

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดสอบ

เพื่อให้การทดสอบดำเนินไปอย่างถูกต้องและประสบผลสำเร็จ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงวัตถุประสงค์ของการทดสอบ อุปกรณ์การทดสอบ วิธีการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบซึ่งสามารถอธิบายในรายละเอียดดังนี้

#### 3.1 วัตถุประสงค์การทดสอบ

3.1.1 ศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเปลือกที่ตำแหน่งการติดตั้งลักษณะต่างๆ 5 ลักษณะ

3.1.2 ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเปลือกกับค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์

#### 3.2 ตัวแปรสำหรับการทดสอบ

3.2.1 เมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดสอบ จำนวน 6 ชนิด

- ข้าวเจ้า ได้แก่ พันธุ์หอมสุพรรณ และ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105
- ข้าวเหนียว ได้แก่ พันธุ์ กข.6 และ พันธุ์เหนียวสันป่าตอง
- ข้าวญี่ปุ่น ได้แก่ พันธุ์ ก.ว.ก.1 (ชาซานิซิกิ) และ พันธุ์ ก.ว.ก.2 (อิติสะ โคมาริ)

เมล็ดข้าวเปลือกที่เลือกในการทดสอบจะเป็นพันธุ์ข้าวที่มีการเพาะปลูกกันโดยทั่วไป ปลายทางภาคเหนือของประเทศไทย และเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นเมล็ดข้าวเปลือกที่เลือกเก็บไว้ทำเมล็ดพันธุ์ในอนาคต ซึ่งจะมีค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกที่ต่ำกว่า 14 เปอร์เซ็นต์ [พรชัย 2528]

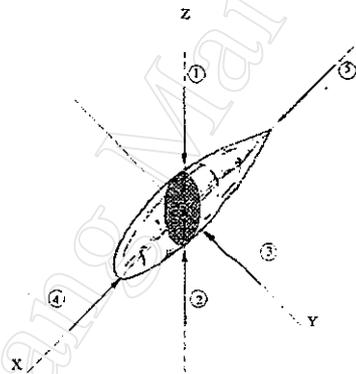
3.2.2 เม็ดพลาสติกทรงกลมจำนวน 5 เม็ด โดยเม็ดพลาสติกทรงกลมที่ใช้ในการทดสอบจะมีการวัดขนาดของเม็ดพลาสติกโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิตอลวัดขนาด โดยจะวัดขนาดตามแนวแกน X Y Z ซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน [Mohsenin, 1986] และเม็ดพลาสติกทรงกลมมีความเป็นทรงกลม ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 1.2 ค่าความเป็นทรงกลมโดยเฉลี่ยของเม็ดพลาสติก 98.95 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดของเม็ดพลาสติกทรงกลมที่ใช้ในการทดสอบ

| ลำดับที่ | เส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวแกน (mm) |      |      | เฉลี่ย<br>(mm) | ความเป็นทรงกลม<br>(%) |
|----------|--------------------------------|------|------|----------------|-----------------------|
|          | X                              | Y    | Z    |                |                       |
| 1        | 5.04                           | 4.91 | 4.84 | 4.93           | 97.80                 |
| 2        | 4.95                           | 4.88 | 4.93 | 4.92           | 99.39                 |
| 3        | 4.97                           | 4.78 | 4.95 | 4.90           | 98.58                 |
| 4        | 4.95                           | 4.92 | 4.92 | 4.93           | 99.60                 |
| 5        | 4.93                           | 4.89 | 4.88 | 4.90           | 99.39                 |

3.2.3 ความเร็วของอากาศที่ใช้ในการทดสอบจะเปลี่ยนความเร็วของอากาศในห้องทดสอบ เป็นจำนวน 7 ค่า โดยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์

3.2.4 ตำแหน่งการติดตั้งเม็ดพลาสติกจะติดตั้ง 5 ตำแหน่งด้วยกัน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งทิศทางการที่เข้าปะทะเม็ดพลาสติกเพื่อทำการทดสอบ [Chaitep, 1990]

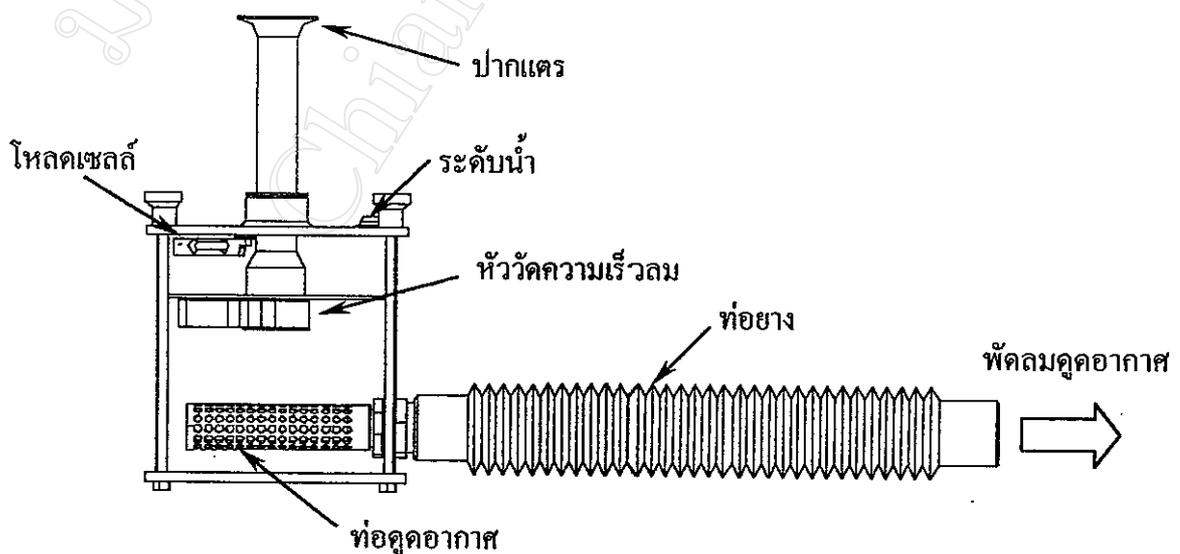
เม็ดพลาสติกที่ใช้ในการทดสอบจะกำหนดตำแหน่งคงที่ในกระแสม โดยพิจารณาเป็นตำแหน่งในทิศทางต่างๆ ตามแนวแกน X Y Z ซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน ซึ่งจากการพิจารณาแล้ว เม็ดพลาสติกจะมีอยู่ได้ 5 ตำแหน่งด้วยกัน และในทิศทางแกน Y ที่มีการทดลองเพียงทิศทางเดียว โดยถือว่าทั้งสองด้านของเม็ดพลาสติกสมมาตรกัน [Mohsenin, 1986]

### 3.3 อุปกรณ์การทดสอบ

3.3.1 อุโมงค์ลมเป็นเครื่องมือที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศที่สามารถควบคุมการไหลทั้งความเร็วของการไหลและการบังคับให้การไหลเกิดความราบเรียบหรือให้มี

ความปั่นป่วนน้อยที่สุด โดยอุโมงค์ลมที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้จะเป็นแบบดูดอากาศเข้าทาง ด้านบนของอุโมงค์ลม ซึ่งอากาศจะถูกดูดเข้ามาในอุโมงค์ลมโดยแรงดูดของพัดลม ที่ปากทางเข้า ของอุโมงค์ลมจะทำเป็นปากแตรซึ่งทำมาจากท่อแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 40 มิลลิเมตร สูง 220 มิลลิเมตร เพื่อบีบเส้นกระแสการไหลของอากาศเข้าหากันเพื่อเป็นการลดการปั่นป่วนของ อากาศที่ไหลผ่านห้องทดสอบ ซึ่งภายในห้องทดสอบจะมีตำแหน่งสำหรับติดตั้งตัวอย่างทดสอบอยู่ ภายใน ตำแหน่งติดตั้งตัวอย่างทดสอบนี้จะติดตั้งอยู่กับโหลดเซลล์ โดยโหลดเซลล์ที่ใช้ในการ ทดสอบจะเป็นแบบ Beam Type Load Cell ตำแหน่งติดตั้งตัวอย่างทดสอบจะเป็นเข็มฉีดยาเบอร์ 18G (มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกขนาด 1.2 มิลลิเมตร) เข็มฉีดยาผลิตจากเหล็กสแตนเลส จะ ยื่นเข้าไปในตำแหน่งกึ่งกลางของห้องทดสอบ ที่ระยะ 20 มิลลิเมตร

เมื่ออากาศไหลผ่านตำแหน่งติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องทดสอบ อากาศจะไหลผ่าน เครื่องมือวัดความเร็วลมซึ่งเป็นแบบใบพัด ยี่ห้อ Digicon ลงสู่ด้านล่างของอุโมงค์ลม ที่ตำแหน่ง ด้านล่างของอุโมงค์ลมจะมีท่อสำหรับดูดอากาศออกจากอุโมงค์ลม ท่อดูดอากาศทำจากท่อ PVC ขนาด 1 ½ นิ้ว (เส้นผ่าศูนย์กลางภายในประมาณ 39 มิลลิเมตร) ยาว 190 มิลลิเมตร และจะเจาะรู รอบๆ ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ตลอดความยาวท่อ การเจาะรูรอบๆ ท่อก็เพื่อ ลดการปั่นป่วนของอากาศในช่วงห้องทดสอบ จากนั้นจะถูกระบายทิ้งสู่บรรยากาศโดยพัดลมดูด อากาศ ซึ่งระยะทางระหว่างพัดลมดูดอากาศกับอุโมงค์จะมีข้อต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ขนาด 63 มิลลิเมตร ยาว 610 มิลลิเมตร เพื่อลดการสั่นสะเทือนที่เกิดจากพัดลมดูดอากาศไม่ให้ ส่งผลไปกระทบกับอุโมงค์ลม



รูปที่ 3.2 อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ

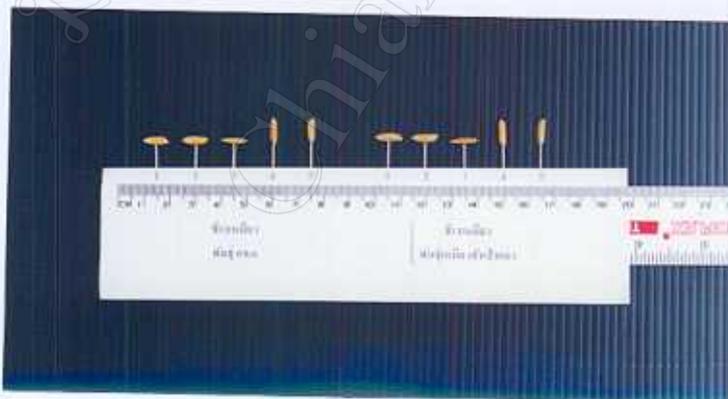
3.3.2 เมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดสอบจะคัดเลือกให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกัน แล้วนำมาติดตั้งเข้ากับเข็มฉีดยาเบอร์ 20G (เข็มฉีดยามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและความยาวขนาด  $0.9 \times 40$  มิลลิเมตร ตามลำดับ) ที่ความยาว 20 มิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในการที่จะนำตัวอย่างทดสอบไปติดตั้งและถอดออกจากที่ติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องทดสอบของอุโมงค์ลม ซึ่งเป็นเข็มฉีดยาเบอร์ 18G (เข็มฉีดยามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและความยาวขนาด  $1.2 \times 40$  มิลลิเมตร ตามลำดับ)



(a) พันธุ์หอมสุพรรณ

(b) พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105

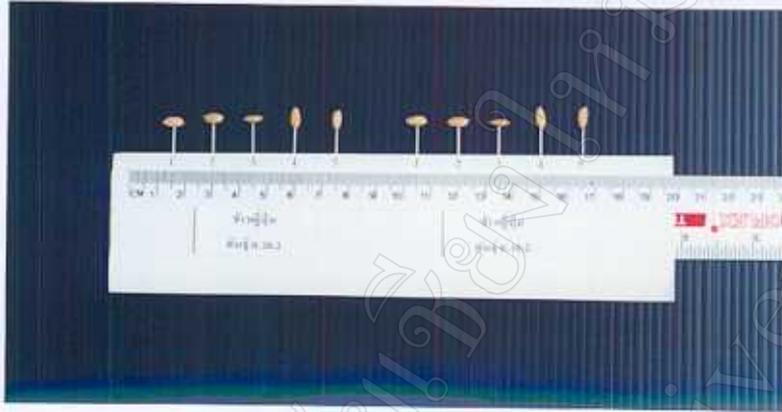
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งการติดตั้งข้าวเจ้าเพื่อการทดสอบ



(a) พันธุ์ กข.6

(b) พันธุ์เหนียวสันป่าตอง

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการติดตั้งข้าวเหนียวเพื่อการทดสอบ



(a) พันธุ์ ก.วก.1 (ชาซานซิก)

(b) พันธุ์ ก.วก.2 (อคิตะ โคมาริ)

รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งข้าวญี่ปุ่นเพื่อการทดสอบ



รูปที่ 3.6 เม็ดพลาสติกทรงกลมที่ใช้การทดสอบ

### 3.4 อุปกรณ์ประกอบและเครื่องมือวัด

3.4.1 โหลดเซลล์ (Load Cell) มีคุณสมบัติดังนี้ สามารถวัดน้ำหนัก (Normal Load) ได้ 500 กรัม (4.905 นิวตัน) ค่า Rate Output 1 mV/V ความผิดพลาด  $\pm 0.015\%$  ของค่า Rate Output แรงดันกระตุ้นวงจรบริดจ์เป็นกระแสไฟตรง (DC) 5 - 12 โวลต์ โหลดเซลล์จะเป็นแบบ Beam Type Load Cell คานจะทำมาจากอลูมิเนียม มีสเตรนเกจติดตั้งทั้งหมดสี่ตัว ซึ่งเป็นแบบเต็มบริดจ์ โหลดเซลล์จะติดตั้งอยู่นอกห้องทดสอบจะมีเฉพาะส่วนที่เป็นเข็มฉีดยาเบอร์ 18G เท่านั้น ที่ยื่นเข้าไปในห้องทดสอบ เป็นระยะ 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.7 โหลดเซลล์

### 3.4.2 ส่วนบันทึกข้อมูล จะประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกัน คือ

3.4.2.1 เครื่อง Weight Transmitter (WT 95) มีคุณสมบัติดังนี้ ยี่ห้อ Wisco เป็นส่วนขยายข้อมูล สามารถใช้งานได้กับโหลดเซลล์ที่มีค่า Rate Output ได้ตั้งแต่ 0.4 ถึง 3 mV/V รับสัญญาณเข้าได้ทั้งสัญญาณดิจิทัล (Digital) และสัญญาณอนาล็อก (Analog) ข่ายแรงดันไฟกระตุ้นโหลดเซลล์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ ปรับขยายสัญญาณแรงดันออกจากเครื่อง Weight Transmitter เป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0 ถึง 10 โวลต์ อุณหภูมิการทำงาน 0 ถึง 50°C ใช้แรงดันไฟฟ้้ากระตุ้นเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรท์ ความผิดพลาด < 0.1% ของ Span มีขนาดตัวเครื่องยาว 200 มิลลิเมตร กว้าง 150 มิลลิเมตร สูง 80 มิลลิเมตร เครื่อง Weight Transmitter จะเป็นส่วนที่รับสัญญาณจากโหลดเซลล์ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อก ขยายสัญญาณและกรองสัญญาณให้เรียบ โดย Filter แล้วส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่อง Online Excel Datalogger (OD 95)

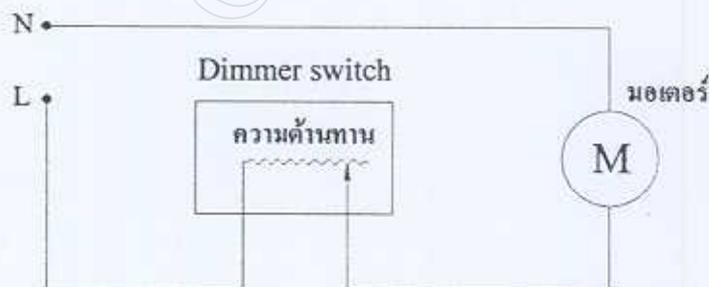
3.4.2.2 เครื่อง Online Excel Datalogger (OD 95) มีคุณสมบัติดังนี้ ยี่ห้อ Wisco ทำหน้าที่เป็นส่วนรับสัญญาณ โดยจะรับสัญญาณจากเครื่อง Weight Transmitter สามารถรับสัญญาณ

อนาล็อกได้ 8 ช่องสัญญาณ และแบบดิจิทัล 4 ช่องสัญญาณ ใช้แรงดันไฟกระตุ้นเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จะทำงานโดยรับสัญญาณจากเครื่อง Weight Transmitter แล้วส่งสัญญาณข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ต RS232 เพื่อแสดงผลและบันทึกในคอมพิวเตอร์ในรูปแบบไฟล์ข้อมูล File.dat



รูปที่ 3.8 เครื่อง Weight Transmitter และ เครื่อง Online Excel Datalogger

3.4.3 Dimmer Switch มีคุณสมบัติดังนี้ ยี่ห้อ O - Sawa เป็น Dimmer Switch ชนิดความต้านทานปรับค่าได้ มีความต้านทานสูงสุด  $380 \text{ k}\Omega$  และมีความต้านทานต่ำสุด  $154 \text{ k}\Omega$  Dimmer Switch มีขนาด 500 วัตต์ ใช้สำหรับควบคุมอัตราการใช้พลังงานของอากาศที่จะออกจากอุโมงค์ลม ซึ่งจะควบคุมการจ่ายกระแสไฟที่ให้กับมอเตอร์ โดยการปรับค่าความต้านทานที่ Dimmer Switch เมื่อความต้านทานเปลี่ยนก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไป มอเตอร์จะมีความเร็วรอบที่เปลี่ยนไป เมื่อความต้านทานมีค่ามากขึ้นมอเตอร์ก็จะหมุนด้วยความเร็วรอบลดลง



รูปที่ 3.9 การต่อวงจรของ Dimmer Switch กับ มอเตอร์ [สุวรรณ 2539]

3.4.4 พัดลมเป่าอากาศ มีรายละเอียดดังนี้ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แบบ อินдукชันมอเตอร์ (Induction Motor) ชนิดคาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Capacitor Motor) [สุวรรณ 2539] แรงดันไฟกระตุ้นเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรท์ มีความเร็วรอบหมุนขณะทำงานเต็มที่ 2,000 รอบต่อนาที

3.4.5 ไมโครคอมพิวเตอร์ มีรายละเอียดดังนี้ ซีพียู Intel Pentium ความเร็ว 166 Mhz หน่วยความจำชั่วคราว (Ram) ขนาด 64 Mbyte หน่วยความจำถาวร (Hard Disk) ขนาด 1.2 Gbyte พอร์ต RS232 และ Microsoft Windows 95 ใช้แรงดันไฟกระตุ้นเป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรท์

3.4.6 ดิจิตอล มัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ยี่ห้อ Pro's Kit รุ่น 303 – 9303C มี 30 ย่านการวัด ความผิดพลาด  $\pm$  ( % อ่านได้ + จำนวนของ digit ) เช่น ที่ย่านการวัด DC ขนาด 2 โวลต์ ความผิดพลาด  $\pm 5\%$   $\text{reg} \pm 1 \text{ digit}$  คือ 1 mV ใช้แรงดันไฟกระตุ้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9 โวลต์



รูปที่ 3.10 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

3.4.7 เครื่องวัดความเร็วลม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ ยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-43 มีช่วงการวัดความเร็วลมตั้งแต่ 0 ถึง 30 m/s ความผิดพลาด  $\pm 2\%$  ของค่าที่อ่านได้ ความละเอียดของการวัด 0.1 m/s สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 ถึง 50°C ความผิดพลาด 0.8°C ความละเอียดของการวัด

0.1°C ช่วงการทำงานของเครื่องมือวัดความเร็วลมที่อุณหภูมิตั้งแต่ 0 ถึง 50°C เปอร์เซ็นต์ความชื้นน้อยกว่า 80% หัววัดความเร็วลมเป็นแบบใบพัดมีใบจำนวน 8 ใบ หัววัดอุณหภูมิซึ่งติดตั้งไว้ภายในหัววัดความเร็วลมจะเป็น Thermocouple ชนิด K เครื่องมือวัดความเร็วลมนี้จะใช้แรงดันกระตุ้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9 โวลต์



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความเร็วลม

3.4.8 น้ำหนักมาตรฐาน จะทำการสร้างขึ้นโดยใช้คีนน้ำมัน ในการที่เลือกคีนน้ำมันมาใช้ทำน้ำหนักมาตรฐานก็เพราะง่ายต่อการปรับปริมาณของน้ำหนัก และติดตั้งบนเข็มฉีดยาเบอร์ 20G ที่มีขนาดยาว 20 มิลลิเมตร น้ำหนักที่ซึ่งจะรวมน้ำหนักของเข็มฉีดยาเบอร์ 20G ด้วย โดยจะนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Mettler รุ่น Aj 150 ซึ่งเครื่องชั่งนี้สามารถชั่งน้ำหนักได้ สูงสุด 150 กรัม (1.4715 นิวตัน) ความละเอียด 0.0001 กรัม เพื่อให้ได้น้ำหนักที่ถูกต้อง โดยตอนแรกจะต้องทำการปรับเทียบเครื่องชั่งดิจิตอลกับน้ำหนักมาตรฐานที่ได้รับความสะดวกหรือได้รับการรับรองจากศูนย์ชั่งตวงวัด ไปซึ่งซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การปรับเทียบเครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Mettler รุ่น Aj 150

| น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม) | น้ำหนักจากเครื่องชั่ง (กรัม) | ความผิดพลาด (%) |
|-----------------------|------------------------------|-----------------|
| 5                     | 4.9920                       | 0.16            |
| 2                     | 2.0036                       | 0.18            |
| 1                     | 1.0022                       | 0.22            |
| 0.5                   | 0.5042                       | 0.84            |

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าเครื่องชั่งดิจิตอลนี้มีความถูกต้อง มีความผิดพลาดประมาณ 0.35 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย ซึ่งสามารถนำมาชั่งน้ำหนักของดินน้ำมันและเข็มฉีดยา 20G เพื่อที่จะทำเป็นน้ำหนักมาตรฐาน

ตารางที่ 3.3 น้ำหนักมาตรฐานที่ชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Mettler รุ่น Aj 150

| น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม) | น้ำหนักจากเครื่องชั่ง (กรัม) | ความผิดพลาด (%) |
|-----------------------|------------------------------|-----------------|
| 0.45                  | 0.4507                       | 0.15            |
| 0.40                  | 0.4001                       | 0.02            |
| 0.35                  | 0.3501                       | 0.02            |
| 0.30                  | 0.3004                       | 0.13            |
| 0.25                  | 0.2505                       | 0.20            |
| 0.20                  | 0.2001                       | 0.05            |
| 0.15                  | 0.1504                       | 0.26            |
| 0.10                  | 0.1007                       | 0.70            |
| 0.05                  | 0.0501                       | 0.20            |

จากตารางที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักมาตรฐานที่ทำขึ้นมา มีความผิดพลาดประมาณ 0.19 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย

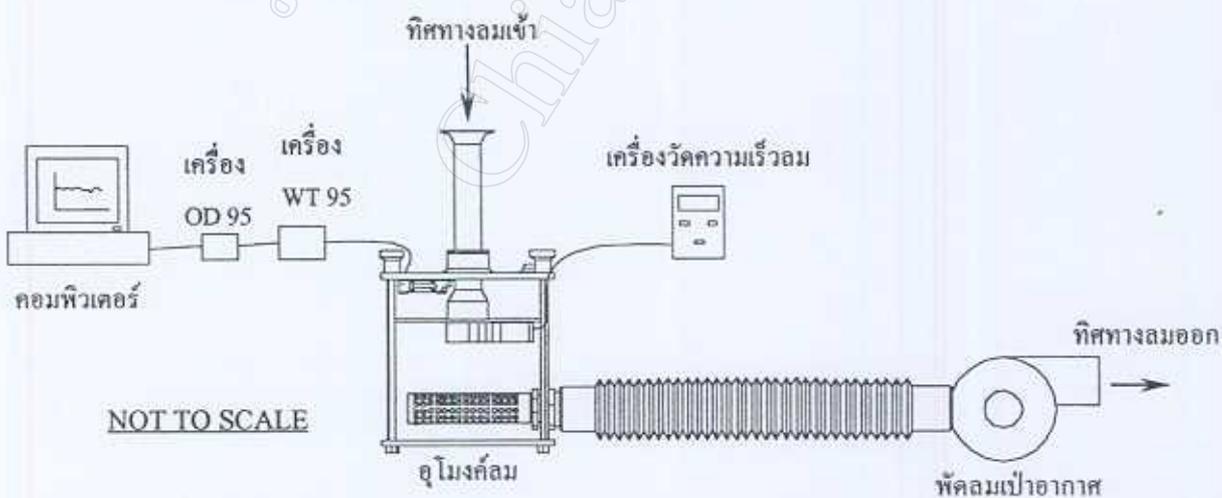


รูปที่ 3.12 น้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการปรับเทียบเครื่องวัดแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์

เมื่อได้น้ำหนักมาตรฐานมาแล้วก็จะนำน้ำหนักมาตรฐานไปทำการปรับเทียบเครื่องมือวัดแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์โดยทันที เพื่อป้องกันการสูญหายของน้ำหนักในกรณีที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานโดยน้ำหนักมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบจะมีจำนวน 30 ค่าด้วยกัน ดังภาคผนวก ก

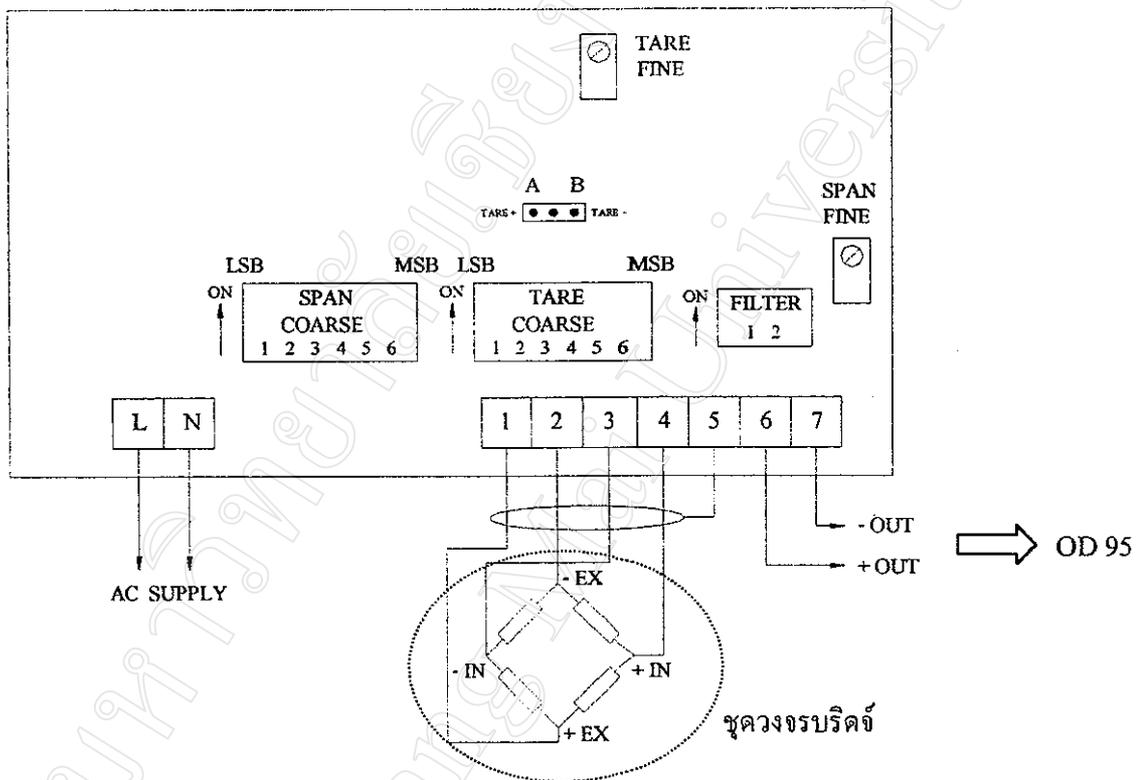
### 3.5 ขั้นตอนการทดสอบ

3.5.1 คัดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับอุโมงค์ลมสำหรับการวัดแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเมล็ดข้าวเปลือก โดยที่ตำแหน่งบริเวณด้านบนของอุโมงค์ลมจะมีระดับน้ำเพื่อติดตั้งฝาด้านบนของอุโมงค์ลมให้ได้ระดับ โดยปรับน็อตที่ฝาด้านบน



รูปที่ 3.13 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบและเครื่องมือวัด

การต่อเครื่องขยายสัญญาณ (WT 95) เข้ากับชุดทดสอบการวัดแรงดันทางอากาศพลศาสตร์ โดยจะต่อเข้ากับชุดวงจรบริดจ์ของโพลีเซลล์ซึ่งมีจำนวน 5 สาย ด้วยกันดังนี้ สาย 1 เป็นไฟกระตุ้นขั้วบวกที่ส่งออกจากเครื่องขยายสัญญาณ สาย 2 เป็นไฟกระตุ้นขั้วลบที่ส่งออกจากเครื่องขยายสัญญาณ สาย 3 เป็นสัญญาณไฟลบที่ออกจากชุดวงจรบริดจ์ของโพลีเซลล์ สาย 4 เป็นสัญญาณไฟบวกที่ออกจากชุดวงจรบริดจ์ของโพลีเซลล์ สาย 5 เป็นสายดิน

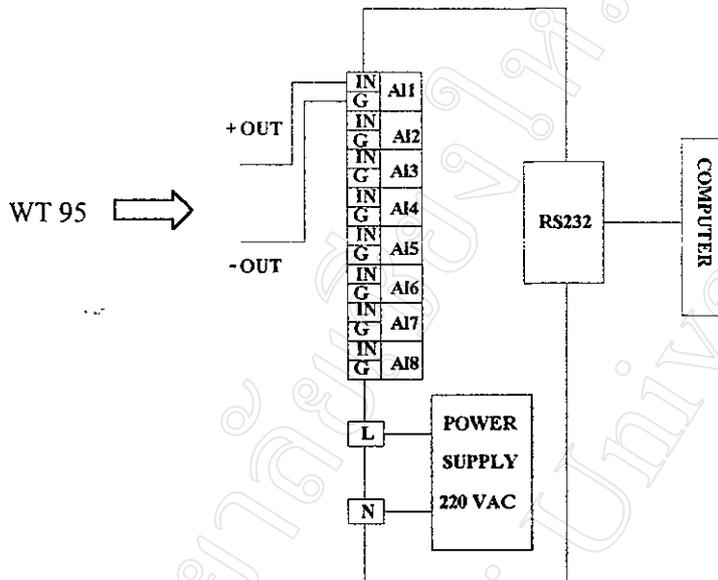


รูปที่ 3.14 วงจรของเครื่องขยายสัญญาณและต่อเข้ากับชุดของวงจรบริดจ์ [บริษัท Wisco]

จากรูป ขั้ว 6 และ ขั้ว 7 จะเป็นสัญญาณที่ได้รับการขยายและกรองสัญญาณรบกวนแล้ว สัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องขยายสัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยที่ขั้ว 6 จะเป็นสัญญาณไฟบวก ส่วนขั้ว 7 เป็นสัญญาณไฟลบ ซึ่งจะนำสัญญาณจากทั้งสองขั้วนี้ต่อเข้าไปยังเครื่องรับสัญญาณ (OD 95)

การต่อเครื่องรับสัญญาณเข้ากับชุดทดสอบการวัดแรงดันทางอากาศพลศาสตร์ โดยจะรับสัญญาณมาจากเครื่องขยายสัญญาณคือ ขั้ว 6 และขั้ว 7 โดยที่สัญญาณไฟบวกขั้ว 6 เข้าที่ ขั้ว IN ของเครื่องรับสัญญาณที่ช่อง AI 1 ส่วนสัญญาณไฟลบ ขั้ว 7 เข้าที่ขั้ว G ของเครื่องรับสัญญาณที่ช่อง AI 1 ซึ่งเครื่องรับสัญญาณนี้สามารถรับสัญญาณได้พร้อมกันครั้งละ 8 ชุด คือสามารถใช้งานได้กับ

โหลดเซลล์ทั้ง 8 ตัวได้ในเวลาเดียวกัน แล้วก็ส่งสัญญาณที่ได้รับผ่านพอร์ต RS232 ต่อไปยัง ไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งพอร์ต RS232 ของไมโครคอมพิวเตอร์ก็คือพอร์ต COM2



รูปที่ 3.15 การต่อเครื่องรับสัญญาณเข้าเครื่องขยายสัญญาณ [บริษัท Wisco]

3.5.2 การปรับเทียบเครื่องขยายสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณ เพื่อใช้งานร่วมกับ โหลด เซลล์ ของชุดทดสอบการวัดแรงดันทางอากาศพลศาสตร์ กระทำดังนี้

3.5.2.1 การตั้งค่า Span Coarse โดยคำนวณหาค่า Amplifier Sensitivity [บริษัท Wisco] จาก

$$\text{Amp. Sens.} = \frac{\text{น้ำหนักสูงสุดของการทดสอบ} \times \text{Load cell Sensitivity (mv/v)}}{\text{จำนวน Load cell} \times \text{Norminal Load ของ Load Cell}} \quad (3.1)$$

นำค่าที่คำนวณได้ไปเทียบกับตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก แล้วปรับสวิทช์ที่ Span Coarse ให้มีตำแหน่ง ON ตามตาราง

3.5.2.2 การตั้งค่า Tare โดยหมุนปุ่ม Tare Fine และ Span Fine (รูปที่ 3.14) ไว้ที่ ตำแหน่งกึ่งกลาง โดยหมุนปุ่มตามเข็มนาฬิกา 25 รอบ แล้วหมุนทวนเข็มนาฬิกา 13 รอบ สวิทช์ Tare Coarse ให้อยู่ในตำแหน่ง OFF ทุกตัว วัดสัญญาณออกที่ขั้ว 6 และ 7 โดยใช้มัลติมิเตอร์ถ้ามีค่า เป็นสัญญาณบวกให้เสียบ Jumper ที่ตำแหน่ง A ถ้ามีค่าเป็นลบให้เสียบ Jumper ที่ตำแหน่ง B

ปรับสวิตช์ Tare Coarse เป็นแบบ Binary ตามตารางที่ ก.2 ในภาคผนวก ก จนกระทั่งให้ค่าสัญญาณออกใกล้ศูนย์ที่สุด จากนั้นปรับปุ่ม Tare Fine ให้ค่าสัญญาณออกเป็นศูนย์ (0 โวลต์)

3.5.2.3 ใส่น้ำหนักมาตรฐานที่ทราบค่าซึ่งควรจะมีน้ำหนักมากกว่า 2/3 ของค่าน้ำหนักสูงสุดของการทดสอบและปรับปุ่ม Span Fine ให้ได้ค่าสัญญาณแรงดันไฟออกตามสมการ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\text{Output Voltage} = \frac{\text{น้ำหนักมาตรฐาน} \times 10}{\text{น้ำหนักสูงสุดของการทดสอบ}} \quad (3.2)$$

แต่ถ้าปรับปุ่ม Span Fine ไปจนสุดด้านใดด้านหนึ่งแล้วยังไม่ได้ค่าสัญญาณแรงดันไฟออกที่ขั้ว 6 และขั้ว 7 ของเครื่องขยายสัญญาณตามการคำนวณดังสมการด้านบน (สมการ 3.2) จะต้องกลับไปทำการปรับใหม่ตั้งแต่ต้น โดยเพิ่มหรือลด Span Coarse ไปหนึ่งขั้นจากตำแหน่งเดิม

ในกรณีที่สัญญาณออกมีสัญญาณรบกวนมากสามารถกรองสัญญาณให้เรียบได้โดยเปิดสวิตช์ 1 และ 2 ของ Filter Switch

3.5.3 ปรับเทียบค่าของเครื่องวัดแรงดันทางอากาศพลศาสตร์กับน้ำหนักมาตรฐาน โดยวางน้ำหนักมาตรฐานไว้ที่ปลายเข็มฉีดยาที่ติดตั้งบน โหลดเซลล์ในห้องทดสอบ และการเก็บบันทึกข้อมูลในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่มาพร้อมกับเครื่องขยายสัญญาณและรับสัญญาณซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะประกอบด้วย 2 โปรแกรมด้วยกัน คือ

3.5.3.1 โปรแกรม Online Excel Datalogger เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นต่างๆ เพื่อที่จะคัดค้านำข้อมูล Input ของเครื่อง OD 95 มาแสดงบน Excel และนำข้อมูลจาก Cell ใน Excel ส่งไปยัง Output ของ OD 95 และบันทึกข้อมูลลง Disk ตามเวลาที่กำหนด

3.5.3.2 โปรแกรม History เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเรียกข้อมูลที่ถูกบันทึกลงไว้ใน Disk ขึ้นมาดูทีละค่า ดูค่าสูงสุด ต่ำสุด กราฟ และแปลงไฟล์ที่เก็บไปเป็น File.csv ซึ่งสามารถนำไปใช้งานบน Excel ได้ หมายเหตุ รายละเอียดการใช้งานโปรแกรมสามารถดูได้ในภาคผนวก ข

3.5.4 ทดสอบหาค่าแรงต้านคิดตัว (Parasite Drag) ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบที่ความเร็วลมต่างๆ กัน โดยทดสอบที่ความเร็วของอากาศ ตั้งแต่ 0 ถึง 50 m/s

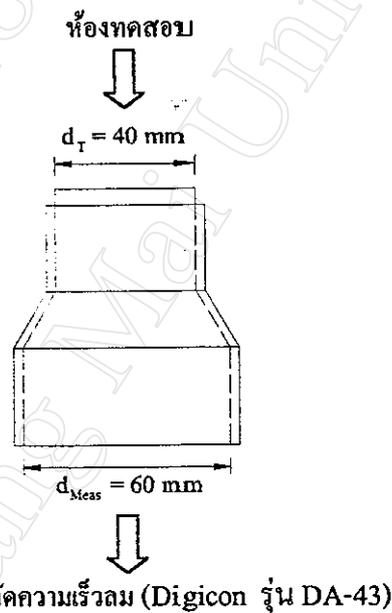
3.5.5 ทดสอบหาค่าแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม ที่ความเร็วลมต่างๆ กันจำนวน 7 ค่า ซึ่งทรงกลมที่ใช้จะเป็นเม็ดพลาสติกใสจะติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องทดสอบ โดยทดสอบที่ความเร็วของอากาศตั้งแต่ 14 ถึง 50 m/s

3.5.6 ทดสอบหาค่าแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ล็ดข้าวเปลือก โดยทดสอบที่ความเร็วลมจำนวน 7 ค่า ซึ่งเม็ล็ดข้าวเปลือกจะติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องทดสอบ โดยทดสอบที่ความเร็วของอากาศตั้งแต่ 14 ถึง 50 m/s

### 3.6 วิธีการวิเคราะห์ผล

#### 3.6.1 คุณสมบัติของอากาศในห้องทดสอบ

ก่อนที่จะทำการศึกษาวิจัย จะต้องทราบคุณลักษณะของอากาศในห้องทดสอบของอุโมงค์ลม ได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็ว ความดัน และความหนาแน่น การวัดอุณหภูมิของอากาศสามารถวัดได้โดยตรง (จากเครื่องมือวัดความเร็วลม)



รูปที่ 3.16 ข้อต่อเครื่องมือวัดความเร็วลม

ความเร็วของอากาศในห้องทดสอบสามารถคำนวณได้จาก

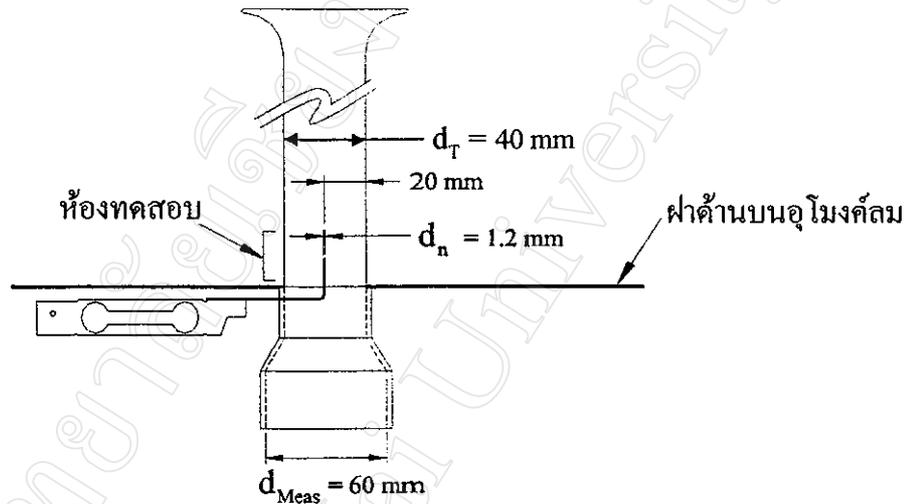
$$\rho_T A_T V_T = \rho_{Meas} A_{Meas} V_{Meas} \quad (3.3)$$

เมื่อค่าความหนาแน่นของอากาศ  $\rho_T \approx \rho_{Meas}$  จะได้

$$A_T V_T = A_{Meas} V_{Meas} \quad (3.4)$$

$$V_T = \frac{A_{Meas}}{A_T} V_{Meas} \quad (3.5)$$

3.6.1.1 ความเร็วลมในห้องทดสอบ กรณีของเข็มฉีดยาเบอร์ 18G สำหรับติดตั้งตัวอย่างทดสอบ (เมื่อยังไม่มีติดตั้งตัวอย่างทดสอบ)



รูปที่ 3.17 เข็มฉีดยาที่อยู่ในห้องทดสอบ

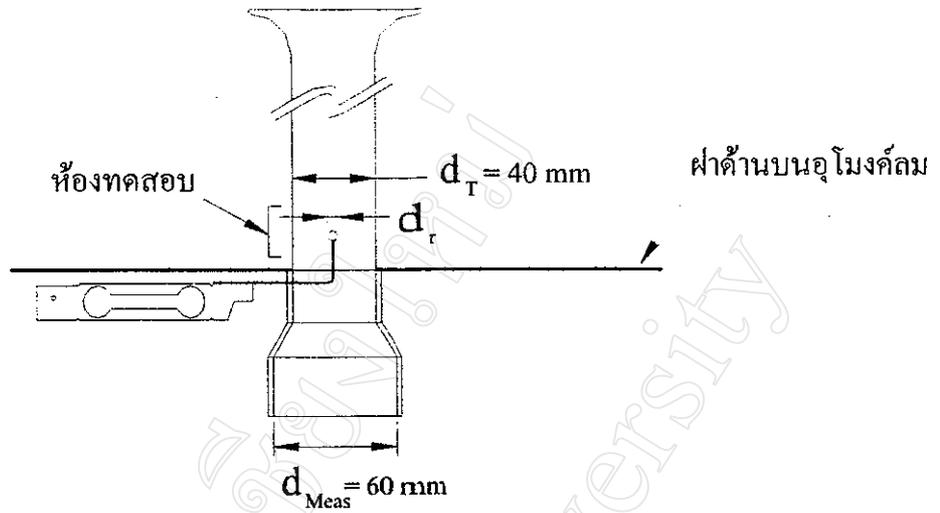
$$V_{TL} = \frac{A_{Meas}}{A_T - A_n} V_{Meas} \quad (3.6)$$

$$V_{TL} = \frac{(d_{Meas})^2}{(d_T - d_n)^2} V_{Meas} \quad (3.7)$$

3.6.1.2 ความเร็วลมในห้องทดสอบ ในกรณีติดตั้งทรงกลมทดสอบ

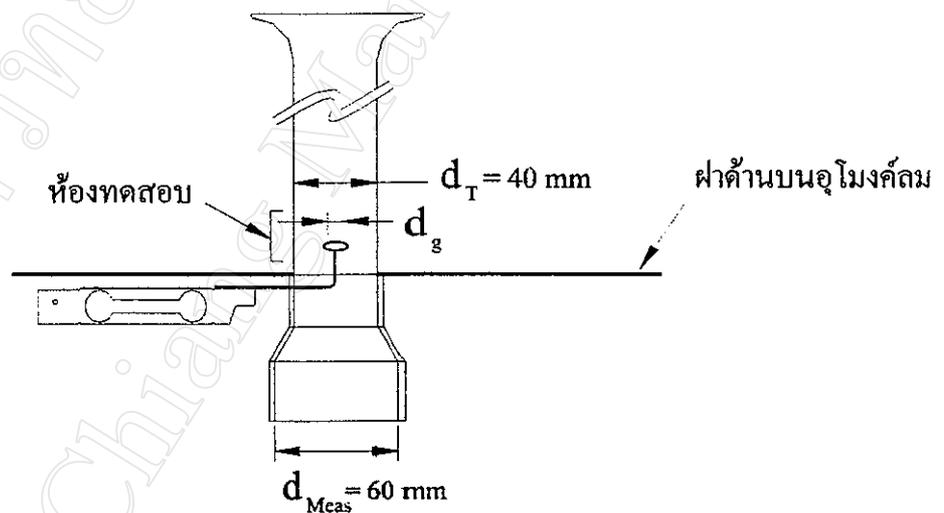
$$V_{Tr} = \frac{A_{Meas}}{A_T - A_r} V_{Meas} \quad (3.8)$$

$$V_{Tr} = \frac{(d_{Meas})^2}{(d_T - d_r)^2} V_{Meas} \quad (3.9)$$



รูปที่ 3.18 ทรงกลมที่อยู่ในห้องทดสอบ

## 3.6.1.3 ความเร็วลมในห้องทดสอบ ในกรณีติดตั้งเมตต์ข้าวเปลือกทดสอบ

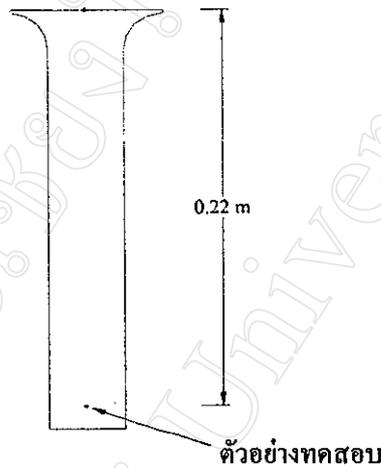


รูปที่ 3.19 เมตต์ข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องทดสอบ

$$V_{Tg} = \frac{A_{Meas}}{A_T - A_g} V_{Meas} \quad (3.10)$$

$$V_{Tg} = \frac{(d_{Meas})^2}{(d_T - d_g)^2} V_{Meas} \quad (3.11)$$

ความดันอากาศและความหนาแน่นของอากาศภายในห้องปฏิบัติการทดสอบ หาได้จาก การวัดความดันบรรยากาศ ซึ่งวัดโดยใช้ Barometer ซึ่งแสดงผลได้ละเอียด 1/100 มิลลิเมตรปรอท ส่วนความดันในห้องทดสอบของอุโมงค์ลมจะมีความดันสูญเสียที่ท่อทางเข้า ในที่นี้ปากแตรจะมี ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย  $K = 0.05$  (Janna, 1993)



รูปที่ 3.20 ความสูงของระยะจากปากทางเข้าอุโมงค์ลมถึงตำแหน่งติดตั้งตัวอย่างทดสอบ

$$P_T = P_{atm} - \frac{1}{2} \rho_T V_T^2 \left( 1 + \frac{fL}{D} + K \right) + \rho_T gZ \quad (3.12)$$

คุณสมบัติของอากาศอธิบายได้โดยใช้ หลักการของ Ideal Gas โดยที่

$$P_T = \rho_T R T_T \quad (3.13)$$

$$\rho_T = \frac{2P_{atm}}{2RT_T + V_T^2 \left( 1 + \frac{fL}{D} + K \right) - 2gZ} \quad (3.14)$$

โดยที่  $T_T = t_a + 273.15$

$R$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซในที่นี้คืออากาศ ดังนั้น  $R = 286.8 \text{ J/kg K}$

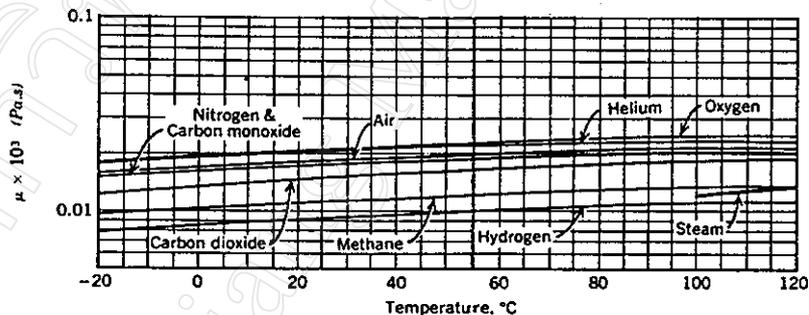
การสูญเสียหลัก ( $f$ ) เนื่องมาจากความขรุขระและความยาวของท่อ ในที่นี้จะมีค่าน้อยมาก

เลยไม่นำมาคิดด้วย ดังนั้น  $\frac{fL}{D} = 0$

$$P_T = \frac{573.6(t_a + 273.15)P_{atm}}{573.6(t_a + 273.15) + 1.05V_T^2 - 4.3164} \quad (3.15)$$

$$\rho_T = \frac{2P_{atm}}{573.6(t_a + 273.15) + 1.05V_T^2 - 4.3164} \quad (3.16)$$

ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศในห้องทดสอบ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศในห้องทดสอบ ซึ่งความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศอธิบายได้จากกราฟรูปที่ 3.21 จากกราฟจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศและอุณหภูมิจะมีความชันเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ทั้งสองที่อุณหภูมิในช่วง  $20 - 30^\circ\text{C}$



รูปที่ 3.21 กราฟแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ [Vannard and Street, 1982]

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศและอุณหภูมิ จะเป็นไปตามสมการ

$$\mu_T = C_1 t_a + C_2 \quad (3.17)$$

โดยที่  $t_a = 20^\circ\text{C}$  จะมีค่า  $\mu_T = 1.81 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$   
 $t_a = 30^\circ\text{C}$  จะมีค่า  $\mu_T = 1.86 \times 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

$$\text{ดังนั้นจะได้} \quad 1.81 \times 10^{-5} = 20C_1 + C_2 \quad (3.18)$$

$$1.86 \times 10^{-5} = 30C_1 + C_2 \quad (3.19)$$

เมื่อ  $C_1$  และ  $C_2$  เป็นค่าคงที่

ในสมการที่ 3.18 และ 3.19 มีสองสมการสองตัวแปร สามารถแก้สมการหาค่า  $C_1$  และ  $C_2$  ได้  $C_1 = 5 \times 10^{-8}$ ,  $C_2 = 1.71 \times 10^{-5}$  ดังนั้นจะได้

$$\mu_T = 5 \times 10^{-8} t_o + 1.71 \times 10^{-5} \quad 20^\circ\text{C} \leq t_o \leq 30^\circ\text{C} \quad (3.20)$$

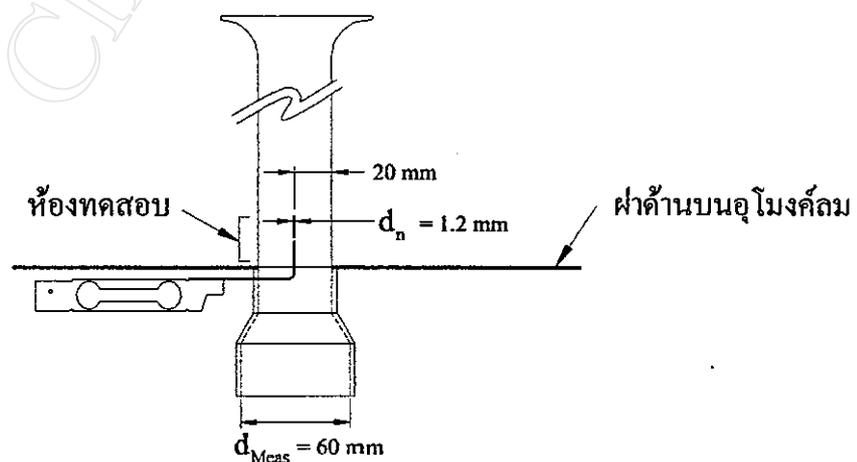
### 3.6.2 เรย์โนลด์นัมเบอร์ของเข็มฉีดยาที่อยู่ในห้องทดสอบ

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ใช้ในการหาค่าแรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเข็มฉีดยาที่อยู่ในห้องทดสอบที่เกิดจากแรงต้านติดตัว

$$Re_L = \frac{\rho_T V_{TL} d_n}{\mu_T} \quad (3.21)$$

โดยที่  $d_n$  คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มฉีดยาที่ติดอยู่ที่ปลายโหนดเซลล์เท่ากับ  $1.2 \times 10^{-3}$  m

$$Re_L = 1.2 \times 10^{-3} \left( \frac{\rho_T V_{TL}}{\mu_T} \right) \quad (3.22)$$



รูปที่ 3.22 เข็มฉีดยาสำหรับติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องทดสอบของอูโมงค์ลม

### 3.6.3 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเข็มฉีดยาที่อยู่ในห้องทดสอบ

ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์โดยทั่วๆ ไปของของแข็งที่อยู่ในของไหลอธิบายได้โดย [Daugherty et al., 1989]

$$C_{DL} = \frac{2F_L}{\rho_T A_n V_{\pi}^2} \quad (3.23)$$

โดยที่  $A_n$  คือ พื้นที่ฉายของเข็มฉีดยาที่ติดอยู่ที่ปลายโพลคเซลล์ที่อยู่ในห้องทดสอบ

$$A_n = d_n \times \frac{1}{2} \text{ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของห้องทดสอบในอุโมงค์ลม}$$

$$A_n = (1.2 \times 10^{-3}) \times (20 \times 10^{-3}) = 2.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

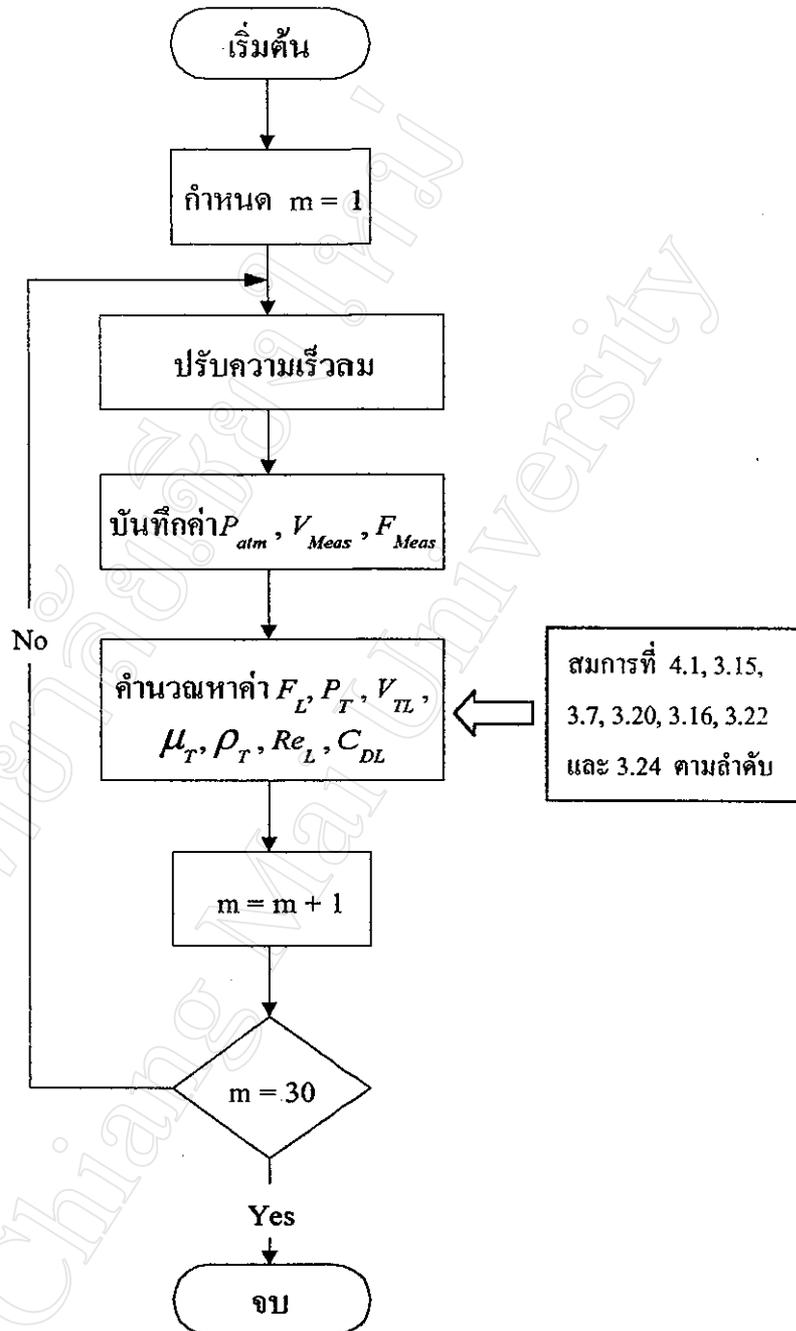
$$C_{DL} = \frac{2F_L}{2.4 \times 10^{-5} \rho_T V_{\pi}^2} \quad (3.24)$$

ลำดับขั้นตอนในการทดลองและการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้พัดลมเป่าอากาศทำงานก็จะมี การไหลของอากาศผ่านห้องทดสอบในที่นี้จะเรียกแทนด้วยความเร็วลม ความเร็วลมที่ผ่านห้องทดสอบจะปะทะกับเข็มฉีดยาที่ขวางลมอยู่ ทำให้เกิดมีน้ำหนักกระทำกับเข็มฉีดยาแทนด้วย  $F_{Meas}$  ที่วัดได้โดยโพลคเซลล์แล้วทำการบันทึกข้อมูลด้วยชุดบันทึกข้อมูลซึ่งประกอบด้วย เครื่องขยายสัญญาณ เครื่องรับสัญญาณและคอมพิวเตอร์ น้ำหนักที่บันทึกเก็บค่าจะมีหน่วยเป็นกรัม ค่าแรงกระทำ  $F_L$  ที่ได้จากการวัดต้องนำไปหาแรงกระทำจริงตามสมการ 4.1 จากนั้นก็จะคำนวณหาค่าต่างๆ ดังนี้  $P_T$ ,  $V_T$ ,  $\mu_T$ ,  $\rho_T$ ,  $Re_L$  และ  $C_{DL}$  จากสมการ 3.15, 3.7, 3.20, 3.16, 3.22 และ 3.24 ตามลำดับ โดยจะให้  $m$  = จำนวนครั้งของการทดสอบ (30 ครั้ง) สามารถดูได้จากรูปที่ 3.23

### 3.6.4 เรย์โนลด์นัมเบอร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดพลาสติกทรงกลม ได้จากการวัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิทัล

$$Re_r = \frac{\rho_T V_T d_r}{\mu_T} \quad (3.25)$$



รูปที่ 3.23 ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณหาค่า  $Re_L$  และ  $C_{DL}$  ของเข็มที่อยู่ในห้องทดสอบ

### 3.6.5 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม

ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม หาได้โดย

$$C_{Dr} = \frac{2(F_r - F_L)}{\rho_T A_r V_r^2} \quad (3.26)$$

ลำดับขั้นตอนในการทดลองและการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดพลาสติกทรงกลม โดยที่  $m$  = จำนวนครั้งของการทดสอบ (7 ครั้งหรือความเร็วในการทดลองจำนวน 7 ค่า)  $n$  = จำนวนของตัวอย่างทดสอบ (5 เม็ด) ดูได้จากรูป 3.24

### 3.6.6 เรย์โนลด์นัมเบอร์ของเม็ดข้าวเปลือก

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดข้าวเปลือกได้จากการวัดระยะตามแกน X แกน Y และแกน Z โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์แบบดิจิทัล ให้  $d_g$  เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดข้าวเปลือก โดยที่ [Mohsenin, 1986]

$$d_g = \sqrt[3]{h \times w \times l} \quad (3.27)$$

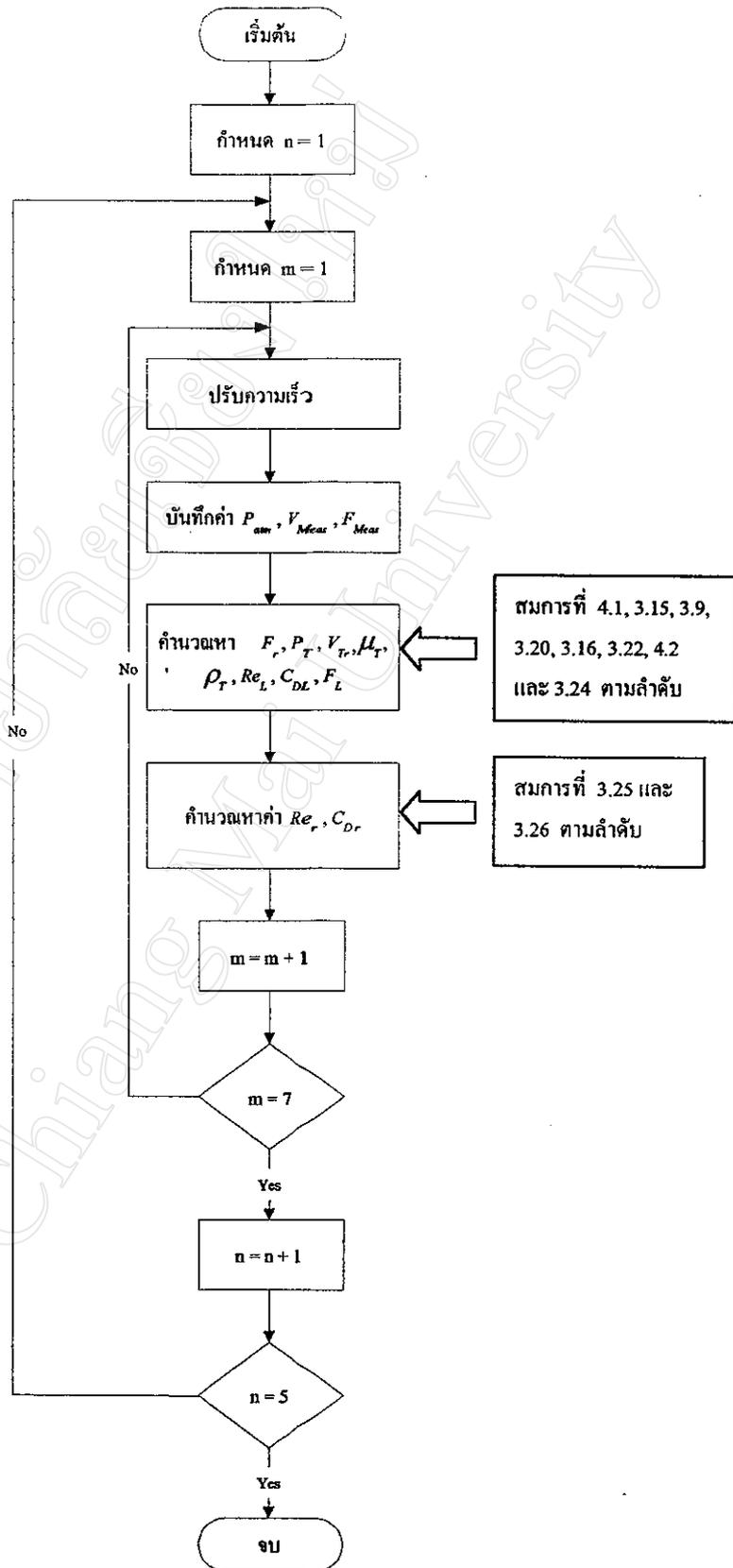
$$Re_g = \frac{\rho_T V_{Tg} d_g}{\mu_T} \quad (3.28)$$

### 3.6.7 สัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดข้าวเปลือก

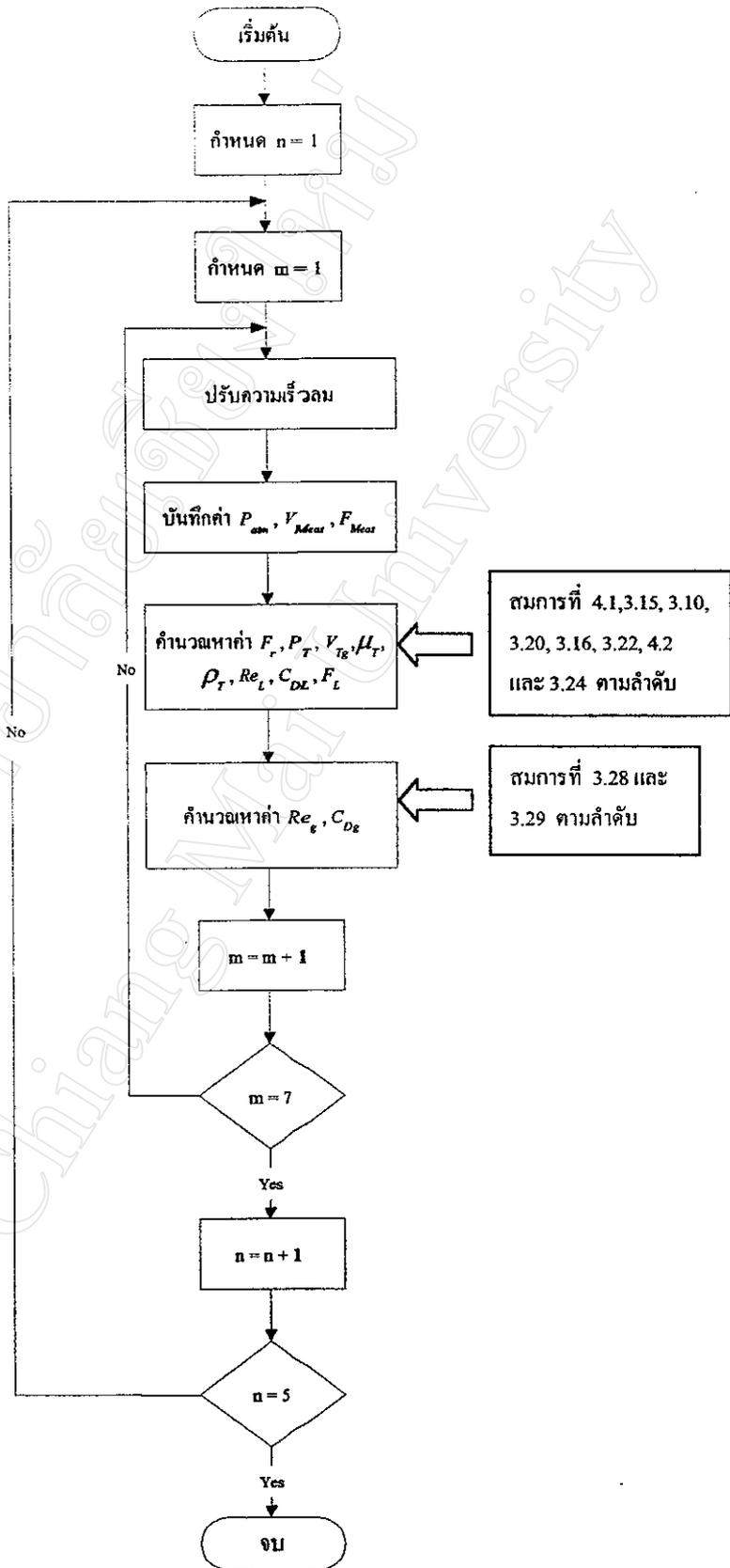
ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดข้าวเปลือก อธิบายได้โดย

$$C_{Dg} = \frac{2(F_g - F_L)}{\rho_T A_g V_{Tg}^2} \quad (3.29)$$

ลำดับขั้นตอนในการทดลองและการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทางอากาศพลศาสตร์ของเม็ดข้าวเปลือก โดยที่  $m$  = จำนวนครั้งของการทดสอบ (7 ครั้งหรือความเร็วในการทดลองจำนวน 7 ค่า)  $n$  = จำนวนของตัวอย่างทดสอบ (5 เม็ด) ดูได้จากรูป 3.25



รูปที่ 3.24 ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณหาค่า  $Re_r$  และ  $C_{Dr}$  ของเม็ดพลาสติกทรงกลม



รูปที่ 3.25 ขั้นตอนการทดลองและการคำนวณหาค่า  $Re_g$  และ  $C_{Dg}$  ของเม็ดข้าวเปลือก