KKU Res J. 2011; 16(7): 802-812
http://resjournal.kku.ac.th

การพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก

Development of Cyclone Scrubber for Small Waste Incinerator

*อภิชาต ศุภจรรยารักษ์ และสุดจิต ครุจิต**
*Apichart Supajunyarak and Sudjit Karuchit**

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
**Correspondent author: sudjit@sut.ac.th*

Received July 4, 2011
Accepted August 26, 2011

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ออกแบบ และทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสครับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก โดยประกอบด้วยไซโคลนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. และท่อสครับเบอร์ที่มีการติดตั้งหัวฉีด แบบ axial-flow สามารถฉีดละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน ท่อสครับเบอร์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 15 ซม. และ 7.5 ซม. อัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที และอัตราการฉีดน้ำที่ 3 และ 8 ลิตรต่อนาที ผลการทดสอบได้ประสิทธิภาพการบำบัดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33 ถึง 72 ประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7 ถึง 85 และในภาพรวมกล่าวได้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าในกรณีที่ใช้ค่า L/G ratio สูง ขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์ต่ำ หรือการฉีดละอองน้ำเป็นแบบสวนกระแสอากาศ แต่หลายกรณีไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าไซโคลนปกติ คือ ร้อยละ 72 และ 43 ตามลำดับ

Abstract

This study designed and tested the efficiency of a cyclone scrubber for small waste incinerators. The system consisted of a cyclone, 30 cm. in diameter and 120 cm. in height, and a scrubber tube fitted with an axial-flow nozzle capable of producing 300-500 μm diameter droplets. The scrubber tubes had two sizes: 15 and 7.5 cm diameter. The air flow rate was 12 m^3/min. The liquid flow rate was 3 and 8 lpm. The test results showed the system's collection efficiency of 33% to 72% for particle and 7% to 85% for carbon monoxide. Overall, higher efficiencies occurred in cases which have high L/G ratio, low cross-section area scrubber tube, or counter-current water injection. The differences in efficiency, however, were not statistically significant at $\alpha = 0.05$ in several cases. In addition, the cyclone scrubber removed particles better than the normal cyclone, with 72% and 43% efficiency, respectively.

คำสำคัญ: ไซโคลนสครับเบอร์ เตาเผามูลฝอย มลพิษอากาศ
Keywords: cyclone scrubber, waste incinerator, air pollution

1. บทนำ

จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ระหว่างปี 2548-2551 พบว่ามีปริมาณมูลฝอยชุมชนทั่วประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ การกำจัดมูลฝอยด้วยเตาเผาขนาดเล็กเป็นวิธีหนึ่งที่มีการใช้ในชุมชน โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีสถานกำจัดมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาล และแม้ว่าวิธีการเผาจะสามารถลดปริมาณมูลฝอยลงได้ถึงประมาณร้อยละ 90 แต่เตาเผาส่วนใหญ่มักประสบปัญหาการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ และขาดระบบบำบัดมลพิษอากาศที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ หากพิจารณาแล้วจะพบว่ามีเครื่องควบคุมมลพิษอากาศที่เหมาะสม 2 กลุ่มหลัก คือ ไซโคลน และสครับเบอร์ โดยไซโคลน มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน การเดินระบบง่าย การดูแลรักษาต่ำ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิของกระแสอากาศสูงได้ แต่มีข้อจำกัดในการบำบัดมลพิษก๊าซ และการกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก ส่วนสครับเบอร์ สามารถกำจัดทั้งอนุภาค และก๊าซได้พร้อมกัน ใช้กับกระแสอากาศที่มีอุณหภูมิสูงได้ แต่ก็มีข้อจำกัดในกรณีที่มีตัวกลางอาจเกิดการอุดตันในชั้นตัวกลาง และเกิดความดันสูญเสียสูงในกรณีที่เป็นสครับเบอร์แบบเวนทูรี่ (1)

จากข้อมูล และเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบบำบัดมลพิษอากาศแบบไซโคลนสครับเบอร์ ซึ่งเป็นการรวมข้อดีของทั้ง 2 ระบบที่กล่าวมาเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถบำบัดมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอยได้ทั้งประเภทอนุภาค และก๊าซได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจากการค้นคว้าเอกสารพบว่ามีผลการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์จำนวนหนึ่ง ได้แก่ Lee, Jung, and Park (2); Meikap and Biswas (3); Yang and Yoshida (4) Visuti (5) และ Porncharoen (6) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ไซโคลนสครับเบอร์ส่วนใหญ่มีการออกแบบระบบที่ซับซ้อน และทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เป้าหมายของงานวิจัยนี้จึงเป็นการพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์ ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานจริงกับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก และทำการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

การวิจัยนี้ใช้เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กที่พัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี คือ เตาอัตตาหิฯ (7) เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เมตร สูง 2.6 เมตร มีปริมาตรห้องเผา 0.945 ลบ.ม. อุณหภูมิภายในเตาเผาสูงสุดเฉลี่ย 1,100 องศาเซลเซียส อัตราการเผาไหม้ประมาณ 1,500 กก.ต่อวัน การเก็บตัวอย่างอนุภาคใช้วิธีเทียบเคียงวิธีที่ 5 (method 5) ขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S.EPA) โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นชนิด flex sampling train system (RIGID) และการตรวจวัดความเข้มข้นของมลพิษก๊าซใช้อุปกรณ์วิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซไอเสีย (Flue Gas Analyzer) Testo-350XL

2.2 วิธีการศึกษา

การวิจัยแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบและก่อสร้างไซโคลนสครับเบอร์ โดยเริ่มจากการหาองค์ประกอบมูลฝอยที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยด้วยวิธี quartering และหาองค์ประกอบทางเคมีโดยอ้างอิงจากค่า ultimate composition ของมูลฝอยชุมชน (8) การคำนวณปริมาณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ของมูลฝอย โดยสมการที่ 1 ใช้คำนวณปริมาณอากาศที่จำเป็นต่อการเผาไหม้ในกรณีของเชื้อเพลิงแข็งทางทฤษฎี (9)

$$A_o = 8.89C + 26.7(H - \frac{O}{8}) + 3.3S \quad \text{.....[1]}$$

เมื่อ

A_o = ปริมาณอากาศตามทฤษฎี (ลบ.ม.ต่อ กก.)

C = ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

H = ปริมาณไฮโดรเจนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

O = ปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

S = ปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงแข็ง 1 กก.

การวิจัยส่วนที่สอง เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์โดยใช้ปัจจัยทดสอบ 3 ปัจจัย ได้แก่ ค่าอัตราส่วนระหว่างอัตราไหลของน้ำและก๊าซ หรือค่า L/G ratio ขนาดหน้าตัดท่อ สครับเบอร์ และทิศทางการฉีดน้ำ โดยพิจารณาผลของปัจจัยต่อประสิทธิภาพในการกำจัดมลพิษอากาศ 4 ประเภทที่เกิดจากเตาเผามูลฝอย ได้แก่ อนุภาคฝุ่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยแจกแจงออกได้ทั้งหมด 9 สภาวะ ดังตารางที่ 1 โดยใช้น้ำประปาสำหรับฉีดในไซโคลนสครับเบอร์โดยไม่มีการหมุนเวียนกลับมาใช้ซ้ำ ในการทดสอบแต่ละสภาวะมีการจัดมูลฝอยจริงให้มีองค์ประกอบคงที่ตามที่ได้ศึกษาไว้ ทำการป้อนมูลฝอยเข้าสู่เตาเผาในอัตราคงที่ประมาณ 2.4 กก.ต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิในเตาเผามูลฝอยให้อยู่ในช่วง 600-800 องศาเซลเซียส เพื่อให้มลพิษที่เกิดขึ้นมีความแปรปรวนน้อยที่สุดตลอดการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างมลพิษอากาศทั้งก่อน และหลังผ่านไซโคลนสครับเบอร์เป็นจำนวนสภาวะละ 5 ครั้ง และควบคุมคุณภาพของข้อมูลผลการตรวจวัดมลพิษอากาศโดยตัดข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำผิดปกติ (Outlier) ด้วยวิธี Confidence intervals ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การหาสัดส่วนของมูลฝอยที่เผาไหม้ได้

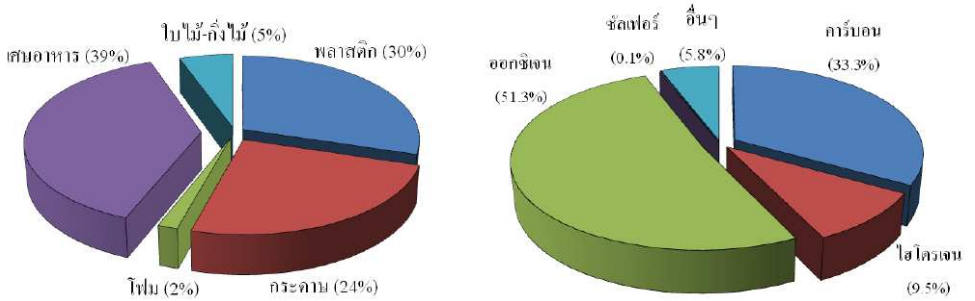
การสุ่มตัวอย่างมูลฝอยที่เกิดขึ้นแต่ละวันภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีระหว่างวันที่ 11-21 ม.ค. 2553 เป็นเวลา 7 วัน โดยมีการคัดแยกมูลฝอยส่วนที่นำกลับมาใช้ใหม่ เช่น โลหะ แก้ว ขวดพลาสติก กระดาษ เป็นต้น และมูลฝอยส่วนที่ไม่สามารถเผาได้ เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดไฟ กระเบื้อง เปลือกหอย ออกให้เหลือเฉพาะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้ โดยจำแนกออกเป็น พลาสติก เศษกระดาษ โฟม เศษอาหาร และใบไม้-กิ่งไม้ รูปที่ 1ก. แสดงสัดส่วนของมูลฝอยเปียก และรูปที่ 1ข. แสดงสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยเปียก

3.2 การหาความต้องการอากาศในการเผาไหม้

การคำนวณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ทางทฤษฎีของเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก โดยใช้สมการที่ 1 จากองค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยแห้ง และปริมาณความชื้นของมูลฝอยในรูปองค์ประกอบทางเคมี ได้ค่าความต้องการอากาศในการเผาไหม้ตามทฤษฎีของมูลฝอย เท่ากับ 3.80

ตารางที่ 1. สภาวะในการทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสครับเบอร์

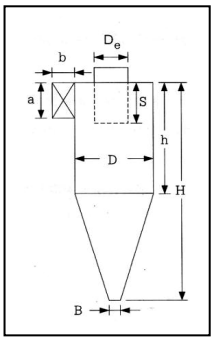
สภาวะที่	ค่า L/G ratio (ลิตร ต่อ ลบ.ม.)	หน้าตัดของท่อ	ทิศทางการฉีดน้ำ
1	ไม่ฉีดน้ำ	ปกติ	-
2	0.27	ปกติ	ตามกระแสอากาศ
3	0.67	ปกติ	ตามกระแสอากาศ
4	0.27	ปกติ	สวนกระแสอากาศ
5	0.67	ปกติ	สวนกระแสอากาศ
6	0.27	เล็กลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ
7	0.67	เล็กลงร้อยละ 50	ตามกระแสอากาศ
8	0.27	เล็กลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ
9	0.67	เล็กลงร้อยละ 50	สวนกระแสอากาศ



ก. สัดส่วนมูลฝอยเปียก (ร้อยละ โดยน้ำหนัก) ข.สัดส่วนทางเคมีของมูลฝอยเปียก (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)

รูปที่ 1. สัดส่วนมูลฝอยที่เผาไหม้ได้ และองค์ประกอบทางเคมี

ตารางที่ 2. สัดส่วนของไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูงที่ออกแบบ



ขนาด	สัดส่วนไซโคลนประสิทธิภาพสูง	ขนาดของไซโคลน (ซม.)
D	1.0	30.00
a	0.5D	15.00
b	0.2D	6.00
S	0.5D	15.00
D_e	0.5D	15.00
h	1.5D	45.00
H	4.0D	120.00
B	0.375D	11.25

ลบ.ม.ต่อ กก. แต่ปริมาณความต้องการอากาศในการเผาไหม้ที่ใช้จริงนั้น ต้องเผื่อปริมาณอัตราส่วนอากาศส่วนเกิน อีกร้อยละ 45 (9) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดในกลุ่มที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง ดังนั้นจะได้ปริมาณอากาศที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก คือ 5.50 ลบ.ม.ต่อ กก. หากคิดอัตราการเผาไหม้ มูลฝอยที่ 130 กก.ต่อชั่วโมง หรือร้อยละ 70 ของความสามารถเตาเผา สามารถคำนวณอัตราความต้องการอากาศเข้าสู่เตาเผามูลฝอยขนาดเล็กที่ได้ประมาณ 12 ลบ.ม.ต่อนาที

3.3 การออกแบบไซโคลน

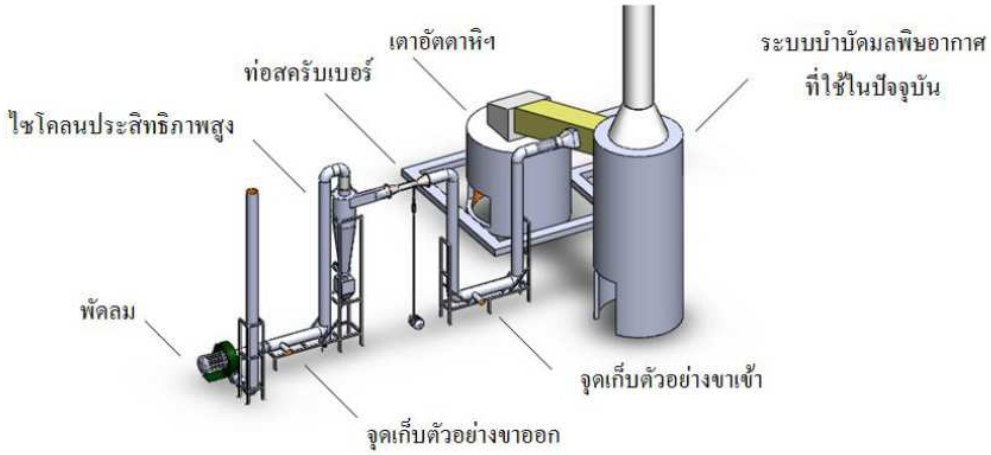
การศึกษานี้เลือกใช้ไซโคลนชนิดประสิทธิภาพสูง (10) ซึ่งสามารถจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กถึง 5 ไมครอนได้ (9) การออกแบบกำหนดอัตราการไหลของอากาศ 12 ลบ.ม.ต่อนาที และความเร็วต่ำสุดที่เข้าสู่ไซโคลน 20 เมตรต่อวินาที (11) จะได้ขนาดพื้นที่ท่อทางเข้าของไซโคลนเป็น 0.01 ตร.ม. และสามารถคำนวณขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของไซโคลนได้เป็น 31.62 ซม. ในการออกแบบครั้งนี้เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. เพื่อให้สะดวกในการออกแบบและก่อสร้าง จากนั้นจึงนำขนาดดังกล่าวมาคำนวณสัดส่วนต่าง ๆ ของไซโคลนดังการคำนวณในตารางที่ 2

3.4 การออกแบบสครับเบอร์

สครับเบอร์เป็นท่อช่วงหนึ่งที่ต่อกับท่อทางเข้าของไซโคลนโดยมีหัวฉีดชนิด axial-flow full cone nozzles Series 460.804.30 ขนาด 3/8 นิ้ว ทำจากทองเหลือง ติดตั้งอยู่กลางท่อ สามารถฉีดละอองน้ำกระจายเต็มหน้าตัดท่อ ที่อัตราการ

ก. ท่อสครับเบอร์หน้าตัดปกติ ข. ท่อสครับเบอร์หน้าตัดลดลงร้อยละ 50

รูปที่ 2. ลักษณะท่อสครับเบอร์



รูปที่ 3. ไซโคลนสครับเบอร์

ไหลของน้ำที่ 3-8 ลิตรต่อนาที และความดัน 2 บาร์ ให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำที่ 458-604 ไมครอน และทนอุณหภูมิประมาณ 600-800 องศาเซลเซียสได้ การออกแบบแบ่งท่อสครับเบอร์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ท่อพื้นที่หน้าตัดปกติ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 15 ซม. ตลอดทั้งเส้นท่อ ยาว 60 ซม.ดังแสดงรูปที่ 2ก. และท่อสครับเบอร์พื้นที่หน้าตัดลดลงร้อยละ 50 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อบริเวณท่อลด 7.5 ซม. ยาว 30 ซม. และส่วนปลายท่อทั้ง 2 ด้าน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. ยาวด้านละ 15 ซม.ดังแสดงในรูปที่ 2ข.

3.5 การออกแบบระบบท่อ

การออกแบบระบบท่อ กำหนดความเร็วของอากาศต่ำสุดในท่อ 13 เมตรต่อวินาที (11) และอัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที ทำให้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 15 ซม. การออกแบบความยาวท่อเพื่อลดความแปรปรวนของกระแสอากาศในขณะตรวจวัดมลพิษอากาศ ใช้เกณฑ์การกำหนดจุดตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ (12) โดยจุดเจาะปล่องอยู่ปลายทางการไหลของอากาศ 70 ซม. หรือ 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และอยู่ต้นทางการไหลของอากาศ 30 ซม. หรือ 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

3.6 การสร้างและติดตั้งไซโคลนสครับเบอร์

ไซโคลนสครับเบอร์ที่ได้จากการออกแบบข้างต้นแสดงดังรูปที่ 3 การก่อสร้างเลือกใช้วัสดุเป็น สเตนเลส 304 เพื่อป้องกันการเกิดสนิม การคำนวณความดันสูญเสียของระบบด้วยวิธีความดันเคลื่อนที่ (velocity pressure method) ได้ค่าความดันสูญเสียของไซโคลนสครับเบอร์เท่ากับ 2,182 ปาสคาล หรือ 221 มม. น้ำ จึงเลือกพัดลมขนาด 2 แรงม้า ให้อัตราการไหลของอากาศ 26 ลบ.ม. ต่อนาที และความดันที่ 225 มม. น้ำ

ตารางที่ 3. ค่าประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศที่สภาวะต่างๆ

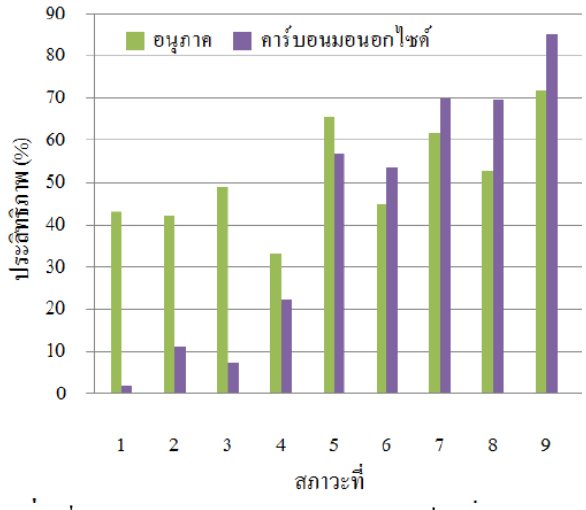
สภาวะที่	จุดตรวจวัด	ความเข้มข้นอนุภาค (มก.ต่อลบ.ม.)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)	ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ประสิทธิภาพ (ร้อยละ)
1	เข้า	297	43	1219	2
	ออก	169		1194	
2	เข้า	337	42	1535	11
	ออก	195		1366	
3	เข้า	337	49	1535	7
	ออก	172		1422	
4	เข้า	264	33	1353	22
	ออก	176		1053	
5	เข้า	264	65	1353	57
	ออก	91		582	
6	เข้า	278	45	2332	54
	ออก	153		1079	
7	เข้า	278	62	2332	70
	ออก	106		703	
8	เข้า	325	53	3586	69
	ออก	154		1096	
9	เข้า	325	72	3586	85
	ออก	91		527	

3.7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์

ผลการตรวจวัดพบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์น้อยมาก หรือไม่สามารถตรวจพบได้ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า (13) ทั้งนี้เพราะมูลฝอยมีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่น้อยมาก คือ ร้อยละ 0.1 และผลการตรวจวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก่อนและหลังผ่านไซโคลนสครับเบอร์ มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้ เนื่องจากก๊าซชนิดนี้สามารถละลายน้ำได้น้อย และการควบคุมในทางทฤษฎีต้องทำโดยการลดอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ และ/หรือ การลดปริมาณออกซิเจนในการเผาไหม้ ดังนั้นจึงนำเสนอผลการศึกษาเฉพาะประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 3 และรูปที่ 4

3.8 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์

หลักการทำงานของไซโคลนสครับเบอร์เริ่มจากการฉีดน้ำบริเวณท่อสครับเบอร์ เพื่อให้เกิดการกระจายของหยดน้ำขนาดเล็กทั่วพื้นที่หน้าตัดท่อ อนุภาคฝุ่นละอองจะถูกจับไว้ในหยดน้ำด้วยกลไกหลักคือการชน (impaction) และการสกัดกั้น (interception) จากนั้นละอองน้ำที่มีอนุภาคสะสม จะถูกกำจัดออกจากกระแสอากาศเมื่อเข้าสู่ไซโคลนโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) ส่วนการบำบัดมลพิษประเภทก๊าซเกิดจากกลไกการดูดกลืน (absorption) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการสัมผัสของก๊าซและน้ำตลอดเวลาที่อยู่ในระบบ จากค่าประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศทั้ง 9 สภาวะนั้น นำมาทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคและก๊าซของไซโคลนสครับเบอร์ รวมทั้งการ



รูปที่ 4. ประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์ที่สภาวะต่างๆ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนปกติกับไซโคลนสครับเบอร์ โดยทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศ 3 วิธี คือ 1) การเปรียบเทียบค่าจากการทดลองในเชิงพรรณนา 2) การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยวิธี T-Test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สมมติฐานแบบ Parametric และ 3) การเปรียบเทียบทางสถิติด้วยวิธี Mann-Whitney test ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้สมมติฐานแบบ non-parametric โดยมีผลการวิเคราะห์ดังนี้

3.8.1 ค่า L/G ratio

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคเฉลี่ย กรณีค่า L/G ratio ที่ 0.27 (สภาวะที่ 2, 4, 6 และ 8) และ 0.67 (สภาวะที่ 3, 5, 7 และ 9) ลิตรต่อลบ.ม. คือ ร้อยละ 43 และ 62 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากรณี L/G ratio สูง มีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณี L/G ratio ต่ำ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมายทางทฤษฎี ทั้งนี้เพราะจำนวนหยดน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้โอกาสในการจับอนุภาคเพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ากรณี L/G ratio สูง มีประสิทธิภาพสูงกว่ากรณี L/G ratio ต่ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่ทบทวนมา (2, 6)

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีที่ L/G ratio 0.27 และ 0.67 ลิตรต่อลบ.ม. คือ ร้อยละ 39 และ 55 ตามลำดับ เห็นได้ว่า กรณี L/G ratio สูงให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณี L/G ratio ต่ำเช่นกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการดูดกลืนที่กล่าวว่าอัตราการดูดกลืนแปรผันกับผลต่างของความเข้มข้นของก๊าซในอากาศและในน้ำ ดังนั้นเมื่อใช้น้ำมากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ในน้ำต่ำลง อัตราการดูดกลืนจึงสูงขึ้น และได้ประสิทธิภาพดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

3.8.2 ปัจจัยขนาดหน้าตัดของท่อสครับเบอร์

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคกรณีหน้าตัดท่อ 15 (สภาวะที่ 2-5) และ 7.5 ซม. (สภาวะที่ 6-9) คือ ร้อยละ 48 และ 58 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากรณีขนาดหน้าตัดของท่อสครับเบอร์มีขนาดเล็กให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสูงกว่ากรณีขนาดหน้าตัดของท่อสครับเบอร์มีขนาดใหญ่ซึ่ง

เป็นไปตามที่คาดหมายทางทฤษฎี เนื่องจากหน้าตัดท่อที่เล็กลงทำให้ความเร็วก๊าซเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดความปั่นป่วน และการชนของอนุภาค และหยดน้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีหน้าตัดท่อ 15 และ 7.5 ซม. คือ ร้อยละ 24 และ 70 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กรณีขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์ เล็ก ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์ ใหญ่อย่างชัดเจน ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการสัมผัสระหว่างน้ำและก๊าซเกิดขึ้นในท่อขนาดเล็กดีกว่าในท่อขนาดใหญ่ และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างโดยใช้ T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าความแตกต่างดังกล่าวมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.8.3 ปัจจัยทิศทางการฉีดน้ำ

ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค กรณีฉีดน้ำตามกระแสอากาศ (สภาวะที่ 2, 3, 6 และ 7) และกรณีฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ (สภาวะที่ 4, 5, 8 และ 9) คือ ร้อยละ 50 และ 56 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กรณีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีการฉีดน้ำตามกระแสอากาศซึ่งเป็นไปในแนวทางที่คาดหมายไว้ เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ของก๊าซและหยดน้ำสูงขึ้นทำให้ความปั่นป่วนและโอกาสในการชนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ กรณีฉีดน้ำตามกระแสอากาศ และฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ คือ ร้อยละ 35 และ 58 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า กรณีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศ ให้ประสิทธิภาพสูงกว่ากรณีการฉีดน้ำตามกระแสอากาศ แต่เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่ายังไม่สามารถสรุปว่ามีความแตกต่างได้ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด

จากผลประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษอากาศของไซโคลนสครับเบอร์ จะเห็นได้ว่าสภาวะที่ 9 เป็นสภาวะที่ดีที่สุด คือ มีค่า L/G ratio 0.67 ลิตรต่อ ลบ.ม. หรืออัตราการใช้น้ำที่ 8 ลิตรต่อนาที มีการฉีดน้ำสวนกระแสอากาศผ่านท่อสครับเบอร์ขนาดหน้าตัด 7.5 ซม. โดยให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ ร้อยละ 72 และ 85 ตามลำดับ ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ปล่อยออกอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยขนาด 1-50 ตันต่อวัน คือ ไม่เกิน 320 มิลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้ ในการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ กล่าวได้ว่าส่วนใหญ่มีการใช้แหล่งกำเนิดมลพิษเป็นเถ้าลอย และทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ส่วนไซโคลนสครับสครับเบอร์ที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้มูลฝอยที่เกิดขึ้นจริงและทำในขนาดใช้งานจริง จึงมีข้อจำกัดในการควบคุมองค์ประกอบมูลฝอยและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ให้คงที่ได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งมีผลกับประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษอากาศที่น้อยกว่างานวิจัยอื่น อย่างไรก็ตาม ไซโคลนสครับเบอร์ที่ได้ออกแบบมานั้นมีค่า L/G ratio น้อยกว่ามาก เมื่อเทียบกับ Porncharoen (6); Lee, Jung, and Park (2) และการสร้างที่ไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับ Yang and Yoshida (4) ซึ่งเป็นระบบที่มีขนาดเล็กมาก และต้องอาศัยปั๊มลมช่วยในการฉีดน้ำให้มีลักษณะเป็นหมอก

3.8.4 การเปรียบเทียบไซโคลนปกติกับไซโคลนสครับเบอร์

การเปรียบเทียบเฉพาะประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่างไซโคลนซึ่งไม่มีการฉีดน้ำ (สภาวะที่ 1) กับไซโคลนสครับเบอร์ (สภาวะที่ 9) ได้ค่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาค เท่ากับ ร้อยละ 43 และ 72 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ไซโคลน

สครับเบอร์ในสภาวะที่ 9 มีการออกแบบและเดินระบบที่เหมาะสมกว่า จึงให้ประสิทธิภาพสูงกว่าไซโคลนปกติในสภาวะที่ 1 ซึ่งเป็นไปตามที่คาดหมายในทางทฤษฎีและสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น (4) และเมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าไซโคลน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.8.5 การเปรียบเทียบระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันกับไซโคลนสครับเบอร์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่างระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นระบบบำบัดมลพิษอากาศชนิดหอพ่นน้ำ (spray tower) มีขนาดหน้าตัดท่อที่ 40 ซม. มีหัวฉีดน้ำชนิด Full Cone Nozzles ขนาด 3/8 นิ้ว จำนวน 2 หัว โดยมีอัตราการใช้น้ำที่ 28 ลิตรต่อนาที หรืออัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออากาศที่ 0.47 ลิตรต่อลบ.ม.กับไซโคลนสครับเบอร์ (สภาวะที่ 9) โดยให้ประสิทธิภาพการจำกัดอนุภาคที่ ร้อยละ 69 และ 72 ตามลำดับ ซึ่งไซโคลนสครับเบอร์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคสูงกว่าระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันเล็กน้อย เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติโดยใช้วิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนสครับเบอร์ไม่แตกต่างกับระบบบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้สาเหตุหนึ่งคาดว่าเป็นผลจากระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีลักษณะการป้อนอากาศโดยใช้พัดลมชนิดเป่าอากาศที่ติดตั้งหัวจ่ายอากาศบริเวณใต้เตาเผามูลฝอย จึงเกิดการปั่นป่วน และฟุ้งกระจายของอากาศ ทำให้เถ้าที่ตกค้างอยู่ ลอยตัวตามกระแสอากาศไป ซึ่งเถ้าดังกล่าวเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ สามารถกำจัดได้ง่าย แต่ไซโคลนสครับเบอร์ใช้พัดลมชนิดดูดอากาศ ติดตั้งบริเวณส่วนปลายของไซโคลนสครับเบอร์ ทำให้เกิดการปั่นป่วนและฟุ้งกระจายของอากาศน้อยกว่า จึงมีเพียงอนุภาคจากการเผาไหม้ซึ่งมีอนุภาคขนาดเล็ก และกำจัดได้ยากกว่า จึงเป็นข้อจำกัดในการแปลผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคระหว่าง 2 สภาวะนี้

ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบัน คือ ร้อยละ 18 เมื่อเปรียบเทียบกับไซโคลนสครับเบอร์นั้น จะเห็นได้ว่ามีประสิทธิภาพน้อยกว่า คือ ร้อยละ 85 เมื่อนำมาพิจารณาเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี T-test และวิธี Mann-Whitney test พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าระบบบำบัดมลพิษอากาศที่ใช้ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการตรวจวัดมลพิษอากาศนั้นจะเห็นได้ว่ายังมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลอยู่พอสมควร ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาขั้นต่อไปคือการเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการตรวจวัดให้มากขึ้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างทางสถิติอย่างชัดเจน และสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมได้ละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากนั้น หากมีการตรวจวัดอนุภาคแบ่งเป็นช่วงขนาด จะสามารถทราบถึงประสิทธิภาพของไซโคลนสครับเบอร์ในการกำจัดอนุภาคแต่ละช่วงขนาดได้ และอาจศึกษาการนำความร้อนที่เกิดในห้องเผาไหม้ไปใช้ประโยชน์ เช่น ลดความชื้นของมูลฝอยก่อนเผา เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผามูลฝอยและลดมลพิษอากาศที่จะเกิดขึ้น

4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาไซโคลนสครับเบอร์ที่มีความเหมาะสมในการใช้ควบคุมมลพิษอากาศจากเตาเผามูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ ไซโคลนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. และท่อ

สครับเบอร์ที่มีหัวฉีด แบบ axial flow สามารถฉีดละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน อัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที ผลการทดสอบได้ประสิทธิภาพการบำบัดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33 ถึง 72 ประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอน มอนอกไซด์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7 ถึง 85 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซคาร์บอน มอนอกไซด์ และอนุภาค กล่าวโดยสรุปได้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อใช้ค่า L/G ratio สูง ใช้ขนาดหน้าตัดท่อสครับเบอร์ลดลง หรือใช้การฉีดละอองน้ำแบบสวนกระแสอากาศ ซึ่งสามารถนำค่าของปัจจัยที่ได้ไปใช้กับระบบที่ใช้งานจริงกับเตาเผามูลฝอยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมทั้งเตาเผาขนาดเล็กอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ในหลายกรณีไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ซึ่งอาจเนื่องมาจากจำนวนข้อมูลที่ตรวจวัดแต่ละสภาวะมีจำนวนน้อย และมีความแปรปรวนจากองค์ประกอบของมูลฝอยที่ใช้มูลฝอยจริงในการศึกษา และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนสครับเบอร์สูงกว่าไซโคลนแบบปกติซึ่งไม่มีการฉีดละอองน้ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก 3 แหล่งทุนภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ได้แก่ ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา ฝ่ายปรับแปลงและถ่ายทอดเทคโนโลยี เทคโนธานี และคณะทำงานโครงการจัดการวัสดุรีไซเคิลภายในมหาวิทยาลัย ธนาคารวัสดุรีไซเคิล ส่วนอาคารสถานที่ สำนักงานอธิการบดี

6. เอกสารอ้างอิง

(1) Theodore L, Buonicore AJ. Air pollution control equipment. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 1994

(2) Lee BK, Jung KR, Park SH. Development and application of a novel swirl cyclone scrubber-(1) experimental. Aerosol Sci. 2008; (39): 1079-88.

(3) Meikap BC, Biswas MN. Fly-ash removal efficiency in a modified multi-stage bubble column scrubber. Sep Purif Technol. 2004; (36): 177-90.

(4) Yang KS, Yoshida H. Effect of mist injection position on particle separation performance of cyclone scrubber. Sep Purif Technol. 2004; (37): 221-30.

(5) Visuti T. Development of cyclone scrubber for collecting dust from grinding wheel [MSc thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2004. Thai.

(6) Porncharoen S. Collection of fine particles by cyclonic scrubber [MSc thesis]. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2001. Thai.

(7) Suebnukarn A. Upgrading the capacity of a small scale solid waste incinerator. [MSc thesis]. Nakhonratchasima: Suranaree University of Technology; 2001. Thai.

(8) David HF, Bela G. Hazardous Waste and Solid Waste. New York: Lewis Publishers; 1999.

(9) Panich N, Panich S, Limpaseni W, Chongvisal V, Suardi V. Text book treatment of air pollution. Department of Industrial Works; 2004. Thai.

(10) Stairmand CJ. The design and performance of cyclone separators. Transactions of Industrial Chemical Engineers. 1951; (29).

(11) Nimman C. Dust disposal and ventilation system. 3rd ed. Technology Promotion Association Association (Thailand-Japan); 2005.Thai.

(12) Pollution Control Department. The air quality monitoring from stack manual (Version1); 2006

(13) Kosungnern L. Air and water pollution control from a small solid-waste incinerator. [MSc thesis]. Nakhonrat-chasima: Suranaree University of Technology; 2001. Thai.