บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นงานวิจัยพร้อมทั้งให้แนวทางในการปรับปรุง เพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้ประยุกต์งานจริงให้เกิดประโยชน์สูงสุด

6.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาสมรรถนะของไซโคลนในครั้งนี้ได้มีการออกแบบและจัดสร้างไซโคลนแบบมีทางเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) ชนิด High efficiency, medium throughput ขึ้น โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวไซโคลนเท่ากับ 320.0 มิลลิเมตร ต่อเข้ากับเตาเผามูลฝอยพร้อมทั้งโบลเวอร์ดูดแก๊สแบบ Centrifugal fan ขนาดมอเตอร์ 3 แรงม้า และที่รองรับอนุภาคด้านล่างของตัวไซโคลน โดยสามารถสรุปผลการทดลองที่ได้ดังนี้

6.1.1 เมื่อดำเนินการทดลองหาสมรรถนะของไซโคลน โดยการทดลองนี้ได้ดำเนินการเปลี่ยนชนิดของมูลฝอยเป็น 2 ชนิด ได้แก่ มูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และมูลฝอยประเภทกระดาษ ในอัตราการป้อนมูลมูลฝอย 25 กิโลกรัม/ ชั่วโมง ซึ่งทำให้ข้อมูลของผลการทดลองที่ได้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชุด ดังนี้

6.1.1.1 การทดลองศึกษาสมรรถนะของไซโคลนในการลดปริมาณของอนุภาคจากแก๊สที่ได้จากการเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ในอัตราการป้อนมูลฝอย 25 กิโลกรัม/ ชั่วโมง ได้ทำการทดลองโดยการปรับค่าความเร็วในการไหลของแก๊สในท่อที่บริเวณทางออกของโบลเวอร์ในลักษณะการปรับตำแหน่งของ flow area เป็น 5 ตำแหน่ง คือ 100%, 80%, 60%, 40% และ 20% ของพื้นที่ทางออกของแก๊ส จากการทดลองที่ตำแหน่ง flow area = 100% ของพื้นที่ทางออกของแก๊ส ที่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.866 กิโลกรัม/ วินาที มีอุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยของแก๊สเท่ากับ 224.5 $^{\circ}C$ ผลปรากฏว่าสมรรถนะของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 89.07% โดยผลจากการคำนวณและออกแบบโดยสมมติฐานของ Stairmand เท่ากับ 90.5% ซึ่งจะแตกต่างกันประมาณ 1.43% เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่ง

flow area = 80% ของพื้นที่ทางออกของแก๊ส ที่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.722 กิโลกรัม/ วินาที มีอุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยของแก๊สเท่ากับ 243.5 °C มีสมรรถนะของไซโคลนเท่ากับ 82.15% โดยผลจากการคำนวณและออกแบบเท่ากับ 84.7% ซึ่งแตกต่างกันประมาณ 2.55% สำหรับที่ตำแหน่ง flow area = 60% ของพื้นที่ทางออกของแก๊ส ที่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.554 กิโลกรัม/ วินาที อุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยของแก๊สเท่ากับ 335.4 °C ผลปรากฏว่าสมรรถนะของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 94.27% โดยผลจากการคำนวณและการออกแบบเท่ากับ 96.34% มีค่าแตกต่างกันประมาณ 2.07% ส่วนที่ตำแหน่ง flow area = 40% ของพื้นที่ทางออกของแก๊ส ที่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.487 กิโลกรัม/ วินาที มีอุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยของแก๊สเท่ากับ 346.2 °C ผลปรากฏว่าสมรรถนะของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 87.12% โดยผลจากการคำนวณและออกแบบมีค่าเท่ากับ 91.24% ซึ่งแตกต่างกันประมาณ 4.12% และตำแหน่ง flow area = 20% ของพื้นที่ทางออกของแก๊ส ที่อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.487 กิโลกรัม/ วินาที อุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยของแก๊สเท่ากับ 377.2 °C ผลปรากฏว่าสมรรถนะของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 85.33% โดยผลจากการคำนวณและการออกแบบมีค่าเท่ากับ 92.06% ซึ่งแตกต่างกันประมาณ 6.73%

6.1.1.2 การทดลองศึกษาสมรรถนะของไซโคลนในการลดปริมาณของอนุภาคจากแก๊สที่ได้จากการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ ในอัตราการป้อนมูลฝอย 25 กิโลกรัม/ ชั่วโมง ได้ทำการทดลอง โดยการปรับค่าความเร็วในการไหลของแก๊สในท่อที่บริเวณทางออกของโบลเวอร์ในลักษณะการปรับตำแหน่งของ flow area เป็น 5 ตำแหน่ง เช่นเดียวกับการเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง จากการทดลองที่ตำแหน่ง flow area = 100%, 80%, 60%, 40% และ 20% ของพื้นที่ทางออกของแก๊ส ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.711, 0.624, 0.568, 0.536 และ 0.476 กิโลกรัม/ วินาที ตามลำดับ มีอุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยของแก๊สเท่ากับ 294.2, 310.6, 334.2, 350.0 และ 376.1 °C ตามลำดับ ผลปรากฏว่าสมรรถนะของไซโคลนมีค่าเท่ากับ 88.26, 78.88, 91.22, 83.73 และ 80.96% ตามลำดับ โดยผลจากการคำนวณและออกแบบโดยสมติฐานของ Stairmand มีค่าเท่ากับ 91.79, 87.16, 96.26, 90.82, และ 91.08% ตามลำดับ ซึ่งจะแตกต่างกันประมาณ 3.53, 8.28, 5.04, 7.09 และ 10.12% ตามลำดับ

ผลที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่า สมรรถนะของไซโคลนที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณและออกแบบโดยสมมติฐานของ Stairmand ดังนั้นการนำเอาผลการทดลองที่ได้นี้ไปใช้จะต้องอยู่ในสภาวะที่กำหนดหรือที่ดำเนินการทดลองไปแล้ว ดังตารางที่ 6.1 แสดงผลสรุปข้อมูลสมรรถนะของไซโคลนเปรียบเทียบระหว่าง

สมรรถนะตามสมมติฐานกับสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง อีกทั้งผลการทดลองนี้สามารถใช้ได้กับไซโคลนชนิด High efficiency, medium throughput เท่านั้น

6.1.2 จากผลการทดลองพบว่าที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวลต่าง ๆ มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคของไซโคลน โดยจากผลการทดลองจะเห็นว่าสำหรับการเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.554 กิโลกรัม/ วินาที อุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยเท่ากับ 335.4°C เป็นค่าที่ไซโคลนสามารถดักเก็บอนุภาคได้ดีที่สุดหรือคิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้ 94.27% โดยมีความดันสูญเสียในไซโคลนเฉลี่ยเท่ากับ 29.0 มิลลิเมตรของน้ำหรือ 236.79 กิโลปาสคาล มีความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศเท่ากับ 0.165 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในพิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ไซโคลนสามารถดักเก็บอนุภาคที่ช่วงขนาดของอนุภาค เท่ากับ 24.85 ไมครอน ได้มากกว่า 50% ของปริมาณอนุภาคทั้งหมด และใช้กำลังของมอเตอร์ขับพัดลมเท่ากับ 0.987 กิโลวัตต์

ส่วนการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สเท่ากับ 0.568 กิโลกรัม/ วินาที อุณหภูมิขาเข้าเฉลี่ยเท่ากับ 334.2°C ก็เป็นค่าที่ไซโคลนสามารถดักเก็บอนุภาคได้ดีที่สุดเช่นกันหรือคิดเป็นประสิทธิภาพการทำงานได้ 91.22% โดยมีความดันสูญเสียในไซโคลนเฉลี่ยเท่ากับ 26.3 มิลลิเมตรของน้ำ หรือ 214.74 กิโลปาสคาล มีความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สก่อนปล่อยสู่บรรยากาศเท่ากับ 0.147 มิลลิกรัม/ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งก็อยู่ในพิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเช่นเดียวกัน ไซโคลนนี้สามารถดักเก็บอนุภาคที่ช่วงขนาดของอนุภาค เท่ากับ 24.6 ไมครอน ได้มากกว่า 50% ของปริมาณอนุภาคทั้งหมด และใช้กำลังของมอเตอร์ขับพัดลมเท่ากับ 0.936 กิโลวัตต์

ผลที่ได้จากผลการทดลองครั้งนี้จะเห็นได้ว่า จุดที่ระบบสามารถทำงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด คือ ที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 0.554 กิโลกรัม/ วินาที สำหรับการเผามูลฝอยประเภทใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง และที่ค่าอัตราการไหลเชิงมวลเท่ากับ 0.568 กิโลกรัม/ วินาที สำหรับการเผามูลฝอยประเภทกระดาษ แต่ในขณะเดียวกันที่ทุก ๆ ค่าอัตราการไหลเชิงมวลระบบไซโคลนนี้ก็สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน โดยที่ทุกสภาวะของการทดลองแก๊สที่ปล่อยสู่บรรยากาศจะมีค่าความหนาแน่นของอนุภาคในแก๊สไม่เกินพิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ ตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติในราชกิจจานุเบกษาทั้งสิ้น

ตารางที่ 6.1 แสดงผลสรุปข้อมูลสมรรถนะของไซโคลนเปรียบเทียบระหว่างสมรรถนะตามสมมติฐานกับสมรรถนะที่ได้จากการทดลอง

ประเภทของมูลฝอย	ตำแหน่ง flow area; (%)	mass flow rate; (kg/ s)	อุณหภูมิเฉลี่ยขาเข้าไซโคลน; (C)	อุณหภูมิเฉลี่ยก่อนปล่อยสู่ atm; (C)	overall efficiency; (%) (experiment result)	overall efficiency; (%) (estimated result)
ใบไม้แห้ง, กิ่งไม้แห้ง	100	0.866	224.5	154.2	89.07	90.50
	80	0.722	243.5	171.4	82.15	84.70
	60	0.554	335.4	246.8	94.27	96.34
	40	0.487	346.2	264.5	87.12	91.24
	20	0.399	377.2	286.7	85.33	92.06
กระดาษ	100	0.711	294.2	228.8	88.26	91.79
	80	0.624	310.6	266.7	78.88	87.16
	60	0.568	334.2	276.5	91.22	96.26
	40	0.536	350.0	293.1	83.73	90.82
	20	0.476	376.1	322.8	80.96	91.08

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 จากผลของการทดลองจะสังเกตได้ว่า ความดันตกคร่อมที่ตัวไซโคลนมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการออกแบบมาก อาจจะเกิดจากในการออกแบบมีการเลือกพิจารณาค่าความเร็วจับ (capture velocity) และค่าความเร็วภายในท่อก่อนทางเข้าไซโคลนสูงกว่าจุดทำงานมากเกินไป

6.2.2 การออกแบบที่อัตราการไหลสูง ๆ จะมีผลทำให้ความเร็วที่ท่อทางออกมีค่าสูง อาจจะดึงเอาอนุภาคปะปนกับแก๊สขึ้นมาทำให้ไซโคลนไม่สามารถดักเก็บอนุภาคได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งถ้าความเร็วที่ทางออกลดลงจะทำให้การดักเก็บอนุภาคของไซโคลนดีขึ้นกว่านี้

6.2.3 การออกแบบสัดส่วนของตัวไซโคลน, ระบบท่อ และเตาเผามูลฝอย อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาค เนื่องจากในการออกแบบครั้งนี้ได้อาศัยสมมติฐานการออกแบบตามมาตรฐานของ Stairmand เท่านั้น อีกทั้งข้อมูลอ้างอิงในการศึกษาที่ผ่านมายังไม่เป็นที่เปิดเผย ดังนั้นหากสามารถหาสัดส่วนของไซโคลนและระบบทั้งหมดของไซโคลนที่เหมาะสมก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการดักเก็บอนุภาคสูงขึ้น

6.2.4 อนุภาคตัวอย่างที่เลือกนำมาทดสอบหาสมรรถนะของไซโคลนอาจเกิดการแตกของอนุภาคหรอถูกขัดสีให้มีขนาดเล็กลง เนื่องจากแรงปะทะจากการป้อนอนุภาคที่ความเร็วสูง ทำให้ข้อมูลของอนุภาคตัวอย่างบางขนาดไม่เป็นตัวแทนของข้อมูลที่แท้จริง ดังนั้นในขณะที่ทำการทดลองจริงเมื่อนำขนาดของอนุภาคที่ไซโคลนดักเก็บได้ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับอนุภาคตัวอย่าง จึงทำให้ข้อมูลขนาดของอนุภาคและสมรรถนะของไซโคลนอาจมีการคลาดเคลื่อนไป

6.2.5 ในการออกแบบและการดำเนินการสร้างไซโคลนต้องมีการระวังในการม้วนแผ่นโลหะและบริเวณรอยเชื่อมต่อของตัวไซโคลนให้ดี เพราะอาจทำให้เกิดรอยรั่วได้

6.2.6 สำหรับโบลเวอร์ที่ใช้ในการดูดแก๊สต้องออกแบบให้สามารถดูดแก๊สได้ด้วยความเร็วและความดันสูงพอ จึงจำเป็นต้องติดตั้งมอเตอร์ 3 เฟส ขนาดใหญ่ที่มีค่าประสิทธิภาพในขณะใช้งานสูงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ดังนั้นถ้ามีการออกแบบสัดส่วนต่าง ๆ ของระบบที่เหมาะสมกว่านี้ ก็อาจจะใช้โบลเวอร์ที่มีขนาดมอเตอร์น้อยกว่า 3 แรงม้า ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้

อย่างไรก็ตามไซโคลนที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้รับการออกแบบให้ใช้งานที่ความเร็วสูง ซึ่งความเร็วในการดูดแก๊สที่ทางเข้าของไซโคลนสูงถึง 29.0 เมตร/ วินาที จึงน่าจะเป็นปัจจัยที่สามารถชดเชยการเพิ่มสมรรถนะได้อย่างหนึ่ง ส่วนการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงถ้าได้รับการดัดแปลงโดยการติดตั้งหัวฉีดแบบฝนโปรย (Spray Nozzle) ที่บริเวณทางออกของไซโคลนก่อนปล่อยแก๊สนั้นออกสู่บรรยากาศหรือติดตั้งไซโคลนต่อกับอุปกรณ์ลดปริมาณอนุภาคชนิดอื่น เช่น Spray Tower เป็นต้น ก็จะช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบให้สูงขึ้นได้และยังช่วยป้องกันการเกิดการฟุ้งกระจายของอนุภาคเล็ก ๆ ได้ดีอีกด้วย