บทที่ 4

การทดลอง

4.1 ลักษณะของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และหญ้า

ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และหญ้าที่ใช้ในการทดลอง เป็นมูลฝอยที่ได้จากบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ คณะพาณิชย์ศาสตร์และการบัญชี คณะรัฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ ฯลฯ และจากสถานที่อื่น ๆ ได้แก่ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา หมู่บ้าน ฯลฯ เป็นต้น

4.1.2 กระดาษ

กระดาษที่ใช้ในการทดลอง เป็นมูลฝอยที่ได้จากบริษัทต่าง ๆ บ้านเรือน และร้านค้าทั่วไป ซึ่งเป็นมูลฝอยประเภทกระดาษหนังสือพิมพ์, กระดาษเอกสารที่ถูกทำลาย, นิตยสารต่าง ๆ ฯลฯ เป็นต้น

4.1.3 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ค่าปริมาณความชื้นของมูลฝอย โดยทั่วไปจะแสดงอยู่ในรูปของปริมาณความชื้นในมูลฝอยต่อมวลของมูลฝอยเปียกหรือมูลฝอยแห้ง สำหรับค่าปริมาณความชื้นเบื้องต้นในการทดลองนี้ได้ทำการวัดค่าโดยการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยประมาณ 20% ของปริมาณมูลฝอยที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง ไปคำนวณหาค่าปริมาณความชื้นเบื้องต้นได้จาก

$$\text{ค่าความชื้นของมูลฝอย} = \left(\frac{\left(w_w - w_d \right)}{w_w} \right) \times 100 \qquad (4.1)$$

เมื่อ w_w = น้ำหนักของตัวอย่างมูลฝอยที่วัดได้ก่อนการอบแห้ง ; kg.

w_d = น้ำหนักของตัวอย่างมูลฝอยเดิมที่ได้ผ่านการอบแห้งในเตาอบ ณ อุณหภูมิ 85 °C ใช้เวลานานประมาณ 30 นาที ; kg.

โดยที่ในการทดลองแต่ละครั้งใช้ปริมาณมูลฝอยในอัตรา 25 kg/hr ปรากฏว่ามีค่าปริมาณความชื้นเบื้องต้นเฉลี่ย ดังนี้

ค่าปริมาณความชื้นเบื้องต้นเฉลี่ยของมูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และหญ้า มีค่า = 3.68 %

ค่าปริมาณความชื้นเบื้องต้นเฉลี่ยของมูลฝอยประเภทกระดาษ มีค่า = 2.85 %

จะเห็นได้ว่าค่าปริมาณความชื้นเบื้องต้นเฉลี่ยของมูลฝอยทั้งสองประเภทนั้นมีปริมาณน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้พิจารณาให้มูลฝอยที่ใช้ในการทดลองมีค่าปริมาณความชื้นประมาณ 5%

4.2 ลักษณะของระบบที่ใช้ในการทดลอง

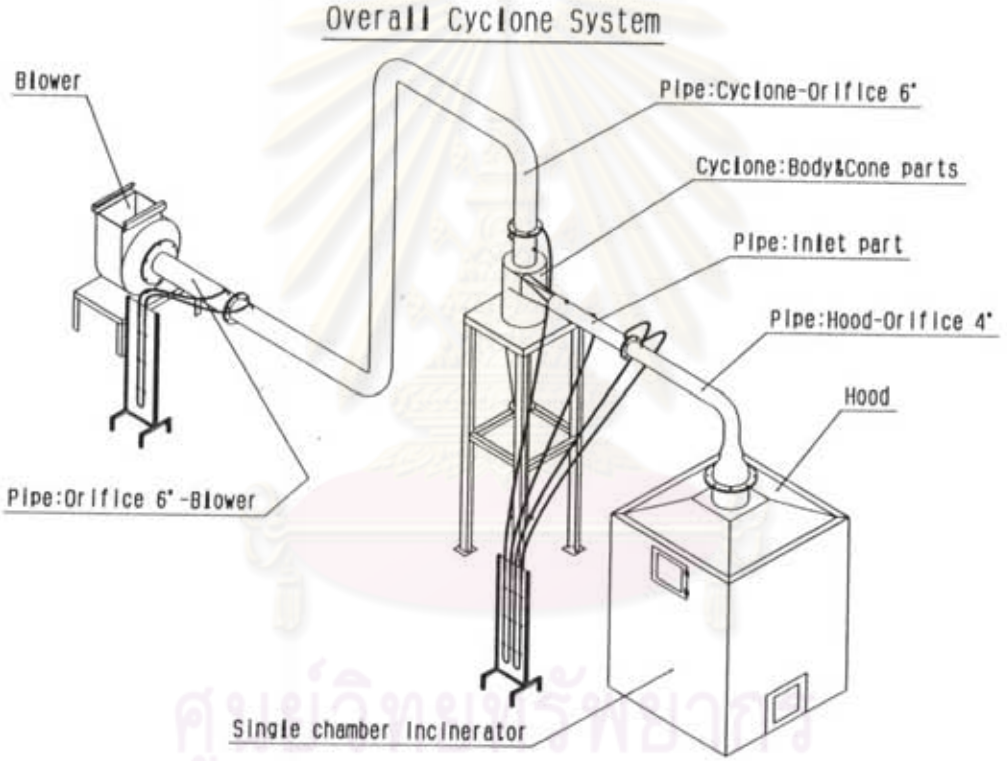
4.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะของระบบที่สร้างขึ้นเป็นระบบที่ออกแบบตามสภาพการทำงานของระบบไซโคลนขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป โดยระบบไซโคลนที่ใช้ในการทดลองนี้สามารถทำการลดปริมาณอนุภาคในแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้มูลฝอยประเภทต่าง ๆ ได้แก่ ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และหญ้า และกระดาษ ได้จริงจากการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง

4.2.2 ส่วนประกอบของระบบที่ใช้ในการทดลอง

สำหรับระบบที่ใช้ในการทดลองนี้มีส่วนประกอบหลัก คือ - เตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยว (Single-chamber incinerator), ตัวไซโคลน (Cyclone), พัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan) และระบบท่อ เตาเผามูลฝอยชนิดห้องเผาไหม้เดี่ยวมีลักษณะห้องเผาไหม้มูลฝอยเป็นรูปทรงกระบอก ส่วนตัวไซโคลนทำมาจากการนำเหล็กแผ่นมาม้วนตามขนาดในแบบ รูปที่ ช-8 แสดงขนาดของตัวไซโคลน แล้วทำการเชื่อมแนวต่อให้เป็นตัวไซโคลน ส่วนพัดลมดูดอากาศแบบแรงเหวี่ยงที่ใช้ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า จำนวน

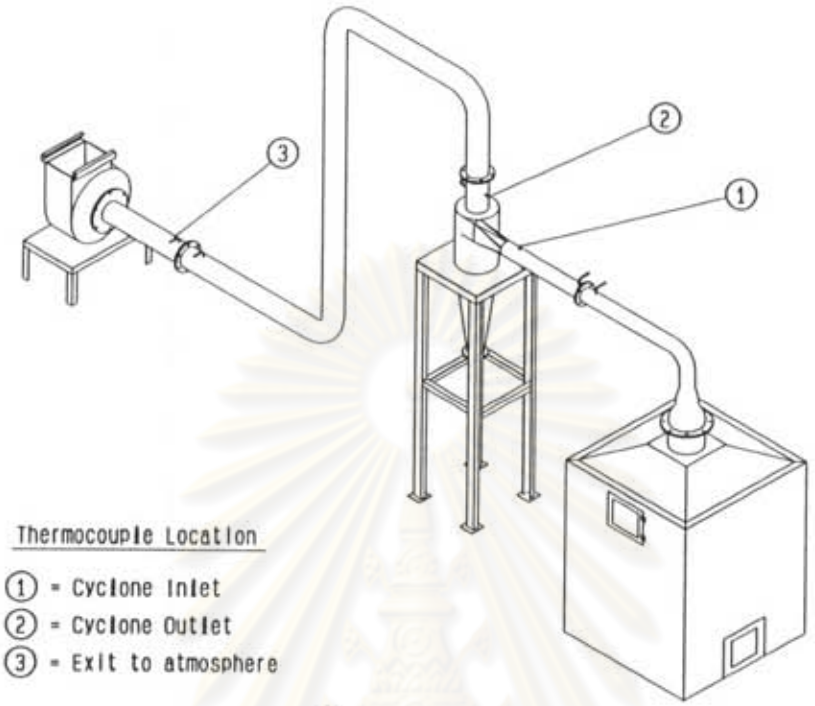
1 เครื่อง แล้วนำมาประกอบติดตั้งเข้าด้วยกันโดยมีท่อกลม, ข้อต่อ 90° เป็นตัวเชื่อมต่อระบบ ดังรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง โดยที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน, ทางออกของไซโคลน และทางออกสู่บรรยากาศ จะติดตั้งเทอร์โมคับเปิ้ล (thermocouple) เข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดตัวเลข (Digital thermometer) เพื่อใช้วัดอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ไหลผ่านระบบ ส่วนที่บริเวณปลายกรวยด้านล่างของตัวไซโคลนจะมีที่รองรับอนุภาค (hopper) เพื่อนำอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้ไปวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาค และหาประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลนต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะทั่วไปของระบบที่ใช้ในการทดลอง

4.2.3 ตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคับเปิ้ล

สำหรับระบบไซโคลนนี้ได้มีการติดตั้งเทอร์โมคับเปิ้ล ชนิด K รุ่น JB-10, RB-10 เข้ากับเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดตัวเลข (Digital thermometer) เพื่อใช้วัดอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของระบบ ดังรูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคับเปิ้ล



รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งเทอร์โมคับเปิ้ล

4.2.4 <u>การควบคุมอัตราการไหลของแก๊สร้อน</u>

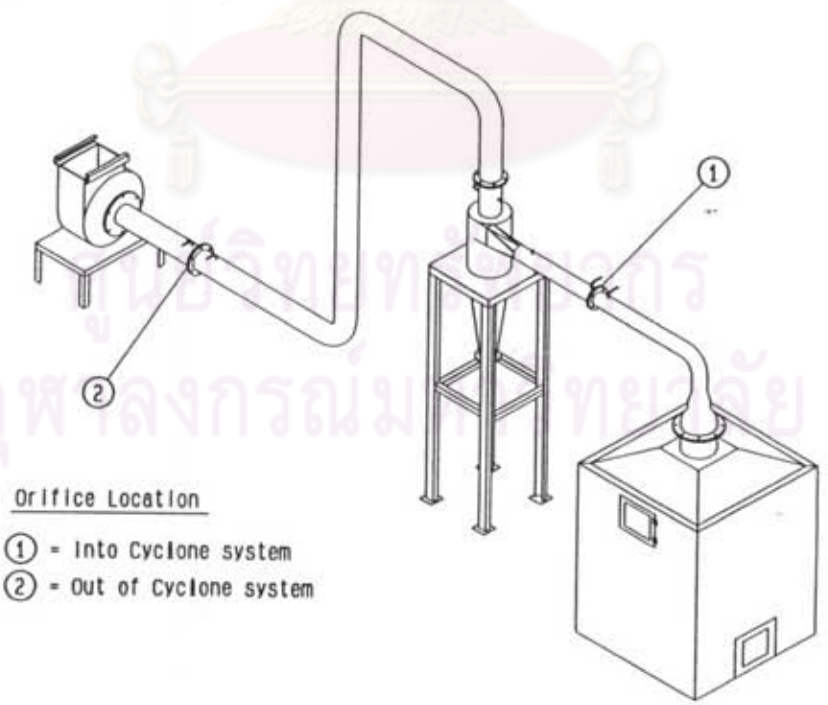
การควบคุมอัตราการไหลของแก๊สร้อนสามารถควบคุมได้โดยการปรับตำแหน่งพื้นที่ทางออก (flow area) ของแก๊สร้อนที่พัดลมดูดอากาศซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 0.054 ตารางเมตร ออกเป็น 5 ตำแหน่ง ด้วยการเลื่อน sliding door ไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการควบคุมอัตราการไหลของแก๊สร้อน การหาค่าอัตราการไหลของแก๊สร้อนสามารถกระทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบออริฟิซ (Orifice plate) โดยพิจารณาจากค่าความดันเนื่องจากความเร็วของแก๊สร้อน (Velocity Pressure; VP) ที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิซนี้ ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ในรูปของความสูงแตกต่างของระดับน้ำที่บรรจุอยู่ในมานอมิเตอร์ ในหน่วยมิลลิเมตรของน้ำ แล้วทำการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของแก๊สร้อนจากสมการที่ (ก-18) ดังภาคผนวก ก แสดงการหาค่าอัตราการไหลของแก๊ส

ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการควบคุมอัตราการไหลของแก๊สร้อน

ตำแหน่งที่	พื้นที่ทางออกของแก๊สร้อน; m^2
1. 20% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมด	0.0108
2. 40% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมด	0.0216
3. 60% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมด	0.0324
4. 80% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมด	0.0432
5. 100%ของพื้นที่ทางออกทั้งหมด	0.0540

4.2.5 ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นออริฟิซ

สำหรับระบบไซโคลนนี้ได้มีการติดตั้งแผ่นออริฟิซ (Orifice plate) ซึ่งมีการออกแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่มีชื่อว่า ' Forboro Flowmeter Product Selection Guide ' ดังภาคผนวก ช แสดงโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดอัตราการไหลเพื่อใช้สำหรับวัดค่าอัตราการไหลของแก๊สร้อนที่ไหลผ่านระบบ ดังรูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นออริฟิซ



รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นออริฟิซ

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำแผ่นออริฟิซ (Orifice plate) มาติดตั้งแบบ D, D/2 tapping และนำสายยางมาต่อเข้ากับมานอมิเตอร์รูปตัว U บรรจุน้ำ ที่จุดวัดที่ 1 และจุดวัดที่ 4 ดังรูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าต่าง ๆ ของระบบไซโคลน เพื่อวัดค่าอัตราการไหลของแก๊สร้อนที่บริเวณทางเข้าของไซโคลน และบริเวณทางออกสู่บรรยากาศ ตามลำดับ

2. นำสายยางมาต่อเข้ากับมานอมิเตอร์รูปตัว U บรรจุน้ำ ที่จุดวัดที่ 2 และจุดวัดที่ 3 ดังรูปที่ 4.4 เพื่อวัดค่าความดันสูญเสียในไซโคลน

3. ติดตั้งเทอร์โมคับเปิ้ลที่ตำแหน่งทางเข้าของไซโคลน, ทางออกของไซโคลน และทางออกสู่บรรยากาศ ดังรูปที่ 4.2 เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิของแก๊สที่ผ่านระบบจากเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดตัวเลข (Digital thermometer)

4. ติดตั้งแผ่นกรอง (filter mat) และถุงกรอง (bag filter) ที่จุดวัดที่ 5 บริเวณทางออกของพัดลมดูดอากาศ ดังรูปที่ 4.4 เพื่อเก็บอนุภาคบางส่วนที่ไซโคลนไม่สามารถดักเก็บได้ แล้วนำไปหาค่าความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

5. ตรวจสอบสภาพสายไฟและความเรียบร้อยอื่น ๆ ของระบบไซโคลนทั้งหมดให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะเริ่มทำการทดลอง

6. ที่พัดลมดูดอากาศ ให้เลื่อนแผ่น sliding door ปิดพื้นที่ทางออกของแก๊ส

7. เปิดสวิทซ์ให้มอเตอร์ทำงานเพื่อขับพัดลมดูดอากาศ แล้วค่อย ๆ เลื่อนแผ่น sliding door ให้เปิดออกอยู่ในตำแหน่ง flow area = 100% ของพื้นที่ทางออกทั้งหมด

8. นำเครื่อง clamp on ammeter - voltmeter สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส มาวัดค่ากำลังของมอเตอร์ แล้วบันทึกค่าที่ได้

9. เริ่มทำการเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และหญ้า ในอัตราการป้อนมูลฝอย 25 กิโลกรัม/ชั่วโมง

9.1 เริ่มต้นใส่มูลฝอยจำนวน 2.5 กิโลกรัมลงไปในเตาเผา เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที

9.1.1 บันทึกค่าความดันเนื่องจากความเร็วของแก๊สร้อนที่ไหลผ่านแผ่นออริฟิซในรูปความสูงแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์รูปตัว U ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในข้อที่ 1

9.1.2 บันทึกค่าความดันสูญเสียของไซโคลน ในรูปความสูงแตกต่างของระดับน้ำในมานอมิเตอร์ รูปตัว U ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในข้อที่ 2

9.1.3 บันทึกค่าอุณหภูมิของแก๊สร้อนจากเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดตัวเลขที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในข้อที่ 3

9.2 ในนาทีที่ 6 ใส่มูลฝอยลงไปในเตาเผาอีก 2.5 กิโลกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาที (นาทีที่ 9) ทำการบันทึกค่าความดันเนื่องจากความเร็วของแก๊สร้อน,ค่าความดัน

สูญเสียของไซโคลน และค่าอุณหภูมิของแก๊สร้อน อีกครั้ง

9.3 จากนั้นทำการทดลองต่อไปโดยใส่มูลฝอยครั้งละ 2.5 กิโลกรัม และบันทึกค่าต่าง ๆ จากการทดลองสลับกันไปทุก ๆ 3 นาที จนครบในอัตราการป้อนมูลฝอย 25 กิโลกรัม/ ชั่วโมง

9.4 หลังจากนั้นทุก ๆ 6 นาที ให้บันทึกค่าต่าง ๆ จากการทดลองต่อไปอีกโดยไม่ต้องใส่มูลฝอยแล้ว จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะ steady state

10. ปิดสวิทช์ให้มอเตอร์ของพัดลมหยุดทำงาน แล้วทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เพื่อให้อนุภาคที่ยังฟุ้งกระจายอยู่ในระบบไซโคลนตกลงสู่ที่รองรับ (hopper) ด้านล่างให้หมดเสียก่อน

11. นำปริมาณอนุภาคที่ตกอยู่ในที่รองรับด้านล่างของไซโคลนไปทำการวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง 'Mastersizer' ดังภาคผนวก ง แสดงการวิเคราะห์หาการกระจายขนาดของอนุภาค และภาคผนวก จ แสดงการหาประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน

12. นำแผ่นกรองและถุงกรองไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สร้อนก่อนปล่อยแก๊สนั้นสู่บรรยากาศ ดังภาคผนวก ข แสดงการหาความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ

13. เปลี่ยนค่าอัตราการไหลของแก๊สร้อนโดยทำการเลื่อนแผ่น sliding door ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของ flow area จนครบ 5 ตำแหน่ง ตามหัวข้อที่ 4.2.4 แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 8 ถึงข้อ 11 จนครบทุกค่าอัตราการไหล

14. นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้บันทึกค่าไว้จากการทดลองในแต่ละครั้งไปคำนวณหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา คือ

14.1 อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊ส ดังภาคผนวก ก

14.2 ความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ ดังภาคผนวก ข

14.3 ความดันสูญเสียในไซโคลน ดังภาคผนวก ค

14.4 การกระจายขนาดขนาดของอนุภาค ดังภาคผนวก ง

14.5 ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน ดังภาคผนวก จ

15. นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

15.1 ความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ กับ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน

15.2 ความดันสูญเสียในไซโคลน กับ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน

15.3 การกระจายขนาดของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้ กับ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน

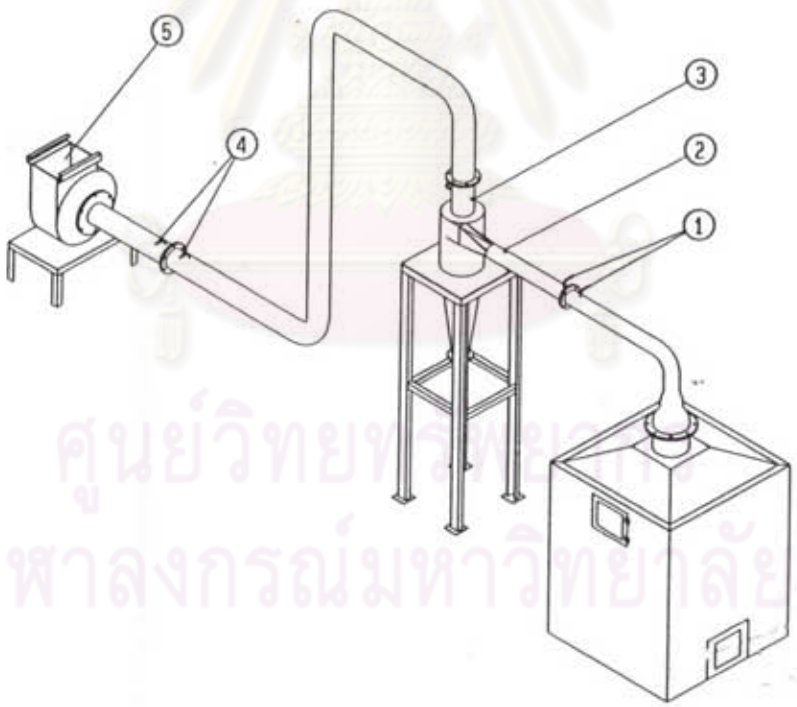
15.4 ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน กับ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน

15.5 อุณหภูมิเฉลี่ยของแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศ กับ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน

15.6 กำลังของมอเตอร์ กับ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สร้อน

15.7 กำลังของมอเตอร์ กับ ประสิทธิภาพการทำงานของไซโคลน

16. เปลี่ยนประเภทของมูลฝอยเป็นกระดาษในอัตราการป้อนมูลฝอย 25 กิโลกรัม/ชั่วโมง แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 8 ถึงข้อ 15 เหมือนกัน



รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าต่าง ๆ ของระบบไซโคลน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย