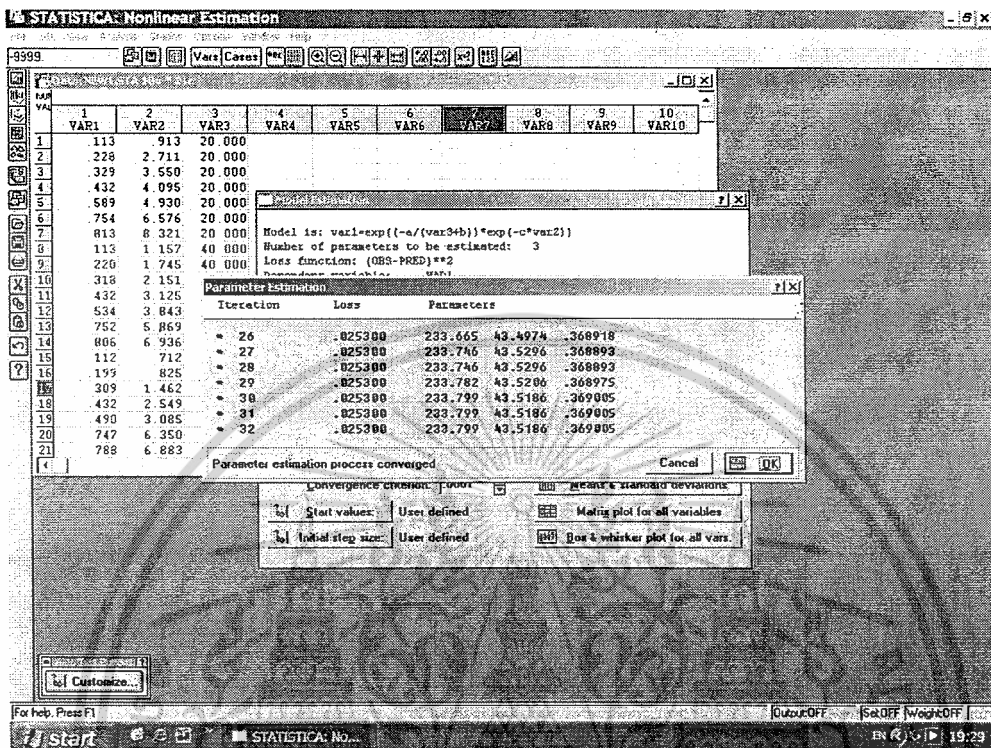


เอกสารนี้

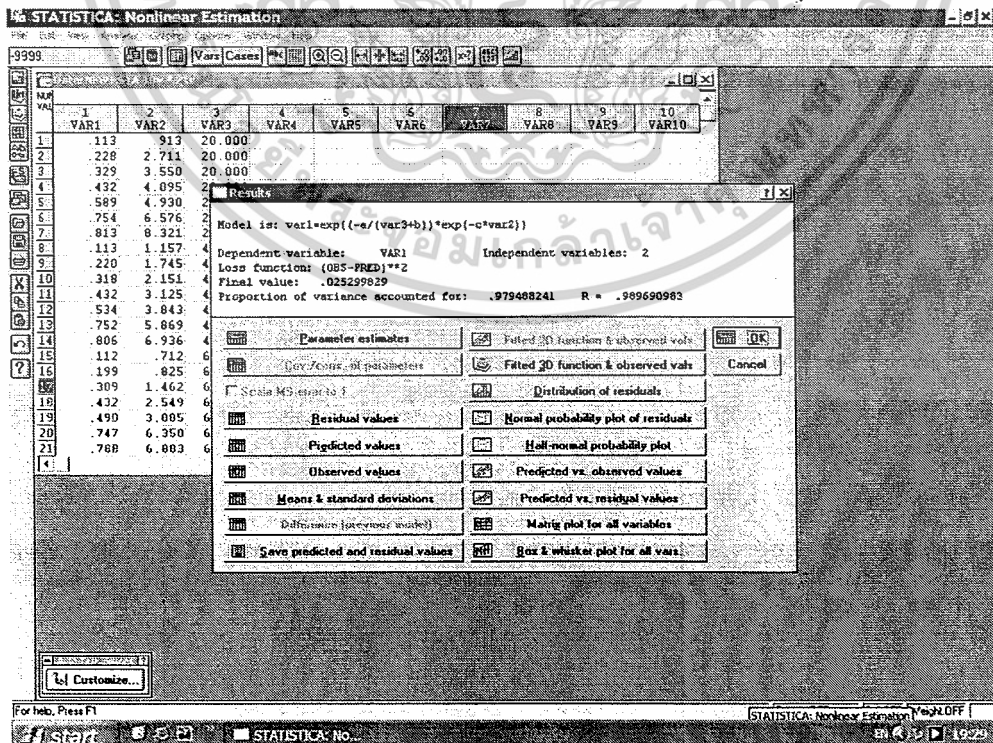
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานการคำ

17. โปรแกรมจะทำการ run เมื่อ run เสร็จแล้ว เลือก OK



18. หน้าต่าง Results จะปรากฏขึ้น ค่าตัวแปร A, B, C และ Variance ได้โดยคลิกที่ Parameter Estimates



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19. หน้าต่าง Parameter Estimates จะปรากฏขึ้นแสดงสมการ ตัวแปร และ Variance ของสมการ และคลิก Continue... เพื่อดูค่าอื่น

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

233.798838880646

Columns Rows

Model: var1 = exp((-a*(var3+b))) * exp(-c*var2) * (var1+c)^d

Dep. var: VARI Loss: (OBS-PRED)**2

Final loss: 025299829 R= .98969 Variance explained: 97.949%

	A	B	C
Parameter	233.7988	43.51860	.369005

N=21

Ready

STATISTICA: No...

EN 19:29

20. หน้าต่าง Result จะปรากฏขึ้นอีกครั้ง หลังจากนั้นคลิก Predicted Values หน้าต่าง Predicted Values จะปรากฏขึ้นมา แสดงค่าตัวแปรตามที่ได้จากการคำนวณ (Predict) และคลิก Continue... เพื่อดูค่าอื่น

STATISTICA: Nonlinear Estimation

File Edit View Analysis Graphs Options Window Help

107224566

Columns Rows

Predicted Values

	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6	VAR7	VAR8	VAR9	VAR10
C:1	072246									
C:2	258290									
C:3	370380									
C:4	443877									
C:5	550563									
C:6	722383									
C:7	842983									
C:8	150945									
C:9	229897									
C:10	282011									
C:11	413292									
C:12	507653									
C:13	725394									
C:14	805300									
C:15	176109									
C:16	189063									
C:17	268000									
C:18	414072									
C:19	485085									
C:20	805033									
C:21	836814									

Dep. var: VARI Loss: (OBS-PRED)**2

Final loss: 025299829 R= .98969 Variance explained: 97.949%

	A	B	C
Parameter	233.7988	43.51860	.369005

Ready

STATISTICA: No...

EN 19:29

เอกสารนี้...
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. หน้าต่าง Result จะปรากฏขึ้นอีกครั้ง หลังจากนั้นคลิก Means & Standard Deviations หน้าต่าง Means and Standard Deviations จะปรากฏขึ้นมา แสดงค่าเฉลี่ย (mean) , standard deviation, ค่าน้อยที่สุด (minimum) และค่ามากที่สุด (maximum)

The screenshot shows the STATISTICA Nonlinear Estimation window. On the left, a list of coefficients (C:1 to C:21) is displayed with their corresponding values. The main window displays the results of the nonlinear estimation, including the loss function and the variance-covariance matrix. A dialog box titled 'Means and Standard Deviations' is open, showing the following data:

	Mean	St. dev.	Minimum	Maximum
VAR2	40.60006	16.73320	20.00000	60.00000
VAR2	3.70417	2.33660	.71205	8.32059
VAR1	.45290	.24834	.11230	.81320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้