สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเครื่องวัดความพรุนของอาหารเม็ด

Development of Porosity Measuring Device of Granular Food

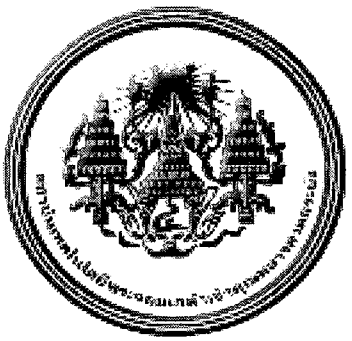
T097045

นางสาวจรรยา แสงเขียว
นางสาวชนิศา ปัทมาพรพรรณ
นายอาณัติ ทองแพง

ปพ.
ค 148 ก
2547
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....97045.....
วัน,เดือน,ปี.....

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องวัดความพรุนของอาหารเม็ด

(Development of Porosity Measuring Device of Granular Food)

โดย

นางสาวจรรยา แสงเขียว รหัสนักศึกษา 43040680

นางสาวชนิศา ปัทมาพรพรรณ รหัสนักศึกษา 43040682

นายอาณัติ ทองแพง รหัสนักศึกษา 43040703

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 22/3/47 **อาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษ**

(ดร. กิตติชัย บรรจง)

โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(ผศ.ดร.ระติพร หาเรือนกิจ)

คณบดีโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นางสาวจรรยา แสงเขียว นางสาวชนิศา ปัทมาพรพรรณ และนายอาณัติ ทองแพง. 2547 : การพัฒนาเครื่องวัดความพรุนของอาหารเม็ด (Development of Porosity Measuring Device of Granular Food) ภาควิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.กิตติชัย บรรจง , 43 หน้า

การออกแบบเครื่องวัดความพรุนของอาหารเม็ด โดยใช้การแทนที่อากาศในช่องว่างภายในวัสดุที่ต้องการวัดความพรุน เครื่องมือที่ออกแบบประกอบด้วย ถังอะคริลิกใสรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.40เซนติเมตร ปริมาตร 985 ลูกบาศก์เซนติเมตร 2 ใบ มีฝาปิด เชื่อมต่อกันด้วยท่อไนล่อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.30 เซนติเมตร โดยมีวาล์ว 3 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่ เปิด-ปิดการอัดอากาศจากภายนอกเข้าสู่ถังอากาศ ตัวที่สอง ทำหน้าที่เป็นตัวเปิด-ปิด การปล่อยอากาศสู่ถังตัวอย่าง และตัวที่สาม ทำหน้าที่เป็นตัวเปิด-ปิด การปล่อยอากาศออกจากถังตัวอย่าง การวัดความดันอากาศภายในใช้มาตรวัดความดันขนาด 700 กิโลปาสคาล ความละเอียด 5 กิโลปาสคาล วิธีการวัดทำโดยอัดอากาศเข้าไปในถังเปล่าจนมีความดัน 100 กิโลปาสคาล แล้วปิดวาล์วตัวแรกจากนั้นเปิดวาล์วที่เชื่อมต่อระหว่างถังตัวอย่างและถังอากาศ รอจนมาตรวัดมีความดันคงที่ อ่านค่าความดัน แล้วนำค่าความแตกต่างของความดันอากาศมาคำนวณเป็นค่าปริมาตรช่องว่างและความพรุน จากการทดลองวัดค่าปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมด 18.79, 39.09, 59.39 และ 79.70 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 5 ครั้ง นำมาคิดเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ได้เท่ากับ 56.19, 7.13, 4.70 และ 1.10 ตามลำดับ และเมื่อนำมาคำนวณค่าสหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าจริง ได้เท่ากับ 0.982 เมื่อทดลองวัดค่าความพรุนของเม็ดพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.516 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าความพรุนเท่ากับ 60.28 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 5 ครั้ง พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด 6.82 เปอร์เซ็นต์

จรรยา แสงเขียว
(นางสาวจรรยา แสงเขียว)

ชนิศา ปัทมาพรพรรณ
(นางสาวชนิศา ปัทมาพรพรรณ)

(นายอาณัติ ทองแพง) ลายมือชื่อนักศึกษา

(ดร.กิตติชัย บรรจง) ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา

22 / 3 / 47
วัน เดือน ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปัญหาพิเศษในหัวข้อเรื่องการพัฒนาเครื่องวัดความพรุนของอาหารเม็ดนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์กิตติชัย บรรจง ซึ่งเป็นที่ปรึกษาปัญหาพิเศษเรื่องนี้ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา รวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคุณพ่อและแม่ที่ช่วยสละทุนทรัพย์ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ และก็ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมแปรรูปทุกคนที่ให้ยืมอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทำปัญหาพิเศษนี้ ให้คำปรึกษาในการเรียบเรียงและให้กำลังใจมาโดยตลอด

จรรยา แสงเขียว

ชนิศา ปัทมาพรรณ

อาณัติ ทองแพง

16 มีนาคม 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1	1
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
2 วารสารปริทัศน์	2
2.1 การแทนที่ของเหลว	4
2.2 การใช้พิกโนมิเตอร์ (pycnometer) แบบต่าง ๆ	7
2.2.1 พิกโนมิเตอร์แห้ง	7
2.2.2 พิกโนมิเตอร์แบบเปรียบเทียบอากาศ (Air comparison pycnometer)	11
2.2.3 ยีเลียมสเตอริโอพิกโนมิเตอร์ (Helium stereo-pycnometer)	12
2.3 การใช้หลักการอัดของเหลวด้วยความดัน	12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
3 อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	17
3.1 อุปกรณ์	17
3.2 วัตถุดิบ	17
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	17
4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	20
4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องวัดความพรุน	20
4.2 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนโดยใช้น้ำเป็นตัวสอบเทียบ	26
4.3 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนโดยใช้เม็ดพลาสติกเป็นตัวสอบเทียบ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่	
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก. ส่วนประกอบเครื่องวัดความพรุน	33
ภาคผนวก ข. วิธีการใช้งานเครื่องมือวัดความพรุน	39
ภาคผนวก ค. ข้อมูลการสอบเทียบเครื่องมือ	41
ประวัติผู้เขียน	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงความพรุนและความหนาแน่นต่าง ๆ ของวัสดุเกษตร	3
4.1	ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนที่สร้างขึ้นโดยใช้น้ำ	26
ค.1	ข้อมูลการสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้น้ำเป็นตัวสอบเทียบ	41
ค.2	ข้อมูลจากการสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้เม็ดพลาสติก	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การหาปริมาตรโดยการแทนที่ของเหลว	5
2.2	การหาปริมาตรโดยการชั่งน้ำหนักในของเหลว	5
2.3	ผังส่วนประกอบของเครื่องพิกโนมิเตอร์แห้งแบบที่ 1	7
2.4	พิกโนมิเตอร์แห้งแบบที่ 2	10
2.5	ผังการทำงานของพิกโนมิเตอร์แบบเปรียบเทียบอากาศ	11
2.6	แสดงเครื่องวัดความพรุนสำหรับใช้วัดความพรุนของปูยหมัก	15
2.7	ผังเครื่องวัดความพรุนเพื่อใช้วัดปริมาตรช่องว่างอากาศอิสระของปูยหมัก	16
3.1	แสดงผังส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดความพรุนที่ออกแบบ	18
4.1	แผนภาพการเจาะรูฐานไม้	21
4.2	แผนภาพขนาดตัวถังและฝาถังของถังตัวอย่างและถังเปล่าที่ออกแบบ	22
4.3	แผนภาพส่วนประกอบย่อยของถังตัวอย่างที่ออกแบบ	23
4.4	แผนภาพส่วนประกอบย่อยของถังเปล่าที่ออกแบบ	24
4.5	เครื่องวัดความพรุนที่ประกอบเสร็จแล้ว	25
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่างอากาศจากการทดลองและจากการคำนวณ	27
ก.1	มาตรวัดความดันและแผ่นยางปิดปากถังตัวอย่าง	33
ก.2	ท่อลมพลาสติก บอลวาล์วและชุดน็อตและยางรองน็อตสำหรับยึดตัวถังและฝา	33
ก.3	ลักษณะถังตัวอย่างที่ประกอบเสร็จแล้ว	34
ก.4	ลักษณะถังเปล่าที่ประกอบเสร็จแล้ว	35
ก.5	ลักษณะวาล์วที่ 1 วาล์วที่ 2 และวาล์วที่ 3	36
ก.6	การสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้น้ำ	37
ก.7	การสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้เม็ดพลาสติก	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ความพรุนเป็นสมบัติทางกายภาพ เกี่ยวข้องกับเกือบทุกขั้นตอนต่าง ๆ ของขบวนการแปรรูปอาหาร เช่น การเก็บเกี่ยว ขบวนการหลังการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา การแปรรูป การบรรจุ และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ปัจจุบันเครื่องวัดความพรุนมีราคาแพง ยากต่อการใช้งานจึงได้ประดิษฐ์เครื่องวัดความพรุนขึ้นมาใช้เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยใช้หลักการแทนที่ของอากาศในวัตถุ โดยวัสดุที่ต้องการวัดความพรุนจะบรรจุอยู่ในภาชนะปิด จะวัดค่าความดันแตกต่างแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความพรุนตามกฎของก๊าซสัมบูรณ์

วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดความพรุนสำหรับวัตถุดิบทางการเกษตรและอาหารเม็ดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

ความพรุนเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาตรช่องว่างที่มีอยู่ในกองวัสดุปริมาณมวล เช่น ข้าวเปลือก หญ้า อาหารสัตว์ แป้ง ข้าว โดยความพรุนนี้เป็นสมบัติทางกายภาพสมบัติหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับเกือบทุกขั้นตอนของขบวนการแปรรูปอาหาร ตั้งแต่การเก็บเกี่ยว ขบวนการหลังการเก็บเกี่ยว การเก็บรักษา การแปรรูป การบรรจุ และมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ความพรุน ($\sum$) มีค่าเท่ากับสัดส่วนของปริมาตรอากาศต่อปริมาตรรวม ดังเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\sum = \frac{\text{ปริมาตรของอากาศที่แทรกอยู่ตามรูพรุน}}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ}}$$

ค่าความพรุนเปลี่ยนแปลงตามรูปร่าง ขนาด และลักษณะผิวของวัสดุ ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุน ความหนาแน่นรวม และความหนาแน่นเนื้ออธิบายได้ดังนี้

เนื่องจากความพรุน $\sum = \frac{\text{ปริมาตรของอากาศที่แทรกอยู่ตามรูพรุน}}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ}}$

$$= \frac{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ} - \text{ปริมาตรวัสดุ}}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ}}$$

$$= 1 - \frac{\text{ปริมาตรเนื้อ}}{\text{ปริมาตรรวม}}$$

มวลของเนื้อวัสดุและมวลของปริมาตรรวมคือค่าเดียวกัน ดังนั้น

$$\sum = 1 - \frac{\text{ความหนาแน่นรวม}}{\text{ความหนาแน่นเนื้อ}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 1 - \frac{\rho_b}{\rho_a} = \frac{\rho_a - \rho_b}{\rho_a}$$

ค่าความพรุนอาจแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ด้วย ใช้ได้ทั้งวัสดุที่มีรูพรุนภายในเนื้อวัสดุ เช่น เม็ดผงกาแฟแบบละลายทันที (Instant coffee) ซึ่งเป็นการเกาะตัวกันของผงกาแฟ ทำให้พื้นที่ผิวในการละลายมากขึ้น ตัวอย่างค่าความพรุนของวัสดุทางการเกษตรแสดงได้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความพรุนและความหนาแน่นต่าง ๆ ของวัสดุเกษตร

วัสดุ	ความหนาแน่นรวม (kg/m^3)	ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	ความพรุน %	ที่มา
เมล็ดฟักทอง (ทั้งเปลือก) ที่มีความชื้น(%ฐานแห้ง)				
5.8	404	1179	65.73	
8.1	427	1174	63.63	
20.0	464	1152	60.59	
32.2	468	1120	58.21	
40.7	472	1070	55.46	Joshi และคณะ (1993)
เมล็ดในเมล็ด ฟักทอง(แกะเปลือก)มีความชื้น(%ฐานแห้ง)				
4.2	481	1080	55.46	
7.0	498	1108	55.05	
15.5	514	1020	54.11	
26.3	536	1135	52.78	
38.0	554	1143	51.53	
เปลือกเมล็ดฟักทองที่มีความชื้น (%ฐานแห้ง)				
10.5	75	1533	95.11	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงความพรุนและความหนาแน่นต่าง ๆ ของวัสดุเกษตร (ต่อ)

วัสดุ	ความหนาแน่นรวม (kg/m^3)	ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m^3)	ความพรุน %	ที่มา
ข้าวโพด	745	-	40.00	
ข้าว	590	-	48.00	
ข้าวสาลี	805	-	41.00	
เมล็ดมะขาม (ดิบ)	821-840	1370-1432	39.2-41.3	Bhattachar และ
เมล็ดมะขาม (คั่ว)	760-771	1275-1307	39.9-42.3	คณะ (1993)

ที่มา : ปานมนัส ศิริสัมบูรณ์ (2538)

ในการคำนวณหาค่าความพรุนของอาหารหรือวัสดุทางการเกษตรสามารถหาได้โดยอาจใช้วิธีคำนวณค่าความพรุนจากสูตรในการคำนวณความพรุน ถ้าหากทราบค่าความหนาแน่นรวม และค่าความหนาแน่นเนื้อวัสดุก็ทำให้คำนวณหาค่าความพรุนได้ หรืออาจหาค่าความพรุนได้จากการทดลองหาปริมาตรของรูพรุนของวัสดุโดยใช้วิธีการต่าง ๆ ได้แก่

2.1 การแทนที่ของเหลว

2.2 การใช้พิกโนมิเตอร์ (pycnometer) แบบต่าง ๆ

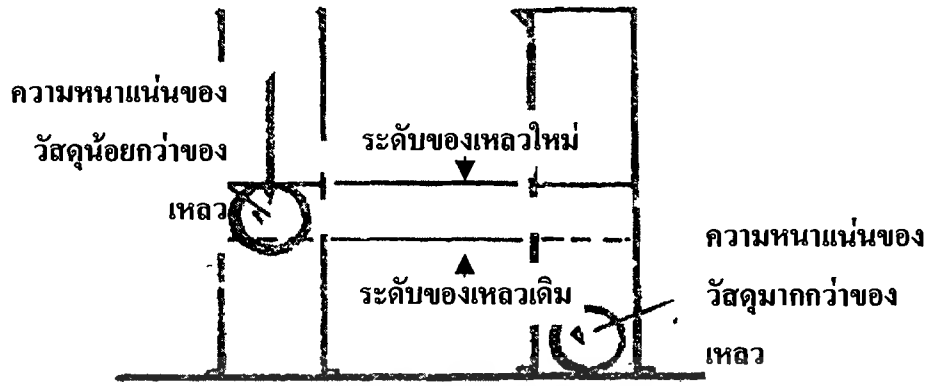
- 2.2.1 พิกโนมิเตอร์แห้ง
  - 2.2.1.1 แบบที่ 1
  - 2.2.1.2 แบบที่ 2
- 2.2.2 พิกโนมิเตอร์แบบเปรียบเทียบอากาศ (Air comparison pycnometer)
- 2.2.3 ฮีเลียมสเตอริโอพิกโนมิเตอร์ (Helium stereo-pycnometer)

2.3. การใช้หลักการอัดของเหลวด้วยความดัน

2.1 การแทนที่ของเหลว

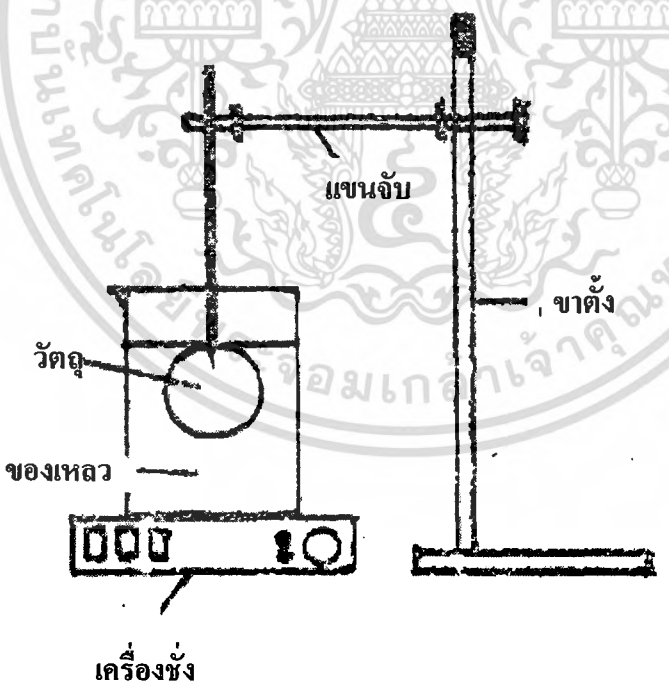
เมื่อวัตถุแทรกตัวลงไปในของเหลวทำให้ระบบมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเท่ากับปริมาตรของวัตถุนั้น ดังนั้น การแทนที่ของเหลวเป็นวิธีการง่าย ๆ ในการหาปริมาตรของวัตถุ (ภาพที่ 2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 การหาปริมาตรโดยการแทนที่ของเหลว
ที่มา : ปานมนัส ศิริสัมบูรณ์ (2538)

นอกจากนี้อาจใช้วิธีชั่งน้ำหนักของวัตถุในของเหลว (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 การหาปริมาตรโดยการชั่งน้ำหนักในของเหลว
ที่มา : ปานมนัส ศิริสัมบูรณ์ (2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักวัตถุที่ชั่งในของเหลวคือ น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ นั่นคือแรงพยุงวัตถุของของเหลวนั่นเอง

ฉะนั้น ปริมาตรของวัตถุ (V_m) คำนวณได้จาก

$$V_m = \frac{m_L}{\rho_L}$$

เมื่อ m_L = มวลของของเหลวที่ถูกแทนที่ (ค่าที่อ่านได้ลบด้วยของภาชนะของเหลว)

ρ_L = ความหนาแน่นของของเหลว

เนื่องจากวัสดุทางการเกษตรและอาหารบางชนิด มักจะมีรูพรุนหรือดูดซับของเหลว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น้ำได้ดี การหาปริมาตรโดยวิธีเหล่านี้อาจมีข้อผิดพลาดได้มาก จึงมีการเลือกใช้ของเหลวให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะหาปริมาตรและคำนึงถึงว่า

ปริมาตรภายนอก = ปริมาตรของเหลวที่ถูกแทนที่ + ปริมาตรของของเหลวที่ซึมเข้าไปในวัตถุ (Apparent volume)

ปริมาตรที่แท้จริง = ปริมาตรของเหลวที่ถูกแทนที่ (True volume)

การหาปริมาตรที่แท้จริงโดยวิธีการนี้ไม่เหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถกำหนดเวลาที่ของเหลวถ่ายเทเข้าไปในช่องว่างของรูพรุนได้ เนื่องจากน้ำเป็นของเหลวที่หาง่ายที่สุด ง่ายต่อการทดลองจึงมักนิยมใช้น้ำเป็นของเหลวในการทดลองจากวัตถุไม่ดูดซับน้ำหรืออาจเคลือบวัตถุก่อน (ทำได้ง่ายกับผัก ผลไม้) ด้วยไข (wax) บาง ๆ เพื่อป้องกันน้ำซึมผ่านเข้าไปก็ได้ ส่วนของเหลวอื่น ๆ ที่ใช้ได้แก่ โทลูอีน ซึ่งมีข้อดีคือ ไม่ค่อยซึมเข้าไปวัตถุ มีความตึงผิวต่ำ เป็นตัวทำละลายที่เลวต่อไขมันและน้ำจุดเดือดสูง ความถ่วงจำเพาะและความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อสัมผัสกับอากาศ และมีความถ่วงจำเพาะต่ำ นอกจากนี้ยังมีสารละลายอื่นๆ ได้แก่ เฮ็กเซน (ความถ่วงจำเพาะ 0.66)

เอททานอล (Ethanol) และสารละลายโซเดียมโบร์ไมด์(Sodium Bromide)ซึ่งมีโซเดียมโบร์ไมด์ 40 ส่วน น้ำ 60 ส่วนโดยน้ำหนักสารละลายมีความหนาแน่น 1.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

สารละลายที่กล่าวถึงนอกเหนือจากน้ำนั้นนิยมใช้ในการหาปริมาตรของเมล็ดพืช เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง ข้าว เมล็ดมะขาม เมล็ดแตง เป็นต้น ดังเช่นการทดลองของ Bhattacharya และคณะ (1993) ใช้เฮ็กเซนในการหาปริมาตรของเมล็ดมะขาม โดยนำเมล็ดมะขาม 100 เม็ด บรรจุลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกตวงขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร วัดระดับปริมาตรที่ระดับผิวเมล็ดมะขามเป็น V แล้วเติมเฮ็กเซนลงไปจนท่วมเมล็ดมะขามพอดีวัดปริมาตรเฮ็กเซนที่ใช้ไป (V_1)

ดังนั้น ปริมาตรเมล็ดมะขามเฉลี่ย 1 เม็ด เท่ากับ $\frac{V - V_1}{100}$

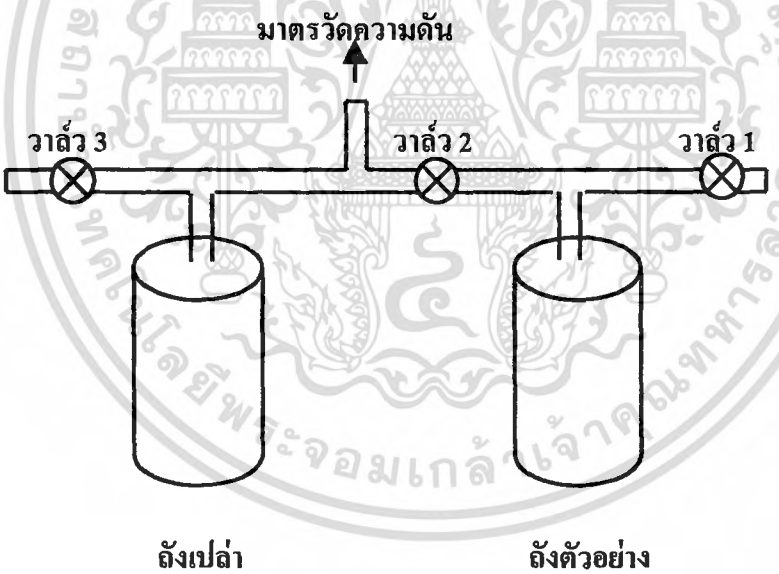
2.2 การใช้พิกโนมิเตอร์

พิกโนมิเตอร์เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้วัดหาปริมาตรช่องว่างอากาศระหว่างเมล็ดหรืออาหาร โดยใช้หลักการที่ว่า อากาศไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเมล็ดขณะวัด จึงต้องใช้อากาศหรือก๊าซเฉื่อย เช่น ฮีเลียม (Helium) แทรกเข้าไประหว่างรูพรุนช่องว่างระหว่างเมล็ดหรือวัสดุปริมาณมวลอื่นแทนของเหลว โดยเครื่องพิกโนมิเตอร์มีหลายชนิดด้วยกัน คือ

2.2.1 พิกโนมิเตอร์แห้ง

2.2.1.1 แบบที่ 1

หลักการทำงานของเครื่องวัดความพรุนโดยใช้พิกโนมิเตอร์แห้งแบบที่ 1 มีหลักการดังนี้



ภาพที่ 2.3 ผังส่วนประกอบของเครื่องพิกโนมิเตอร์แห้งแบบที่ 1

ที่มา : Mohsenin (1980)

1. พิจารณาระบบดังภาพที่ 2.3 ถังเปล่ามีอากาศอยู่เต็ม ถังตัวอย่างบรรจุอาหารเม็ดไว้จนเต็ม เมื่อระบบอยู่ในสมดุลกับอากาศภายนอก (วาล์วทุกตัวเปิดหมด) สามารถอ่านค่าความดันได้ค่าหนึ่ง ให้ความดันสัมบูรณ์ขณะนั้นเป็น P_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของก๊าซสัมบูรณ์ จะได้

$$P_1V_1 = m_1RT$$

$$P_1V_2 = m_2RT$$

จะได้

$$P_1 (V_1 + V_2) = (m_1 + m_2) RT$$

เมื่อ P_1 = ความดันสัมบูรณ์ขณะสมดุลกับอากาศภายนอก

V_1 = ปริมาตรของอากาศในถังเปล่า (รวมทั้งในท่อ)

V_2 = ปริมาตรของช่องว่างระหว่างอาหารเม็ดในถังตัวอย่าง(รวมทั้งในท่อ)

m_1 = มวลของอากาศในถังเปล่า

m_2 = มวลของอากาศในช่องว่างระหว่างอาหารเม็ดในถังตัวอย่าง

R = ค่าคงที่ของก๊าซ

T = อุณหภูมิขณะนั้น

2. เมื่อปิดวาล์ว 2 และวาล์ว 3 แล้วอัดอากาศเข้ามาในถังเปล่า ความดันจะเพิ่มขึ้นเป็น P_2 หลังจากนั้นปิดวาล์ว 1

$$P_2V_2 = (m_1 + m'_1) RT$$

เมื่อ P_2 = ความดันสัมบูรณ์ใหม่

m'_1 = มวลของอากาศที่เพิ่มขึ้น

3. เมื่อเปิดวาล์ว 2 ระบบจะปรับสมดุลใหม่ จะได้

$$P_3 (V_1 + V_2) = (m_1 + m'_1 + m_2) RT$$

จาก $m_2 = \frac{P_1V_2}{RT}$ และ $m_1 + m'_1 = \frac{P_2V_1}{RT}$

แทนค่า m_2 และ $m_1 + m'_1$ ลงในสมการ จะได้

$$V_2 = \frac{(P_2 - P_3) V_1}{(P_3 - P_1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $$V_2 = \frac{(P_2 - P_3)\ V_1}{P_3}$$

หากเป็นระบบที่ดูดอากาศออกจากระบบ โดยปิดวาล์ว 2 เปิดวาล์ว 3 แล้วดูดอากาศออกจากถังตัวอย่าง ปิดวาล์ว 1 จากกฎของก๊าซสัมบูรณ์หรืออุดมคติจะได้

$$P_1 V_1 = mRT$$

เปิดวาล์ว 2 จนกระทั่งระบบอยู่ในสมดุล อ่านค่าความดัน จะได้

$$P_2 (V_1 + V_2) = mRT$$

ฉะนั้น $$P_1 V_1 = P_2 (V_1 + V_2)$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2} = V_1 + V_2$$

$$V_2 = \frac{(P_1 + P_2)}{P_2} \times V_1$$

$$V_G = V_1 - V_2 - V_{pipe}$$

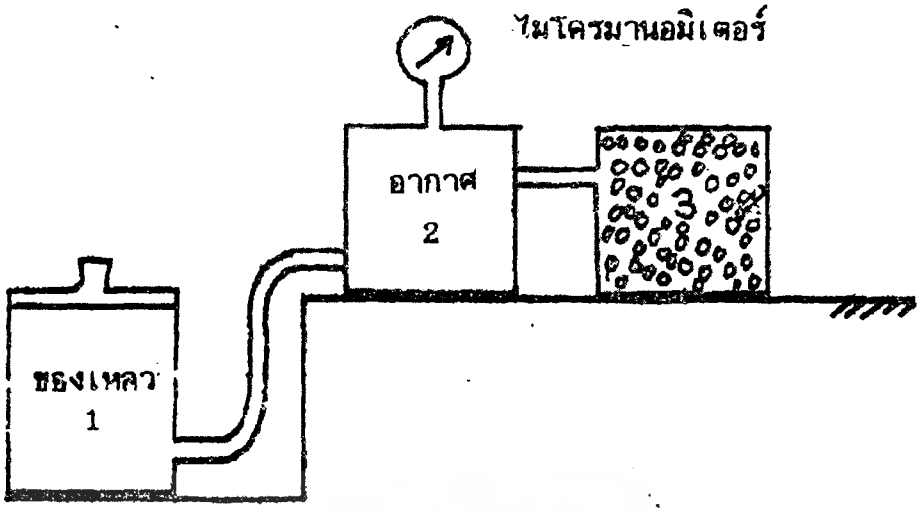
เมื่อปริมาตรของถังตัวอย่างเท่ากับ V_1

ข้อที่น่าสังเกตคือ การดูดก๊าซออกจากถังตัวอย่างจนหมดนั้น ถังจะต้องอยู่ในสภาพที่แข็งแรงทนทานต่อระบบสุญญากาศได้

2.2.1.2 แบบที่ 2

วิธีนี้อาศัยหลักการง่ายๆ คือแทนที่อากาศด้วยของเหลวและกฎของก๊าซอุดมคติ จากภาพที่ 2.4 ขวดที่ 1 บรรจุของเหลว ขวดที่ 2 เป็นขวดเปล่า ขวดที่ 3 รู้ปริมาตรแน่นอนและบรรจุเมล็ดพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 พิกโนมิเตอร์แห้ง แบบที่ 2
ที่มา : ปานมนัส ศิริสัมบูรณ์ (2538)

ในภาพที่ 2.4 ความดันสัมบูรณ์ของระบบสมดุลกับอากาศ P_1
จากกฎของก๊าซสมบูรณ์ $$P_1V_1 = mRT$$

เมื่อ V_1 = $V_T - V_G$
V_T = ปริมาตรขวด 2 ขวด 3 และท่อ
V_G = ปริมาตรของเมล็ดพืช
m = มวลของอากาศในระบบ
R = ค่าคงที่ของก๊าซใดๆ
T = อุณหภูมิของอากาศ

เมื่อยกขวด 1 ขึ้นให้สูงกว่าระดับของขวด 2 ของเหลวจะไหลไปแทนที่อากาศในขวด 2 ซึ่งอากาศในขวด 1 และขวด 2 จะถูกอัดตัวทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงไปเป็น P_2 และเนื่องจากมวลของอากาศในระบบไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น

$$P_2V_2 = mRT$$

เมื่อ V_2 = $V_T - V_G - V_L$
V_L = ปริมาตรของของเหลวที่แทนที่ในอากาศ

ดังนั้น $$P_1V_1 = P_2V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_1 (V_T - V_G) = P_2 (V_T - V_G - V_L)$$

$$V_G = V_T - \frac{P_2 - V_L}{P_2 - P_1}$$

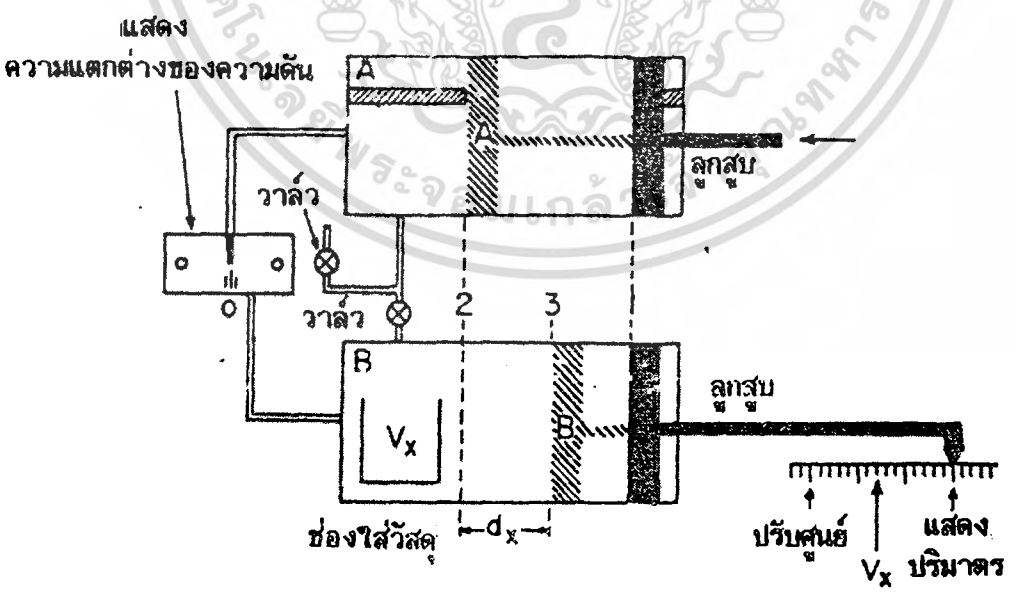
2.2.2 พิกโนมิเตอร์แบบเปรียบเทียบอากาศ (Air comparison pycnometer)

จากภาพที่ 2.5 เครื่องมือวัดนี้ประกอบด้วยทรงกระบอก 2 อัน แต่ละอันมีลูกสูบ ทรงกระบอก 2 อันนี้มีท่อต่อถึงกันและกัน และมีวาล์วปิดเปิดที่ท่อนั้นและมีชุดแสดงความแตกต่างของความดันระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง นอกจากนี้ยังมีชุดแสดงปริมาตร

ขณะที่วาล์วปิดหากลูกสูบใดเคลื่อนที่ ลูกสูบอีกอันหนึ่งจะต้องเคลื่อนที่ในระยะทางเท่ากันเพื่อรักษาความดันสมดุลของความดันในทรงกระบอกทั้งสอง

ขณะที่วาล์วปิดและลูกสูบทั้งสองเคลื่อนที่ไปเท่า ๆ กัน แล้วใส่วัสดุทำให้เกิดความแตกต่างของความดันขึ้น และหากจะทำให้ค่าความแตกต่างของความดันเท่ากับศูนย์อย่างเดิมต้องขยับให้ลูกสูบในทรงกระบอกที่มีช่องใส่วัสดุนี้เคลื่อนที่ไป การเคลื่อนที่ของลูกสูบนี้แปรตามปริมาตรวัสดุที่ใส่ลงไป

พิกโนมิเตอร์แบบเปรียบเทียบอากาศที่ผลิตขายทางการค้าได้แก่ รุ่น 930 ของบริษัทเบคแมน (Beckman Instrument Inc.,Fullerton,CA,USA.)



ภาพที่ 2.5 ผังการทำงานของพิกโนมิเตอร์แบบเปรียบเทียบอากาศ

ที่มา : Mohsenin (1980)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ฮีเลียมสเตอรีโอพิกโนมิเตอร์(Helium stereo-pycnometer)

เครื่องมือวัดนี้มีผลิตเป็นการค้าแล้วเช่นกัน เช่น บริษัทควันทาโครม (Qautachrome Corp.,Nyosset,New York,USA) รุ่น SPY-2

การทำงานอาศัยหลักการแทนที่รูพรุนด้วยก๊าซ เมื่อบรรจุตัวอย่างวัสดุลงในช่องบรรจุที่มีปริมาตรแน่นอน V_1 แล้วไล่อากาศออกแทนที่ด้วยก๊าซฮีเลียมโดยกระบวนการวัฏจักรการบีบอัดและคลายตัว (pressurization-depressurization cycles) เครื่องวัดนี้ทำงานที่อุณหภูมิห้องที่ความดันบรรยากาศสูงถึง 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งค่าความชื้นของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อส่งผ่านก๊าซฮีเลียมเข้าไปในช่องพักก๊าซ บันทึกค่าความดัน P_1 (สำหรับเครื่องนี้สามารถอ่านค่าความดันได้ถึง 0.001 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เมื่อเปิดวาล์วระหว่างช่องบรรจุวัสดุกับช่องพักก๊าซ V_2 ก๊าซฮีเลียมจะเข้าไปในช่องบรรจุวัสดุ บันทึกค่าความดัน P_2 (เท่ากันทั้งสองช่อง)

จากกฎของก๊าซอุดมคติ

$$P_1(V_1 - V_S) = P_2(V_1 + V_2 - V_g)$$

เมื่อ V_S = ปริมาตรของของแข็งไม่รวมปริมาตรรูพรุน

ดังนั้น
$$V_s = V_1 - \frac{P_2 V_g}{P_2 - P_1}$$

2.3 การใช้หลักการอัดของเหลวด้วยความดัน

วิธีการนี้ใช้ในกรณีที่วัสดุมีรูพรุน และต้องการวัดหาปริมาตรจริงของเนื้อวัสดุไม่ใช่ปริมาตรปรากฏ (Apparent volume) การใช้ความดัน ผลักดันของเหลวให้แทรกตัวเข้าไปในเนื้อวัสดุนั้นต้องคำนึงถึงว่าของเหลวที่ใช้ต้องไม่ทำปฏิกิริยากับเนื้อวัสดุ หรือแทรกซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ และความดันต้องไม่สูงเกินไปจนทำให้วัสดุเสียทรงหรือโครงสร้างถูกทำลาย

เครื่องมือวัดปริมาตรนี้มีผลิตขายเป็นเชิงการค้าหลายชนิด เช่น พอโรซิมิเตอร์แบบปรอทรุ่น Autoscan-500 (Quantachrome, Nyosset, Newyork, USA.) และ พอโรซิมิเตอร์แบบปรอทชนิดความดันสูงรุ่นAutocan-60 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอโรซิมิเตอร์แบบปรอทแบ่งชนิดตามความดันในการทำงานโดยปกติมี 2 ชนิด คือ ชนิดธรรมดาซึ่งมีช่วงในการทำงาน (0.7-500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ขนาดของรูพรุน 150-0.2ไมโครเมตร (ประมาณ 60000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ขนาดของรูพรุนในวัสดุที่เล็กกว่า 0.2 ไมโครเมตร (2 นาโนเมตร - 50 ไมโครเมตร) ซึ่งความดันนี้ไม่ได้ทำให้รูปร่างของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป (Karathanos และ Saravacos,1993) การทำงานของ พอโรซิมิเตอร์นี้เริ่มจากบรรจุวัสดุลงในแม่พิมพ์แล้วอัดด้วยความดัน 50-500 ของความดันบรรยากาศ เพื่อไล่ของเหลว เช่น น้ำที่เกาะติดอยู่ที่ในช่องว่าง ขณะเดียวกันก็อัดปรอทซึ่งเป็นของเหลวที่ไม่เปียกและไม่ทำปฏิกิริยา (Non- wetting ,non reactive liquid) ลงไป

จากกฎของแคปิลารี (Capilary) ได้สมการของ Wash burn, Karathanos และ Saravacos (1993)

$$(P = (2\gamma/r)\cos\phi$$

เมื่อ P = ความดันที่บรรจุปรอทลงในช่องว่าง

γ = ความตึงผิวของปรอท (480 dyne/cm)

ϕ = มุมที่ปรอทสัมผัสกับวัสดุ (contact angle) ($\phi = 140°$)

r = รัศมีของรูพรุน

ทั้งนี้โดยสมมุติให้รูพรุนมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกยาว ดังนั้น

$$Pr = 106.7$$

เมื่อ P มีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ r มีหน่วยเป็นไมโครเมตร

หลักการวัดการกระจายรูพรุน (Pore size distribution) เมื่อความดันมากขึ้นปรอทจะแทรกเข้าไปในรูพรุนเล็กๆได้มากขึ้น ปริมาตรปรอทที่แทรกเข้าไปก็มากขึ้น ข้อมูลที่ต้องบันทึกไว้ได้แก่ ความดันที่กระทำต่อปรอท ปริมาตรของปรอทที่แทรกเข้าไปในรูพรุน ฟังก์ชั่นการกระจายของรูพรุน $D_v(r)$ มีค่าดังสมการต่อไปนี้ (Karathanos และ Saravacos, 1993 อ้างจาก Adamson,1992)

$$D_v(r) = \left(\frac{P}{r}\right)\left(\frac{dV}{dP}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น $D_v(\tau)$ สัมพันธ์กับความชันของกราฟระหว่าง ปริมาตรปรอทที่แทรกเข้าไปในรูพรุน (ปริมาตรรูพรุน) กับความดัน ซึ่งจะได้

$$\frac{dV}{dP} = \frac{V_{i+1} - V_1}{P_{i+1} - P_1}$$

เมื่อ i , i+1 = ลำดับตำแหน่งการทดลอง

เนื่องจาก $\int_0^{V_F} PdV = \sum P_1 \Delta V_1$

เมื่อ $\Delta V1$ = ปริมาตรที่ปรอทแทรกเข้าไป (V_{i+1}- V_1) ระหว่างความดัน P_1และ P_2

P_F = ความดันสูงสุดที่กระทำต่อปรอท

V_F = ปริมาตรสูงสุดที่ปรอทแทรกเข้าไปในรูพรุน

หากทราบค่าปริมาตรของภาชนะบรรจุตัวอย่าง หรือปริมาตรรวมของวัสดุก็สามารถคำนวณหาปริมาตรของวัสดุได้จาก

$$V_g = V_T - V_F$$

เมื่อ V_g = ปริมาตรของเนื้อวัสดุที่มีรูพรุน

V_T = ปริมาตรรวมของวัสดุ

V_F = ปริมาตรของรูพรุนซึ่งเท่ากับปริมาตรของปรอทที่แทรกเข้าไป

ตัวอย่างขั้นตอนการทดลองโดยให้พอโรซิมิเตอร์แบบปรอททดสอบหาขนาดความพรุนของแป้งสตาร์ชต่างๆ (Karathanos และ Saravacos, 1993) แล้วชั่งตัวอย่างประมาณ 0.3-1 กรัม แล้วบรรจุลงในช่องบรรจุตัวอย่างของพอโรซิมิเตอร์แบบปรอทแล้วดูดอากาศออกโดยใช้ปั๊มสูญญากาศ แล้วอัดปรอทลงในตัวอย่าง โดยค่อยเพิ่มความดันถึง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที ปรอทจึงแทรกเข้าไปทั่วรูพรุน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Annan (1998) ได้นำเครื่องพิกโนมิเตอร์อากาศ มาใช้เป็นวิธีหนึ่งในการวัดปริมาตรอากาศที่มีอยู่ในปุ๋ยหมัก แล้วเปรียบเทียบกับการหาโดยวิธีอื่น ๆ โดยเครื่องพิกโนมิเตอร์อากาศที่ใช้ประกอบไปด้วยถังภาชนะ 2 ถัง โดยถังที่ 1 (reservoir chamber) จะอัดความดันที่รู้ค่าความดันนั้น และถังที่ 2 (sample chamber) จะใส่ตัวอย่างที่ทดสอบที่รู้ปริมาตรของตัวอย่าง จากนั้นเปิดวาล์วที่เชื่อมต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างถัง 2 ถัง แล้วอ่านค่าความดัน และจะนำค่าความดันทั้งสองค่าไปคำนวณตามกฎของบอยล์ (Boyle's law) โดยจะได้ความสัมพันธ์

$$V_s = \frac{(P_r - P_o)V_r}{P_o}$$

เมื่อ P_0 = ความดันสมดุลหลังจากเปิดวาล์วเชื่อมต่อระหว่าง 2 ถัง

P_r = ความดันในถังที่ 1

V_s = ปริมาตรอากาศถังที่ 2

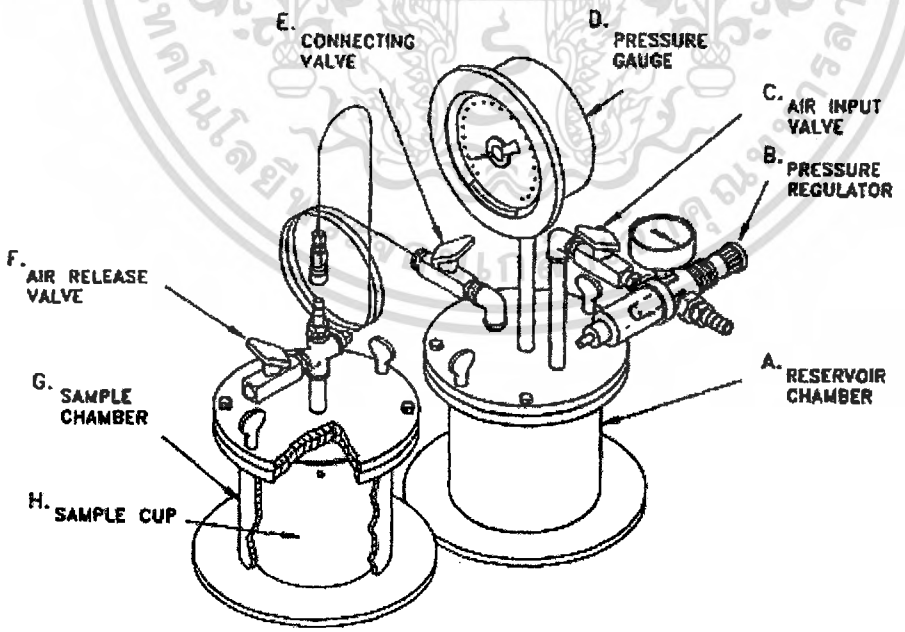
V_r = ปริมาตรอากาศของถังที่ 1

และสามารถหาค่าปริมาตรช่องว่างอากาศอิสระภายในปุ๋ย (Free air space) ได้จาก

$$Free.air.space = \frac{V_s}{V_m}$$

เมื่อ V_m = ปริมาตรของตัวอย่างในถังที่ 2

สำหรับถังที่ 1 และถังที่ 2 จะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกปริมาตร 91.5 ลูกบาศก์นิ้ว (ประมาณ 1,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ดังภาพที่ 6 ความดันที่อัดเข้าไปในถังเปล่าขณะวัดเท่ากับ 8.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) โดยมาตรวัดที่ใช้สามารถอ่านค่าได้ละเอียดที่สุดเท่ากับ 0.025 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว การสอบเทียบจะใช้ลูกบอลเหล็กในการสอบเทียบ



ภาพที่ 2.6 แสดงเครื่องวัดความพรุนสำหรับใช้วัดความพรุนของปุ๋ยหมัก

ที่มา : Annan (1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Agnew และ Leonard (2002) ได้พัฒนาและออกแบบเครื่องพิกโนมิเตอร์อากาศสำหรับวัดปริมาตรของอากาศอิสระและวัดความหนาแน่นรวมของปุ๋ยหมักและวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

โดยเครื่องที่สร้างขึ้นประกอบไปด้วยถังสองถังที่ถูกเชื่อมต่อกันด้วยวาล์ว หลักการทำงานคือ บรรจุตัวอย่างในถังตัวอย่างและอัดความดันเข้าไปถังอากาศเท่ากับความดันที่กำหนดขึ้น และจากนั้นเปิดวาล์วอากาศจากถังอากาศจะเคลื่อนที่ไปยังถังตัวอย่างจนสมดุล โดยในการทดลองจะทำในระบบปิดที่มีอุณหภูมิคงที่โดยสามารถคำนวณค่าปริมาตรช่องว่างอากาศของปุ๋ยได้จากสมการ

$$FAS = \frac{\frac{P_1 V_A}{P_2} - V_B - V_A + V_s}{V_s}$$

เมื่อ FAS = ปริมาตรของอากาศในตัวอย่างต่อปริมาตรรวมทั้งหมด (สัดส่วน)

P_1 = ความดันเริ่มต้นที่อัดเข้าไปถังอากาศ

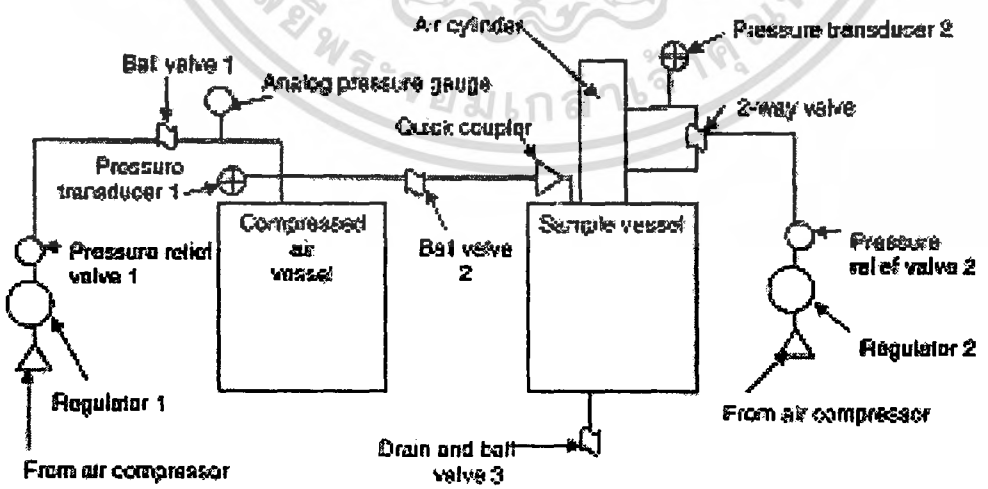
P_2 = ความดันสุดท้ายที่สมดุลกันของระบบหลังจากเปิดวาล์ว

V_B = ปริมาตรของถังตัวอย่าง

V_A = ปริมาตรของถังอากาศ

V_S = ปริมาตรของตัวอย่าง

โดยภาชนะทรงกระบอกทำจากพลาสติกพีวีซี (PVC) ความดันที่ใช้เริ่มต้นต้องมากกว่า 200 กิโลปาสคาล และสอบเทียบโดยใช้น้ำ



ภาพที่ 2.7 ผังเครื่องวัดความพรุนเพื่อใช้วัดปริมาตรช่องว่างอากาศอิสระของปุ๋ยหมัก

ที่มา : Agnew และ Leonard (2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

1. ท่อทรงกระบอกอะคริลิกใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 740 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร
2. แผ่นอะคริลิก หนา 0.80 และ 1.00 เซนติเมตร
3. มาตรวัดความดันขนาด 700 กิโลปาสคาล ความละเอียดสเกลเท่ากับ 5 กิโลปาสคาล
4. บอลวาล์ว ขนาด 2/8 นิ้ว 3 ตัว
5. ข้อต่อ 3 ทางขนาด 1/8 นิ้ว
6. ข้อต่อลดจาก 2/8 นิ้ว เหลือ 1/8 นิ้ว
7. ชุดอัดลม
8. ข้อต่อลมขนาด 2/8 นิ้ว
9. ท่อไนล่อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร
10. แผ่นยาง หนา 0.30 เซนติเมตร
11. ชุดน็อตและวาล์วขนาด 1/8 นิ้ว
12. ขั้วสูบลมของล้อรถจักรยาน
13. แผ่นไม้
14. น้ำยาเชื่อมแผ่นอะคริลิก (ไดคลอโรมีเทน)

3.2 วัตถุดิบ

1. น้ำ
2. เม็ดพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.516 เซนติเมตร

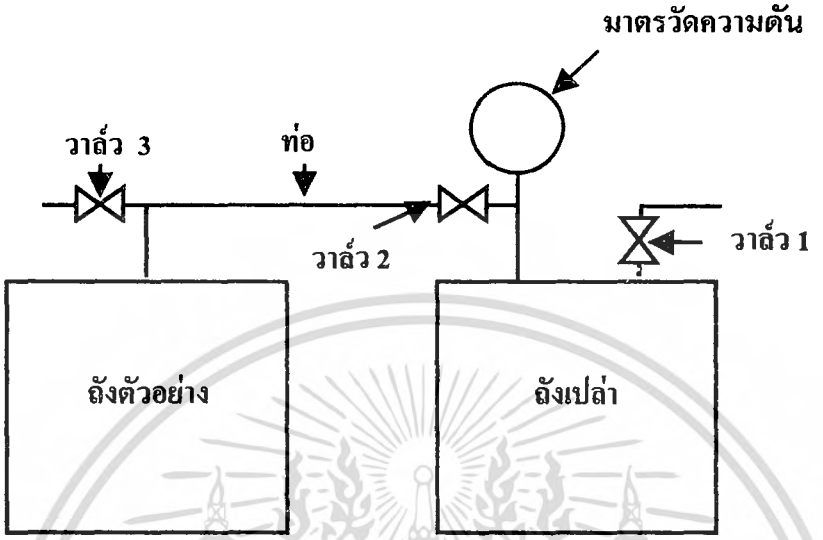
3.3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

สำหรับขั้นตอนและวิธีการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนด้วยกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
97045

3.3.1 การออกแบบและประกอบเครื่องวัดความพรุน

การออกแบบเครื่องวัดความพรุนใช้หลักการของการแทนที่ของอากาศในรูพรุน ซึ่งตัวเครื่องจะประกอบไปด้วยถัง 2 ถังที่มีขนาดเท่ากัน เชื่อมต่อกันด้วยท่อไนล่อน และมีมาตรวัดความดันสำหรับอ่านค่าความดันแตกต่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แสดงผังส่วนประกอบหลักของเครื่องวัดความพรุนที่ออกแบบ

3.3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดความพรุน

3.3.2.1 สอบเทียบโดยใช้น้ำ

1. นำน้ำที่ทราบปริมาตรที่แน่นอนใส่ลงในถังตัวอย่าง และคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการ

$$\frac{\text{ปริมาตรที่ว่าง}}{\text{ปริมาตรถังตัวอย่าง}}(\%) = \frac{\text{ปริมาตรถังตัวอย่าง} - \text{ปริมาตรน้ำ}}{\text{ปริมาตรถังตัวอย่าง}} \times 100$$

2. ทดลองหาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศจากเครื่องวัดความพรุนที่สร้างขึ้น

การทดลองจะใช้น้ำปริมาตร 200, 400, 600 และ 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ละปริมาตรจะทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง รวมทั้งหมดแล้วจะทำการทดลอง 20 ครั้ง โดยลำดับในการทดลองแต่ละครั้งจะทำการสุ่มปริมาตรน้ำที่จะทดสอบด้วยการจับฉลาก (จะมีฉลากทั้งหมด 20 ใบ เขียนปริมาตรน้ำ 200, 400, 600 และ 800 ไว้อย่างละ 5 ใบ) ซึ่งวิธีการใช้เครื่องมือและการคำนวณได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน

นำค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศของปริมาตรน้ำแต่ละอันที่ได้จากการทดลองด้วยเครื่องที่สร้างขึ้นทั้งหมด 5 ครั้ง มาหาค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศเฉลี่ย แล้วนำไปคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริง (ค่าจริงคือค่าที่คำนวณได้จากข้อ 1.) โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

3.3.2.2 สอบเทียบโดยใช้เม็ดพลาสติก

1. คำนวณหาปริมาตรของเม็ดพลาสติกต่อ 1 เม็ด

นำเม็ดพลาสติกมาวัดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แล้วนำมาแทนค่าในสมการปริมาตรทรงกลมจากสมการ

$$\text{ปริมาตรทรงกลม} = \frac{4\pi R^3}{3}$$

2. นำเม็ดพลาสติกใส่ในถังตัวอย่างจนเต็ม แล้วคำนวณหาค่าความพรุน

$$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรถังตัวอย่าง} - (\text{ปริมาตรเม็ดพลาสติก 1 เม็ด} \times \text{จำนวนเม็ดพลาสติก})}{\text{ปริมาตรถังตัวอย่าง}} \times 100$$

3. ทดสอบความพรุนจากเครื่องวัดความพรุนที่สร้างขึ้น

นำเม็ดพลาสติกใส่ในถังตัวอย่างจากนั้นทำการทดลองตามวิธีการใช้เครื่องมือดังแสดงในภาคผนวก ข. เมื่อทดลองเสร็จ 1 ครั้งให้นำเม็ดพลาสติกออกจากถังตัวอย่างแล้วจึงทำการทดลองใหม่ โดยทดลองซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง

4. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน

โดยนำค่าความพรุนของเม็ดพลาสติกที่ได้จากข้อ 3. ทั้งหมด 5 ค่ามาเฉลี่ย แล้วหาค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง (ค่าจริงคือค่าที่คำนวณได้จากข้อ 2.) โดยใช้สูตรการหาค่าความคลาดเคลื่อนตามภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องวัดความพรุน

4.1.1 ขนาดตัวถัง - ฝาถังของถังตัวอย่างและถังเปล่า

ถังตัวอย่างและถังเปล่าจะมีขนาดเท่ากัน โดยตัวถังทำจากอะคริลิกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 7.40 เซนติเมตร หนา 0.30 เซนติเมตร และสูงประมาณ 23 เซนติเมตร (ปริมาตรของถังประมาณ 985 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ส่วนฐานถังทำจากอะคริลิกมีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร หนา 0.50 เซนติเมตร เจาะรู 4 รูด้านตรงข้ามกันสำหรับถังเปล่าและเจาะ 6 รูสำหรับถังตัวอย่าง โดยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเท่ากับ 0.318 เซนติเมตร (รูห่างจากขอบด้านนอกของแผ่นวงกลมประมาณ 1.5 เซนติเมตร) แล้วนำตัวถังมาเชื่อมติดกับฐานถังด้วยน้ำยาไดคลอโรมีเทน ซึ่งวิธีการติดทำโดยนำท่ออะคริลิกวางบนฐานถังให้อยู่ตรงกลางแล้วใช้พู่กันจุ่มน้ำยาไดคลอโรมีเทนทาบริเวณรอยต่อระหว่างตัวถังกับฐานถังให้มากพอสมควร น้ำยาจะค่อย ๆ ซึมเข้าไปบริเวณรอยต่อ ทิ้งไว้สักพักตัวถังและฐานถังจะติดแน่นสนิท

ฝาถังเปล่าทำจากอะคริลิกลักษณะเป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร หนา 0.80 เซนติเมตร เจาะรู 4 รูเหมือนกับฐานของถังเปล่า ตรงกลางเจาะรู 2 รูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.64 เซนติเมตร เพื่อใช้ต่อกับชุดวาล์ว 1 และชุดวาล์ว 2 และฝาถังตัวอย่างทำจากอะคริลิกตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตรเช่นเดียวกับถังเปล่า แต่จะหนา 1.00 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อป้องกันฝาแตกในเวลาที่ขันน็อตปิดฝาถัง เจาะรู 6 รูเหมือนกับฐานถังตัวอย่าง และตรงกลางฝาเจาะรู 1 รูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.64 เซนติเมตร เพื่อใช้ต่อกับชุดวาล์ว 3 ขนาดของถัง ฐานถังและฝาแสดงดังภาพที่ 4.2 และลักษณะของถังเปล่าและถังตัวอย่างที่ประกอบเสร็จแล้วได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

4.1.2 การประกอบเครื่องมือ

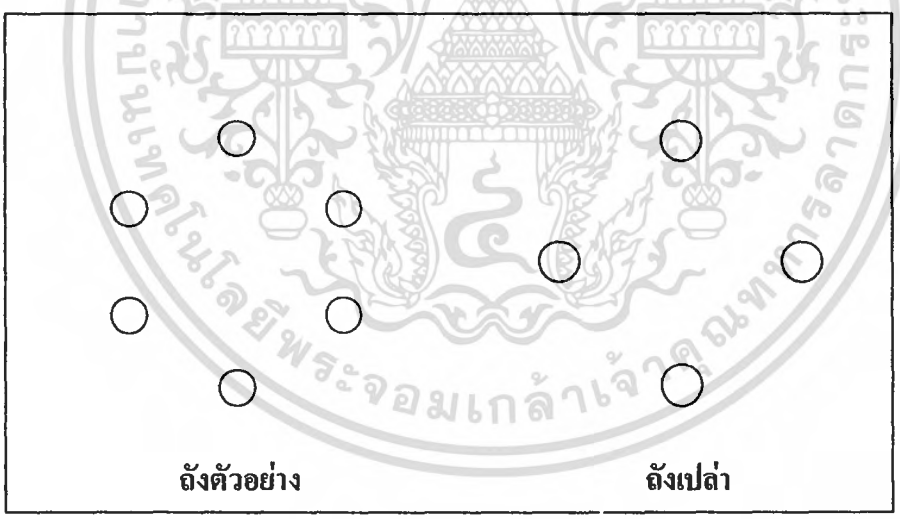
ชุดวาล์ว 1 จะนำบอลวาล์วมาเชื่อมติดกับขั้วสูบลมของยางล้อรถจักยาน โดยวาล์ว 1 นี้จะทำหน้าที่ เปิด-ปิดการอัดอากาศจากภายนอกเข้าสู่ถังอากาศ, ชุดวาล์ว 2 จะนำข้อต่อลมและข้อต่อ 3 ท่างขันติดกันคนละด้านของบอลวาล์ว และนำมาตรวัดความดันขันติดด้านบนของข้อต่อ 3 ทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

19750

โดยวาล์ว 2 นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเปิด - ปิด การปล่อยอากาศสู่ถังตัวอย่าง และชุดวาล์ว 3 จะนำบอลวาล์วและข้อต่อท่อลมขันติดกับข้อต่อ 3 ทาง ซึ่งวาล์ว 3 นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเปิด-ปิด การปล่อยอากาศออกจากถังตัวอย่าง สำหรับการขันจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ จะต้องขันให้แน่นต้องไม่ให้เกิดการรั่ว โดยลักษณะของการต่อชุดวาล์วแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

หลังจากประกอบชุดวาล์วทั้งสามแล้ว จะนำชุดวาล์ว 3 มาขันติดกับฝาของถังตัวอย่าง และนำชุดวาล์ว 1 และ 2 มาขันติดกับถังเปล่า แล้วนำฝาถังเปล่าติดกับตัวถังเปล่าให้สนิทโดยใช้น้ำยาไดคลอโรมีเทนลักษณะเดียวกับการติดตัวถังและฐานถัง ส่วนฝาถังตัวอย่างไม่ต้องนำมาติดกับตัวถังตัวอย่างเพราะถังนี้ต้องสามารถเปิด – ปิด ปากถังเพื่อใส่ตัวอย่างที่จะทดสอบ แต่จะมีประเก็นยางวางปิดปากถัง ซึ่งได้จากการนำแผ่นยางมาตัดเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร ตรงกลางเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการรั่วของลมภายหลังจากการปิดฝา จากนั้นจะนำถังเปล่าและถังตัวอย่างวางบนฐานของเครื่องที่ทำจากแผ่นไม้ที่เจาะรูตรงกันกับรูที่ฐานของถัง ดังภาพที่ 4.1 และใช้น็อตยึดตัวถัง ฝาถังและฐานไม้ให้ยึดแน่นติดกัน ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ของถังตัวอย่างแสดงไว้ในภาพที่ 4.3 ส่วนประกอบของถังเปล่าแสดงไว้ในภาพที่ 4.4 และลักษณะของเครื่องที่ประกอบเสร็จแล้วแสดงไว้ในภาพที่ 4.5

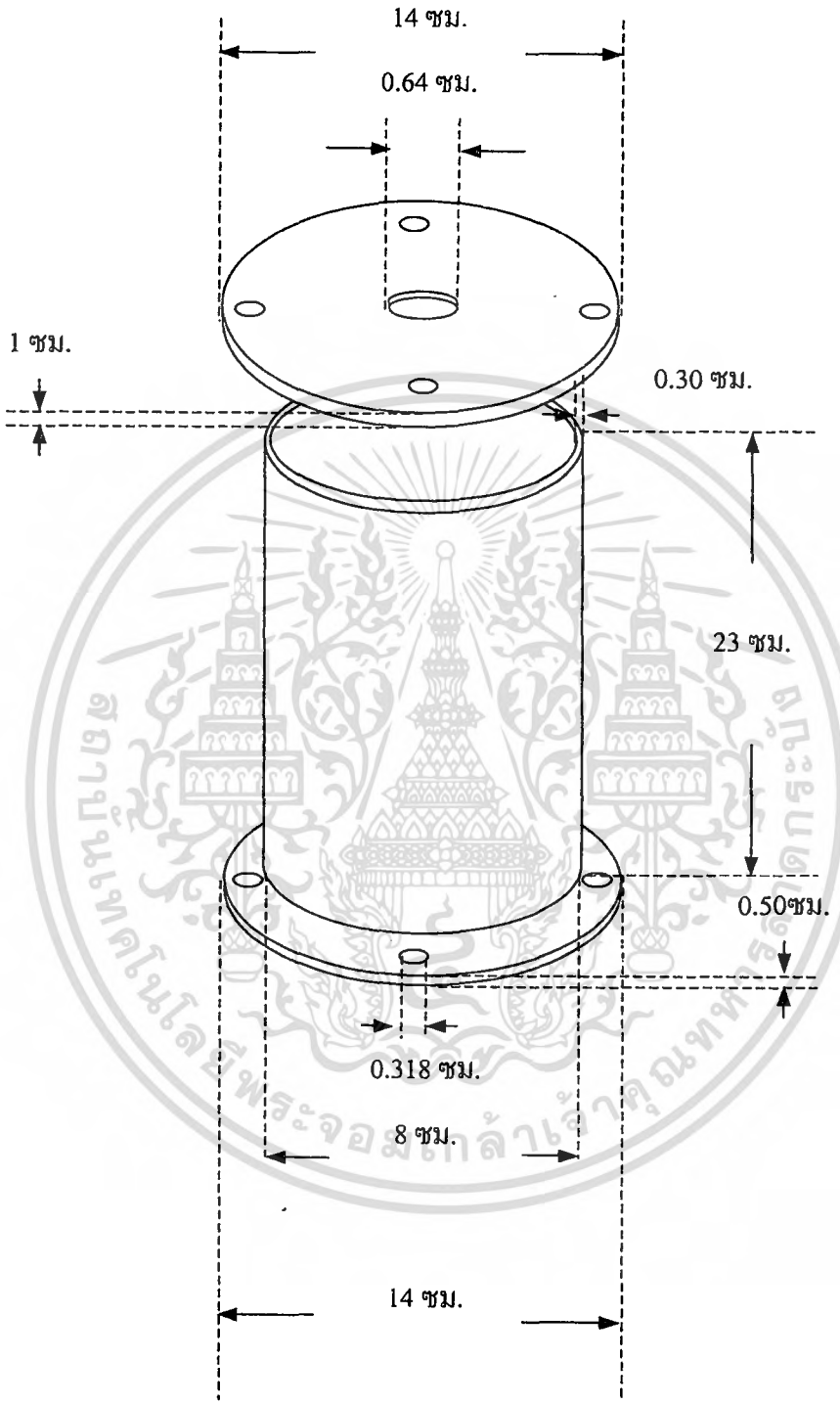


ภาพที่ 4.1 แผนภาพการเจาะรูฐานไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

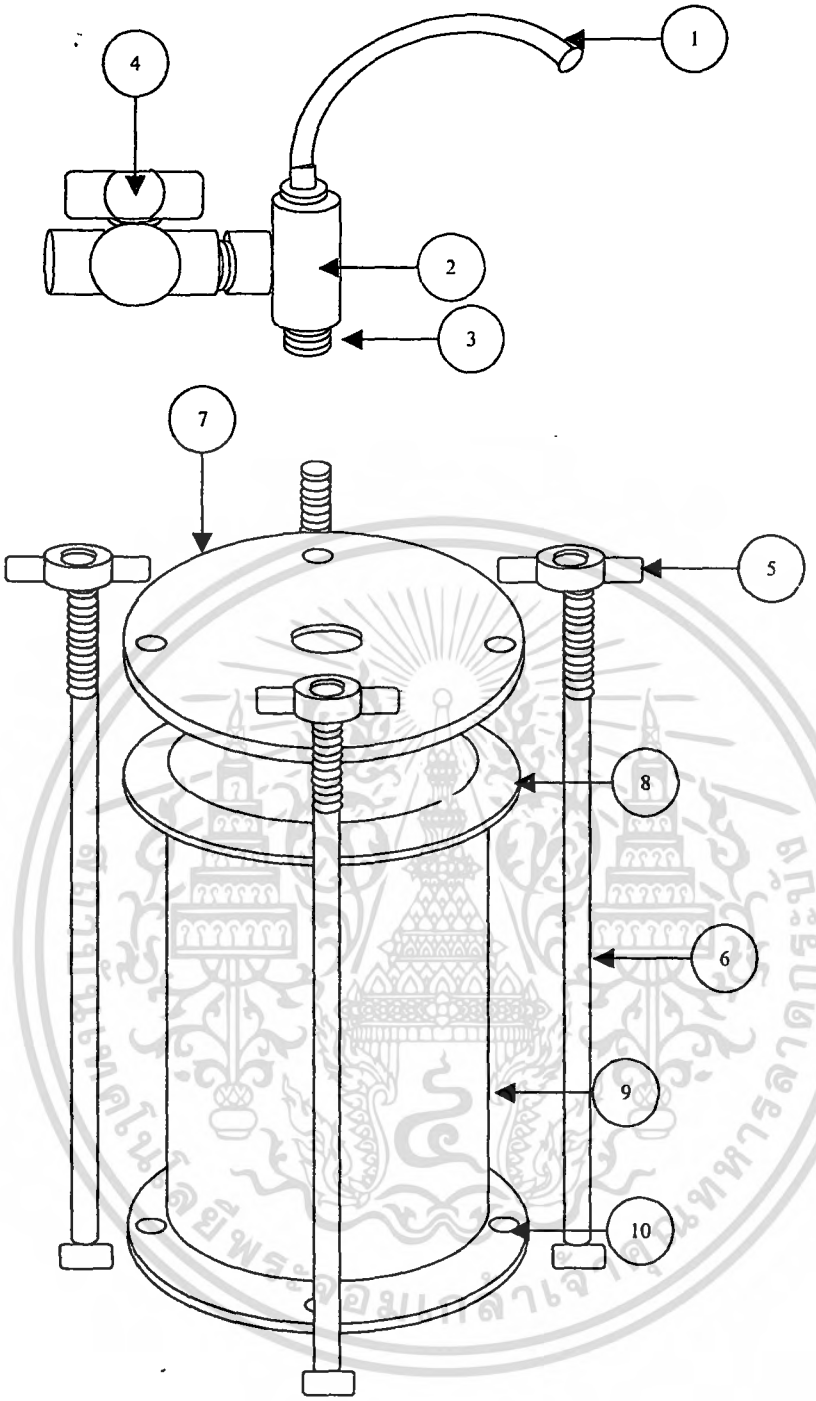
ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง



ภาพที่ 4.2 แผนภาพขนาดตัวถังและฝาถังของถังตัวอย่างและถังเปล่าที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

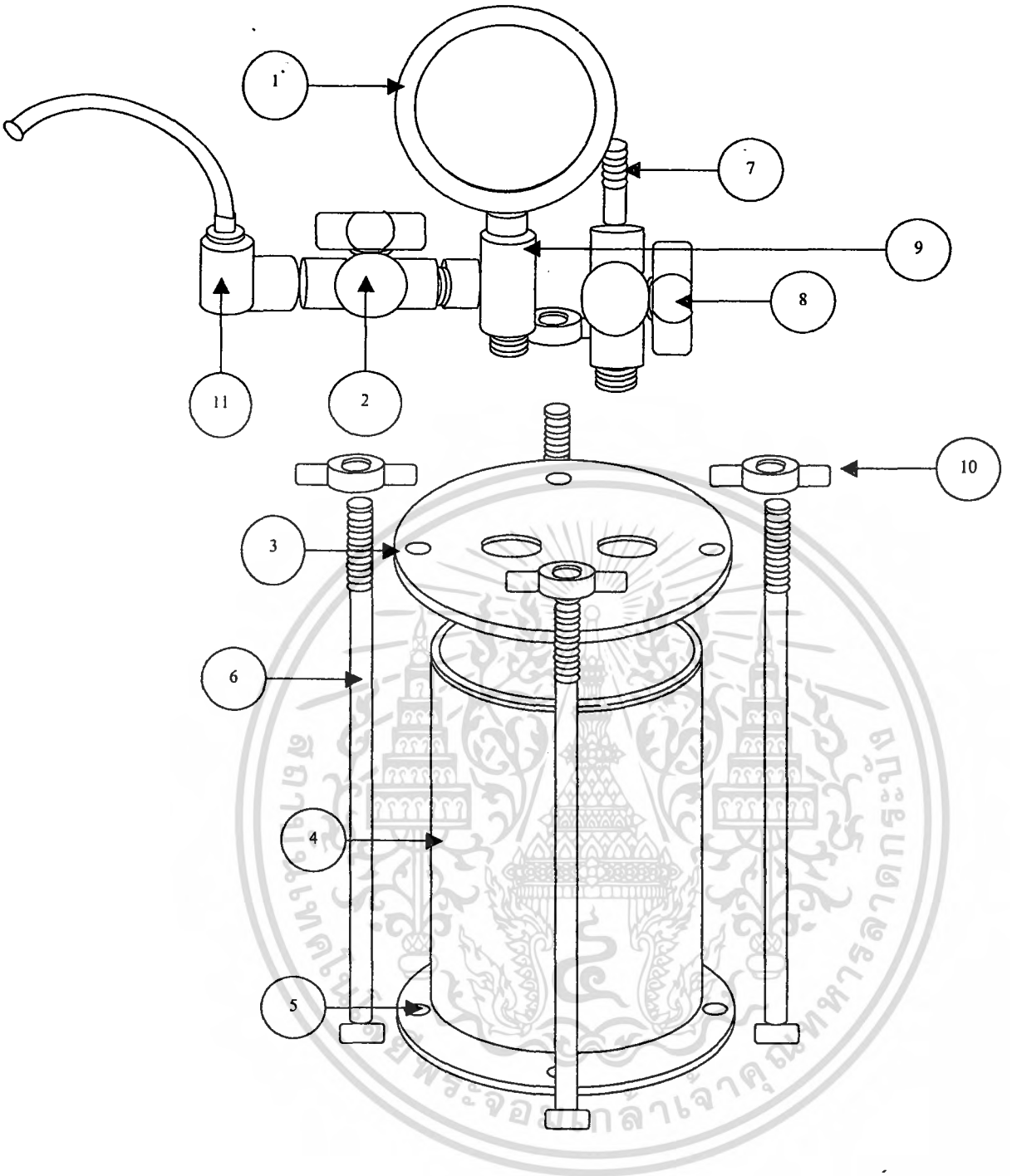


<u>หมายเลข</u>

1) ท่อไนล่อนทำหน้าที่เชื่อมระหว่างถังตัวอย่างและถังเปล่า 2) ข้อต่อ 3 ทาง 3) ข้อต่อตรง 4) บอลวาล์ว (วาล์ว 3) 5) หางปลา 6) น็อต 7) ฝาถังตัวอย่าง 8) ประเก็นยาง 9) ตัวถังตัวอย่าง 10) ฐานถังตัวอย่าง

ภาพที่ 4.3 แผนภาพส่วนประกอบย่อยของถังตัวอย่างที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

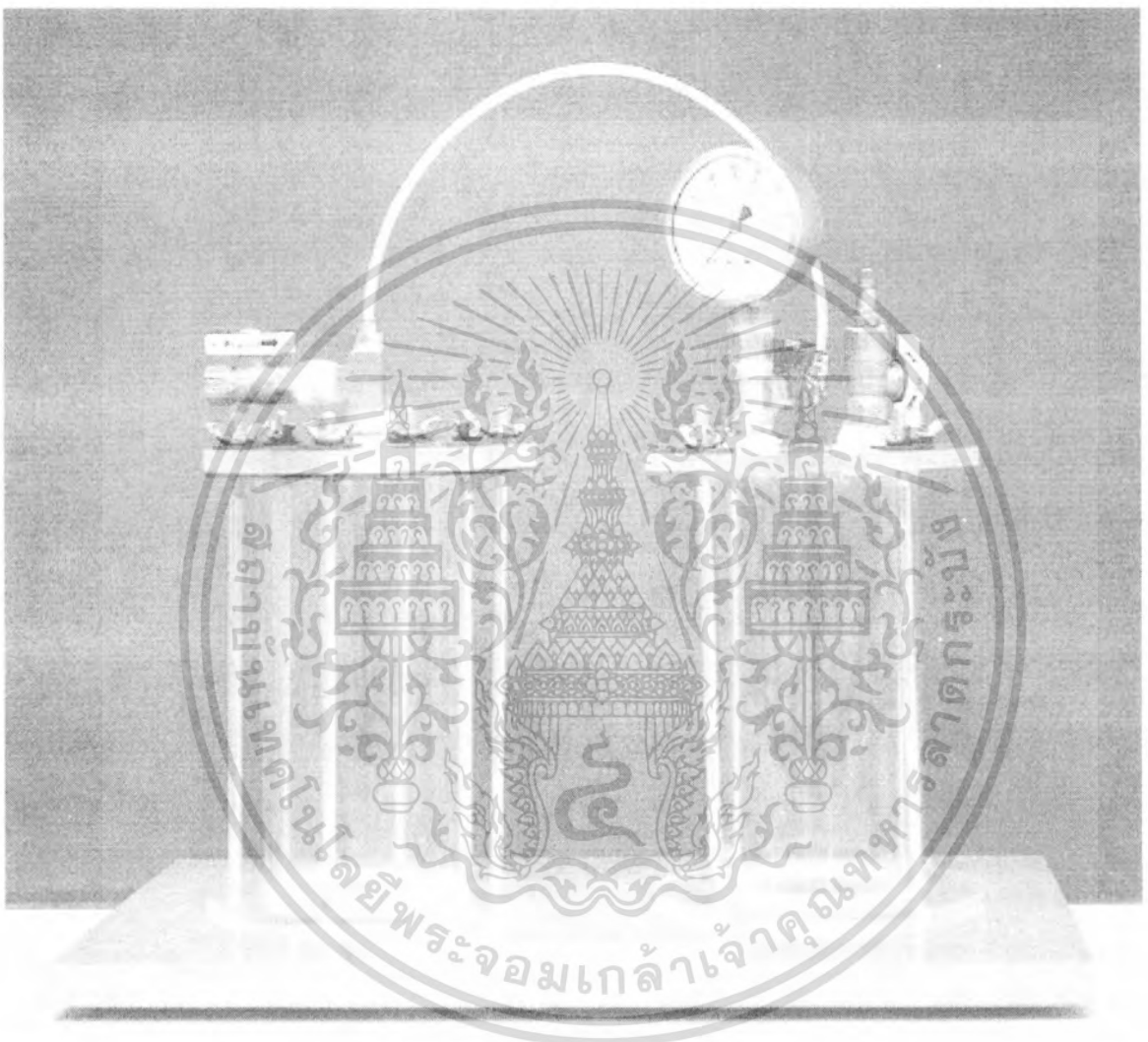


<u>หมายเลข</u>

1) มาตรวัดความดัน 2) บอลวาล์ว (วาล์ว 2) 3) ฝาถังเปล่า 4) ตัวถังเปล่า 5) ฐานถังเปล่า
6) น็อต 7) ที่สำหรับอัดลม 8) บอลวาล์ว (วาล์ว 1) 9) ข้อต่อสามทาง 10) หางปลา
11) ข้อต่อท่อลม

ภาพที่ 4.4 แผนภาพส่วนประกอบย่อยของถังตัวเปล่าที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.5 เครื่องวัดความพรุนที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนโดยใช้น้ำเป็นตัวสอบเทียบ

จากการทดลองโดยใช้น้ำที่มีปริมาตร 200, 400, 600 และ 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศจากการทดลอง และค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศจริง (จากการคำนวณ) ได้ผลการสอบเทียบดังตารางที่ 4.1

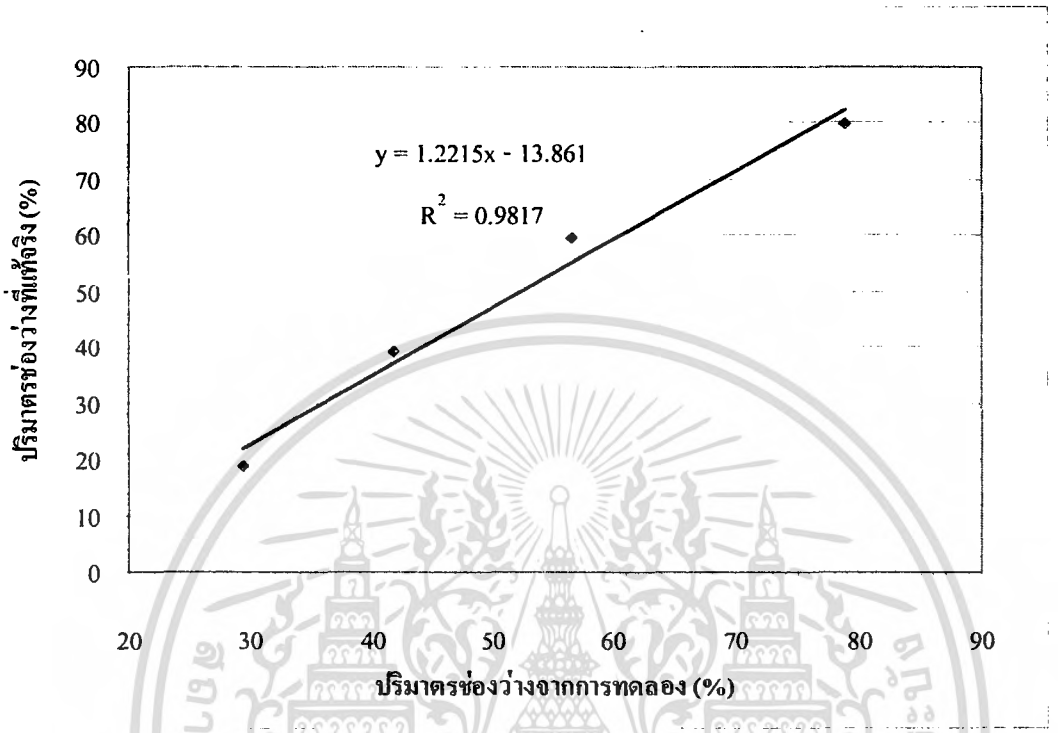
ตารางที่ 4.1 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนที่สร้างขึ้นโดยใช้น้ำ

ปริมาตรช่องว่างอากาศในถังตัวอย่าง (ลบ.ซม.)	เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่แท้จริง	เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศจากการทดลอง						เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	
185	18.78	33.33	25.00	25.00	33.33	30.00	29.33	56.19
385	39.09	53.85	33.33	33.33	44.44	44.44	41.88	7.13
585	59.39	66.67	57.14	50.00	46.67	62.50	56.60	4.70
785	79.70	81.82	81.82	71.43	73.33	85.71	78.82	1.10

ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศในถังตัวอย่าง 185 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่างอากาศได้ 18.78 แต่เมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่ออกแบบได้เป็น 29.33 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 56.19 , ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศในถังตัวอย่าง 385 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่างอากาศได้ 39.09 และเมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่ออกแบบได้เป็น 41.88 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 7.13 , ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศในถังตัวอย่าง 585 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่างอากาศได้ 59.39 และเมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่ออกแบบได้เป็น 56.60 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 4.70 และ ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศในถังตัวอย่าง 785 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่างอากาศได้ 79.70 แต่เมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่ออกแบบได้เป็น 78.82 คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 1.10 จะเห็นว่าเมื่อปริมาตรช่องว่างอากาศในถังตัวอย่างน้อย นั่นคือวัตถุนั้นมีค่าความพรุนที่น้อย ๆ จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมาก แต่เมื่อปริมาตรช่องว่างอากาศไนถังตัวอย่างมากหรือวัตถุที่นำมาทดสอบนั้นมีค่าความพรุนที่มาก จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อย เนื่องจากปริมาตรช่องว่างในท่อมีผลน้อยลงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่าที่ได้จากผลการทดลองมาพลอตกราฟได้ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรช่องว่างอากาศจากการทดลอง (เปอร์เซ็นต์)และปริมาตรช่องว่างอากาศจริง (เปอร์เซ็นต์) ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ปริมาตรช่องว่างอากาศจากการทดลองและจากการคำนวณ

จากภาพที่ 4.6 ได้กราฟของสมการเส้นตรง $Y = 1.2215X - 13.861$ เมื่อ X เป็นปริมาตรช่องว่างอากาศจากการทดลอง (เปอร์เซ็นต์) เราสามารถนำไปหาค่าปริมาตรช่องว่างอากาศจริง (เปอร์เซ็นต์) โดยการแทนค่า X ลงในสมการ และยังได้ค่าสหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.9817 ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าบนแกน X และ Y ในที่นี้มากแสดงว่าปริมาตรช่องว่างอากาศจากการทดลอง (เปอร์เซ็นต์) และ ปริมาตรช่องว่างอากาศจริง (เปอร์เซ็นต์) มีความสัมพันธ์กันมาก

4.3 ผลการสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนโดยใช้เม็ดพลาสติกทรงกลมเป็นตัวสอบเทียบ

เมื่อทำการวัดค่าความพรุนของเม็ดพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.516 เซนติเมตร โดยจำนวนเม็ดพลาสติกที่ใส่เต็มพอดีในถังตัวอย่างมีจำนวน 5,436 เม็ด ปริมาตรเม็ดพลาสติกรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 391.203 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจะมีค่าความพรุนเท่ากับ 60.28 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองวัดความพรุนโดยใช้เครื่องซ้ำ 5 ครั้ง ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนเฉลี่ย 64.40 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 6.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างเครื่องวัดความพรุนสำหรับใช้วัดความพรุนของอาหารเม็ดและวัตถุดิบทางการเกษตรสามารถนำไปใช้วัดค่าความพรุนได้จริง ซึ่งช่วงค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดจะอยู่ระหว่าง 1.1 -56.19 เปอร์เซ็นต์ โดยเหมาะสำหรับใช้วัดค่าความพรุนของวัสดุที่มีค่าความพรุนตั้งแต่ 40 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปจึงจะให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อย และไม่เหมาะกับวัสดุที่มีความพรุนน้อย ๆ เพราะจะมีความคลาดเคลื่อนที่สูง สาเหตุค่าความคลาดเคลื่อนที่มากมาจากการอ่านค่าความดันเพราะมาตรวัดความดันมีความละเอียดของสเกลน้อยเกินไปและสัดส่วนระหว่างปริมาตรอากาศภายในท่อต่อปริมาตรถัง

5.2 ข้อเสนอแนะ

ค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดค่าความพรุนที่สูงที่มีสาเหตุมาจากมาตรวัดความดันและสัดส่วนระหว่างปริมาตรอากาศภายในท่อต่อปริมาตรถัง สามารถแก้ไขได้ดังนี้

1. มาตรวัดความดัน กล่าวคือ มาตรวัดความดันที่ใช้ยังมีความละเอียดของสเกลไม่เพียงพอ คือมีความละเอียด 5 กิโลปาสคาล ทำให้ค่าความดันที่อ่านได้ไม่ละเอียด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความดันที่แท้จริงทำให้ความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ซึ่งแก้ไขโดยการใช้มาตรวัดความดันที่มีความละเอียดมากขึ้นเป็น 0.5 กิโลปาสคาล จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยลง ตัวอย่างเช่น ถ้าอัดความดันเข้าไปในถังเปล่า 100 กิโลปาสคาล และความดันสุดท้ายที่อ่านได้เท่ากับ 100 กิโลปาสคาล จะมีค่าความพรุนเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ถ้าหากเป็นมาตรวัดความดันเดิม สเกลต่อไปที่จะอ่านได้คือ 95 กิโลปาสคาล ซึ่งจะมีค่าความพรุน 5.26 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้ามาตรวัดความดันละเอียดขึ้นเป็น 0.5 กิโลปาสคาล ความดันที่จะอ่านได้จากสเกลถัดมาคือ 99.5 กิโลปาสคาล และจะมีค่าความพรุนเท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะพบว่าถ้ามาตรวัดความดันมีความละเอียดของสเกล 0.5 กิโลปาสคาล จะมีค่าความพรุนระหว่างสเกลน้อยกว่า

2. ขนาดของถังตัวอย่างและถังเปล่า จะพบว่าปริมาตรอากาศในถังตัวอย่างเพิ่มขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนจะลดลงตามลำดับ เนื่องจากในสูตรการคำนวณค่าความพรุนจริงแล้ว (ภาคผนวก ข.) ตัวแปร V_2 คือปริมาตรของช่องว่างระหว่างอาหารเม็ดในถังตัวอย่างซึ่งจะรวมทั้งอากาศภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท่อด้วย แต่ในการทดลองจริงไม่ได้นำปริมาตรอากาศภายในท่อมาคิดคำนวณด้วยเนื่องจากว่าวัดได้ยากมาก ดังนั้นปริมาตรอากาศที่ค้างอยู่ตามท่อลมที่เชื่อมต่อถังทั้งจึงมีผลต่อค่าความพรุนที่วัดได้ ดังนั้นถ้าปริมาตรถังตัวอย่างและถังเปล่าเพิ่มมากขึ้น ปริมาตรอากาศที่อยู่ในท่อลมก็จะมีผลต่อค่าความพรุนที่วัดได้จากเครื่องมือน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ปานมนัส ศิริสัมบูรณ์ และคณะ. 2538. สมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของชีววัสดุ. กรุงเทพ : ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Adamson, A.W. 1982. Physical chemistry of surfaces. 4 th edition. John Wiley & Sons, New York, 492-516 pp.

Agnew, J.M. and Leonard, J.J. 2002. "THE DESIGN OF A MODIFIED AIR PYCNOMETER TO MEASURE THE FREE AIR SPACE AND BULK DENSITY OF COMPOST AND COMPOST MATERIALS" Department of Agricultural, Food and Nutritional Science, University of Alberta.

Annan, J.S. 1998. "EVALUATION OF TECHNIQUES FOR MEASURING AIR FILLED POROSITY IN COMPOSTS OF MUNICIPAL BIOSOLIDS AND WOOD CHIPS" AWARE Enviromental, Inc. Charlotte, North Carolina.

Bhattacharya, S., S.Bal, R.K. and S. Bhattacharya. 1993. "Some physical and engineering properties of Tamarind." J. Food Engineering, 18 : 77-89.

Joshi, D.C., Das, S.K. and Mukherjee, R.K. 1993. "Physical properties of pumpkin seeds." J. Agric. Engng. Res, 54 : 219-229.

Karathanos, V.T. and Saravacos, G.D. 1993. "Porosity and pore size distribution of starch materials." J. Food Engineering, 18 : 259-280.

Mohsenin, N.N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. Inc. New York, USA.

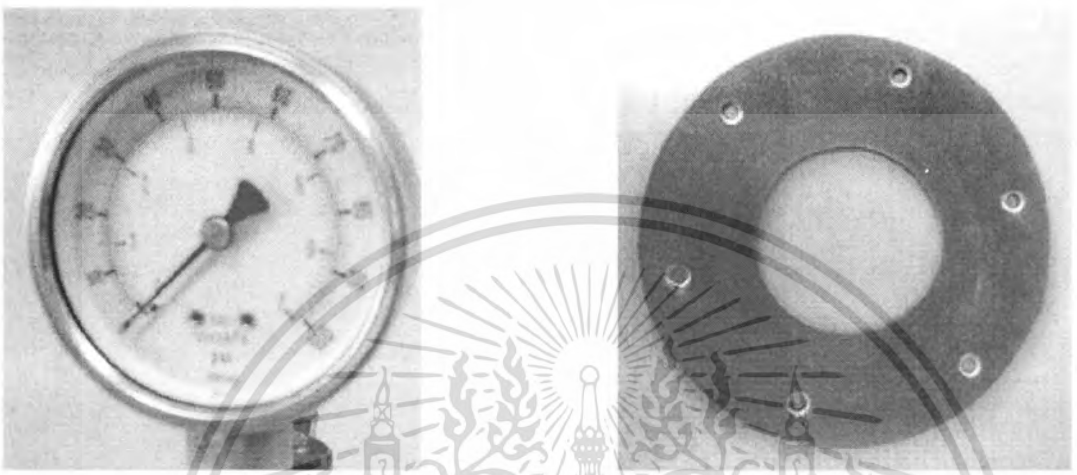
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

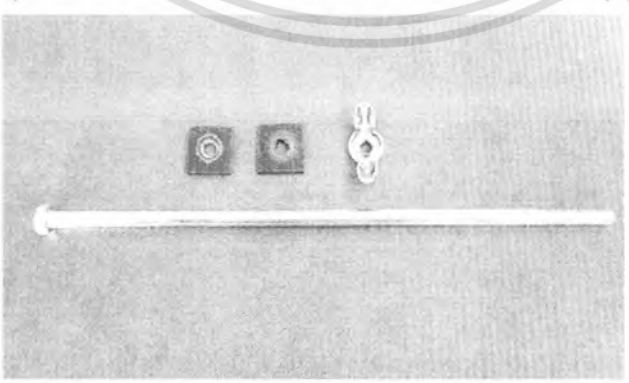
ส่วนประกอบเครื่องวัดความพรุน



(ก) (ข)

ภาพที่ ก.1 มาตรวัดความดัน (ก) และแผ่นยางปิดปากถังตัวอย่าง (ข)

(ก) (ข)



(ค)

ภาพที่ ก.2 ท่อไนล่อน (ก) , บอลวาล์ว (ข) และชุดน็อตและยางรองน็อตสำหรับยึดตัวถังและฝา (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

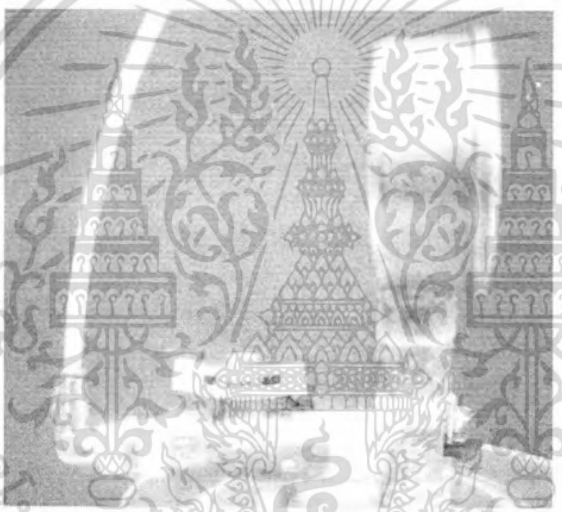
ภาพที่ ก.3 ลักษณะถังตัวอย่างที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ ก.4 ลักษณะถังเปล่าที่ประกอบเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

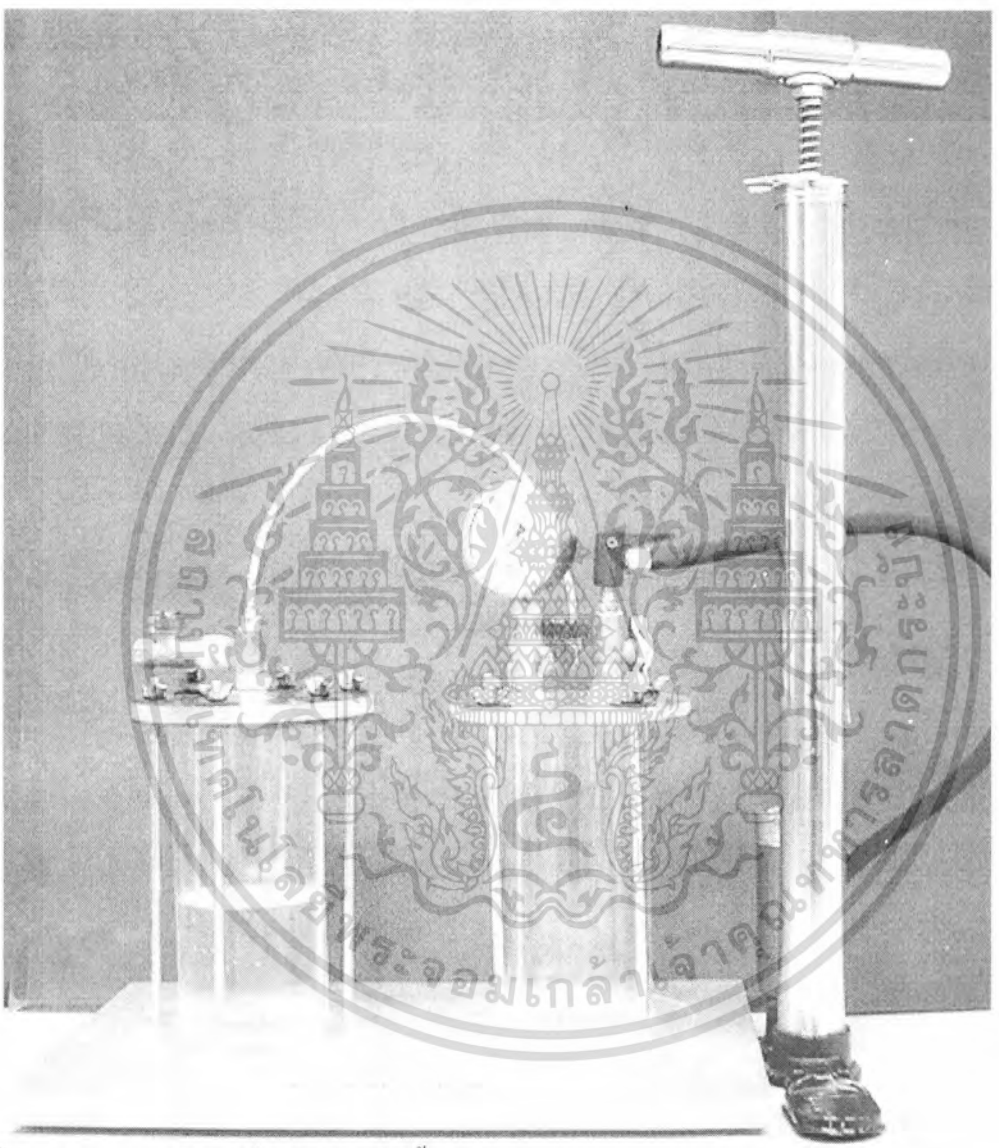


(ข)

(ค)

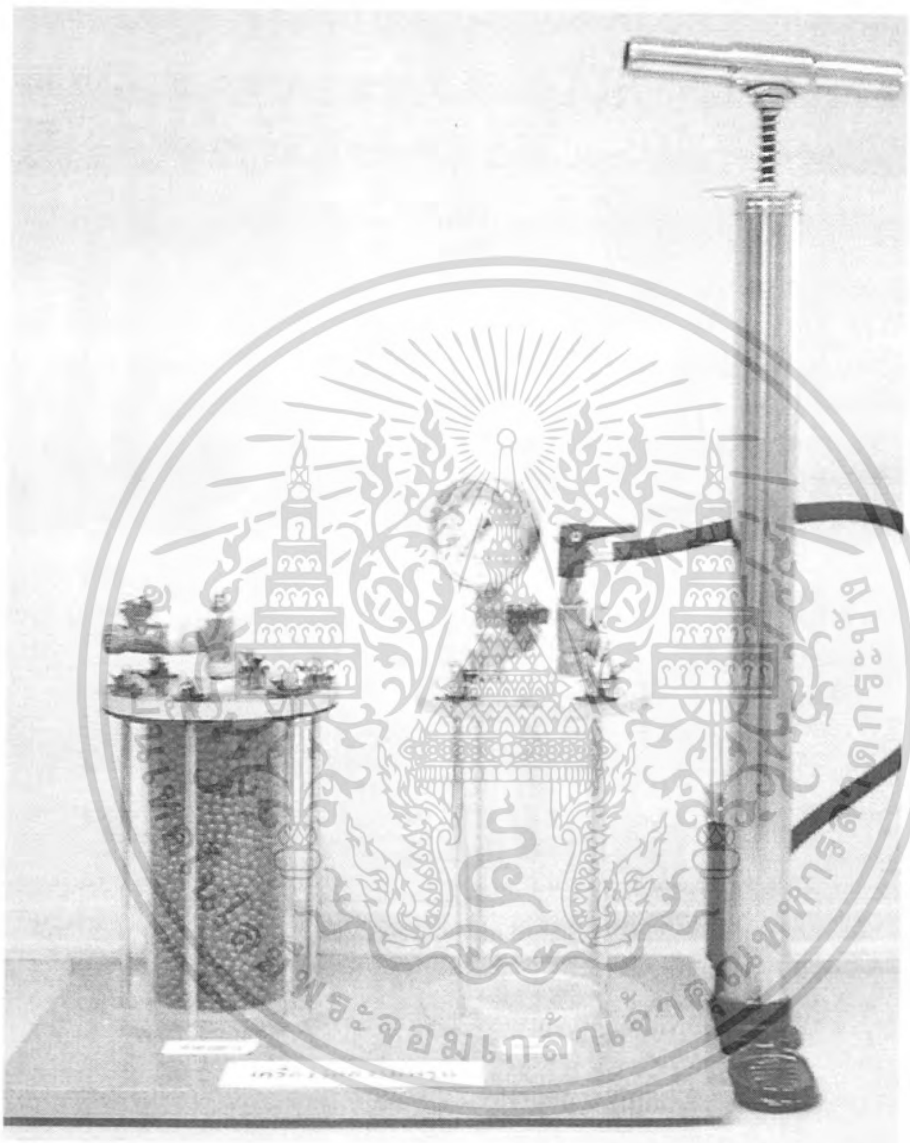
ภาพที่ ก.5 ลักษณะวาล์วที่1 (ก) วาล์วที่2 (ข) และวาล์วที่ 3 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.6 การสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.7 การสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้เม็ดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

วิธีการใช้งานเครื่องมือวัดความพรุน

คำชี้แจง : เครื่องวัดความพรุนนี้ใช้สำหรับวัดความพรุนของอาหารเม็ดหรือวัตถุดิบทางการเกษตร โดยเหมาะสำหรับวัสดุที่มีค่าความพรุนตั้งแต่ 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป

วิธีการใช้ :

1. เปิดฝาถังตัวอย่างแล้วนำตัวอย่างอาหารเม็ดหรือวัตถุดิบทางการเกษตรใส่ในจนเต็มถัง (ไม่ควรกดหรือทับให้ตัวอย่างอัดกันแน่น)
2. นำประเก็นยาง (แผ่นยางวงกลม) วางที่ปากถังตัวอย่างแล้วปิดฝาถังตัวอย่างให้แน่นด้วยน็อตและหางปลา โดยขันน็อตด้านตรงข้ามพร้อม ๆ กันให้แน่นสนิท
3. ปิดวาล์วที่ 2 และ 3 ให้สนิทและเปิดวาล์วที่ 1 สังเกตที่มาตรวัดความดันเข็มจะต้องชี้ที่เลข 0
4. อัดอากาศเข้าไปในถังเปล่า (ทางด้านวาล์วที่ 1) โดยใช้เครื่องสูบลมให้มีค่าความดันอากาศที่อ่านค่าได้จากมาตรวัดความดันเท่ากับ 100 กิโลปาสคาล แล้วจึงปิดวาล์วที่ 1
5. เปิดวาล์วที่ 2 ความดันจากมาตรวัดความดันจะลดลง รอให้ระบบสมดุล (ความดันที่อ่านจากมาตรวัดความดันลดลงจนคงที่) อ่านค่าความดันที่คงที่
6. คำนวณหาค่าความพรุนตามสูตร

สูตรที่ใช้คำนวณ :

จากสมการหาค่าความพรุนโดยวิธีใช้พิกโนมิเตอร์แห้งแบบที่ 1

$$\text{ความพรุน } (\%) = \frac{V_2}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ}} \times 100$$

เมื่อ $V_2 = \dfrac{(P_2 - P_3)\, V_1}{P_3}$

P_2 = ความดันเริ่มต้นที่อัดเข้าไปถังเปล่ามีค่าเท่ากับ 100 กิโลปาสคาล

P_3 = ความดันเมื่อระบบสมดุลหลังจากเปิดวาล์ว 2

V_1 = ปริมาตรของอากาศในถังเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ $$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{\frac{(100 - P_3) \times V_1}{P_3}}{\text{ปริมาตรรวมของวัสดุ}} \times 100$$

เนื่องจากปริมาตรรวมของวัสดุและปริมาตรของอากาศในถังเปล่าเท่ากันคือ 985 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นจะได้

$$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{(100 - P_3)}{P_3} \times 100$$

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน :

$$\text{ความคลาดเคลื่อน (\%)} = \left| \frac{\text{ค่าความพรุนจริง} - \text{ค่าความพรุนที่ได้จากการใช้เครื่องมือ}}{\text{ค่าความพรุนจริง}} \right| \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลการสอบเทียบเครื่องมือ

การสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนโดยน้ำ

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลการสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้น้ำเป็นตัวสอบเทียบ

ครั้งที่	ปริมาตรน้ำ (ลบ.ซม.)	ปริมาตรช่องว่าง (ลบ.ซม.)	ความดันที่ 1 (กิโลปาสคาล)	ความดันที่ 2 (กิโลปาสคาล)	ค่าความดันแตกต่าง (กิโลปาสคาล)
1	800	185	100	75	25
2	600	385	100	65	35
3	200	785	100	55	45
4	400	585	100	60	40
5	800	185	100	80	20
6	600	385	100	75	25
7	200	785	100	55	45
8	800	185	100	80	20
9	600	385	80	60	20
10	800	185	120	90	30
11	400	585	110	70	40
12	200	785	120	70	50
13	600	385	130	90	40
14	400	585	120	80	40
15	400	585	110	75	35
16	200	785	130	75	55
17	600	385	130	90	40
18	800	185	130	100	30
19	400	585	130	80	50
20	200	785	130	70	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสอบเทียบเครื่องวัดความพรุนโดยเม็ดพลาสติก

เส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดพลาสติก	0.516 เซนติเมตร
ปริมาตรต่อหนึ่งเม็ดพลาสติก	0.072 ลูกบาศก์เซนติเมตร
จำนวนเม็ดพลาสติกในถังตัวอย่าง	5,436 เม็ด
ปริมาตรเม็ดพลาสติกรวม	391.203 ลูกบาศก์เซนติเมตร
ค่าความพรุนที่ได้จากการคำนวณ	60.28 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลจากการสอบเทียบเครื่องมือโดยใช้เม็ดพลาสติก

ครั้งที่	ความดันเริ่มต้น (P1) (กิโลปาสคาล)	ความดันที่ได้จากการทดลอง (P2) (กิโลปาสคาล)	ความพรุน (%)
1	110	70	57.14
2	110	65	69.23
2	110	70	57.14
4	110	65	69.23
5	110	65	69.23
เฉลี่ย			64.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจรรยา แสงเขียว เกิดวันที่ 31 ธันวาคม 2524 จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ในปี พ.ศ.2547 จากโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางสาวชนิศา ปัทมาพรพรรณ เกิดวันที่ 29 ตุลาคม 2525 จังหวัดชลบุรี จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพนัสพิทยาคาร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ในปี พ.ศ.2547 จากโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นายอาณัติ ทองแพง เกิดวันที่ 12 พฤษภาคม 2524 จังหวัดชลบุรี จบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพนัสพิทยาคาร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร ในปี พ.ศ.2547 จากโครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้