การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองด้วยระบบบำบัดอากาศแบบเปียกสำหรับโรงสีข้าวชุมชน

A study on the efficiency of dust removal using a wet air scrubber treatment system on a local community rice mill

วีระ พันอินทร์[1*]

Weera Punin[1*]

[1*]สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 119 หมู่ 9 ถนนลำปาง-แม่ทะ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100 โทร (054) 237399 ต่อ 2306 โทรสาร (054) 241052 E-mail: weerapunin@lpru.ac.th

[1*]Department of Physics, Faculty of Science, Lampang Rajabhat University, 119 Moo 9 Lampang - Mae Tha Road, Muang District, Lampang, Thailand, 52100 Tel. +66 54 237399 ext. 2306 Fax. +66 54 241052 Email: weerapunin@lpru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองด้วยอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียกที่เหมาะสมสำหรับโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เพื่อช่วยลดปัญหาฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายในอากาศซึ่งเป็นปัญหามลพิษทางอากาศในเขตพื้นที่ชุมชน โดยทำการศึกษาค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองจากการสีข้าวของโรงสีข้าวชุมชน ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองจากการสีข้าวของโรงสีข้าวชุมชนพบว่าค่าความหนาแน่นฝุ่นละอองขณะเดินระบบสีข้าวมีค่า 1.12 mg/m^3 เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งค่ามาตรฐานฝุ่นละออง ณ จุดปล่อยกำหนดไว้ไม่เกิน 0.10 mg/m^3 ความเร็วลมในท่อระบายอากาศเสีย อัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมต่ออัตราการไหลของอากาศ รวมทั้งทำการออกแบบตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle นำข้อมูลที่ได้มาทำการออกแบบ สครับเบอร์แบบเปียกด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Scrubber design สครับเบอร์แบบเปียกที่ออกแบบมีพื้นที่หน้าตัดของตัวถังเท่ากับ 0.25 m^2 และความยาว 1.5 m ตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle ทำจากดินเบาเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำและฝุ่นดีที่สุด สามารถลดปริมาณฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการ สีข้าวของโรงสีข้าวชุมชนได้ถึงร้อยละ 91 ที่ระดับแรงดันของน้ำสเปรย์ 0.30 bar

คำสำคัญ : โรงสีข้าวชุมชน, สครับเบอร์แบบเปียก, ฝุ่นละออง, ตัวกลางดูดซึม

Abstract

This research study investigated the efficiency of a wet scrubber dust catcher that was able to be implemented in a community rice mill at Gardmek Village, Chompoo sub-district, Mueang district, Lampang province, to reduce airborne dust pollutants which were causing problems in the community, by studying the bulk density of dust from the community rice mill. The result of rice dust density while running the system was approximately 1.12 mg/m^3. The standard value of dust density at the release point was specified as being no more than 0.10 mg/m^3. In addition, other

parameters were investigated to evaluate the theoretical efficiency of the collecting system. These were the velocity in the air duct, the flow rate of water appropriate to the flow rate of air, and the design of the light clay ceramic berl saddle with its dust catching efficiency located inside the wet air scrubber. The scrubber design program was employed to create the data that was used in the scrubber design. The result of the designing and building of the wet air scrubber dust catcher suitable for community rice mills found the cross-section area of the barrel to be 0.25 m^2 and 1.5m in length. The ceramic berl saddle found that was produced at 900 degrees Celsius had the best water and dust absorbance. When the designed air scrubber was installed and tested at the community rice mill, it was found that the amount of flying dust in the mill was reduced by 91% with water at 3 bar of pressure.

Keywords : Community Rice Mill, wet scrubber, dust, ceramic berl saddle

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจหลักของประเทศ พื้นที่เพาะปลูกข้าวในปี 2558 มีประมาณ 61.18 ล้านไร่ ทำให้มีผลผลิต 26.58 ล้านตัน และผลผลิตต่อไร่ 434 กิโลกรัม (Charnpittaya Chim Pali, 2015) แนวโน้มพื้นที่เพาะปลูกข้าวรวมค่อนข้างคงที่แต่ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเป็นผลจากการขยายตัวของพื้นที่นาปรัง โดยเฉพาะการปรับเปลี่ยนพื้นที่นาน้ำท่วมซึ่งเดิมปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองมาปลูกข้าวพันธุ์ไวแสง สามารถปลูกได้สองครั้งต่อปีและทำให้มีผลผลิตสูงกว่าปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมือง จังหวัดลำปาง มีพื้นที่การปลูกข้าว 525,757 ไร่ กระจายทั้ง 13 อำเภอ (Chatree Bunnak, 2013) ภายหลังการเก็บเกี่ยวชาวนาจะนำข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้ไปสีเป็นข้าวสารที่โรงสีข้าวภายในพื้นที่ชุมชนเพื่อใช้สำหรับการบริโภคในครัวเรือนหรือในชุมชนนั้น ๆ แต่เนื่องจากลักษณะประกอบกิจการโรงสีข้าวชุมชนส่วนใหญ่เป็นแบบระบบเปิดขาดอุปกรณ์ควบคุมมลพิษอากาศจึงทำให้ถูกร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหาฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายออกมาจากขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการสีข้าวซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคนในชุมชนและชุมชนใกล้เคียง จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ ตำบลพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ซึ่งเป็นโรงสีข้าวระดับชุมชนขนาดเล็กมีปริมาณค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองเกินมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด (Pollution Control Department, 2015) ซึ่งกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้กำหนดค่ามาตรฐานความหนาแน่นของฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายออกจากการประกอบกิจการโรงสีข้าวต้องมีค่าความแตกต่างของความหนาแน่นฝุ่นละอองหรืออนุภาคขนาดเล็ก (PM_{10}) ระหว่างจุดตรวจวัดเหนือลมกับจุดตรวจวัดใต้ลมไม่เกิน 0.100 mg/m^3

การควบคุมและป้องกันฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายออกจากการประกอบกิจการโรงสีข้าวที่ดีและมีประสิทธิภาพ คือ การควบคุมที่แหล่งกำเนิด โดยติดตั้งอุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีการ เช่น การใช้ห้องตกตะกอน ไซโคลน การจับด้วยละออง การดักจับด้วยการกรอง รวมถึงการดักจับด้วยสนามไฟฟ้า (Pramote Cheowchan, 2009) ซึ่งแต่ละวิธีจะมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันไป อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการสร้างและติดตั้งระบบดังกล่าวนั้นค่อนข้างสูงแปรผันตาม

ประสิทธิภาพในการควบคุมของแต่ละอุปกรณ์ ลักษณะดังกล่าวจึงเป็นปัญหาสำหรับสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็กที่มีจำนวนเงินลงทุนในการประกอบกิจการไม่มากนัก ระบบบำบัดอากาศแบบเปียกหรือ Wet Scrubber มีประสิทธิภาพสูงในการเก็บกักอนุภาค ก๊าซ และไอเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ (Jin et al., 2006; Choi et al., 2007; Chandrasekara Pillai et al., 2009) โดยอาศัยหลักการทำงานแบบสัมผัสกันระหว่างอากาศเสียกับของเหลว ซึ่งก็คือน้ำ หรือสารละลายเคมี เริ่มจากอากาศเสียจะถูกดูดเข้าสครับเบอร์ แล้วผ่านชั้นตัวกลางแพ็คกิ้งมีเดีย (Packing Media) ซึ่งแพ็คกิ้งมีเดียนี้ จะทำหน้าที่เพิ่มพื้นผิวสัมผัสระหว่างอากาศเสียกับน้ำ ด้วยการฉีดพ่นละอองน้ำเพื่อดักจับฝุ่นละอองหรือสารปนเปื้อนที่มากับอากาศ ซึ่งมวลสารต่าง ๆ นี้ จะถูกดักจับด้วยน้ำ ทำให้ไม่สามารถหลุดออกไปสู่ภายนอกได้ (Meikap et al., 2002; Sarkar et al., 2007; Deshwal et al., 2008) ส่วนอากาศที่ผ่านการบำบัดภายในอุปกรณ์สครับเบอร์จะถูกพัดลมไฟเบอร์กลาสเพื่อปล่อยอากาศที่ดีออกทางปล่องอากาศต่อไป ระบบบำบัดอากาศแบบเปียกมีหลายชนิด เช่น สครับเบอร์แบบสเปรย์ สครับเบอร์แบบหอบรรจุ สครับเบอร์แบบถาด และสครับเบอร์แบบเวนทูรี เป็นต้น แต่ชนิดของสครับเบอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมนั้น คือ สครับเบอร์แบบหอบรรจุ ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพเก็บกักอนุภาคฝุ่นละอองร้อยละ 99 (Raj Mohan et al., 2009)

การควบคุมปัญหาฝุ่นละอองฟุ้งกระจายที่เกิดจากกระบวนการสีข้าว ผู้วิจัยทำการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียกสำหรับดักจับฝุ่นละอองด้วยละอองน้ำ ซึ่งประยุกต์ใช้วัสดุที่มีความทนทาน หาง่ายในชุมชน เพื่อเป็นการลดต้นทุน แล้วนำไปติดตั้งในโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ ตำบลพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองของอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียกสำหรับลดปัญหาฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าวสู่ชุมชนช่วยให้การประกอบกิจการโรงสีข้าวสามารถอยู่ร่วมกับชุมชนได้อย่างยั่งยืนโดยไม่สร้างปัญหาให้ประชาชนในชุมชน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับใช้เป็นฐานข้อมูลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียกสำหรับลดปัญหาฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการสีข้าวอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียก

2.2 เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียก

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

รายละเอียดขั้นตอนการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียก ตลอดจนการทดสอบประสิทธิภาพและการนำไปติดตั้งให้กับโรงสีข้าวชุมชนโดยมีการดำเนินงานที่สำคัญดังนี้

3.1 เก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่กระจายบริเวณโดยรอบโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ

การวัดและเก็บข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองที่กระจายบริเวณโดยรอบโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆก่อนและหลังทำการติดตั้งระบบควบคุมรวมทั้งอุปกรณ์ดักจับฝุ่นเพื่อแก้ปัญหาฝุ่นละอองที่แพร่กระจายจากโรงสีข้าวชุมชน

1) เครื่องมือการตรวจวัด

1.1) การตรวจวัดหาค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมหรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ใช้เครื่องมือตรวจวัดระบบกราวิเมตริก (Gravimetric) ชนิดไฮโวลุมเป็นการวัดค่าฝุ่นละอองโดยดูดอากาศผ่านกระดาษกรองตลอดช่วงการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง แล้วหาน้ำหนักฝุ่นละอองจากกระดาษกรองนั้น

1.2) แผ่นกระดาษกรองที่จะใช้กับเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายให้นำมาชั่งน้ำหนักและจดบันทึกไว้ก่อนและหลังการติดตั้งกับเครื่องมือตรวจวัด

2) การกำหนดตำแหน่งการวางเครื่องตรวจวัดเพื่อเก็บตัวอย่าง

2.1) ผู้วิจัยกำหนดจุดติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าวบริเวณเหนือลม และใต้ลม โดยเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายทั้งสองจุดต้องอยู่ในแนวระนาบเดียวกัน และเป็นจุดที่มีลมพัดผ่านบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าวนั้นมากที่สุด

2.2) ให้เครื่องมือตั้งอยู่ห่างจากขอบรั้วด้านในหรือขอบรั้วด้านนอกของโรงสีข้าวไม่เกิน 1 เมตร

3) การตรวจวัดทิศทางลม

3.1) การตรวจวัดทิศทางลมบริเวณเหนือและใต้โรงสีข้าวด้วยเครื่องวัดสภาพอุตุนิยมวิทยา

3.2) กำหนดให้ทิศทางลมที่พัดผ่านจุดติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าวบริเวณเหนือลมและใต้ลมต้องมีค่าการตรวจวัดสะสมในแนวเดียวกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ตลอดช่วงเวลาเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองฟุ้งกระจาย 5 ชั่วโมง หรือไม่ต่ำกว่า 290 นาที แต่ไม่เกิน 310 นาที

4) การวิเคราะห์ตัวอย่าง การคำนวณผลการตรวจวัด และการบันทึกผลการตรวจวัดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าว

การวิเคราะห์ตัวอย่าง และการคำนวณผลการตรวจวัด ให้คำนวณหาปริมาตรอากาศจากเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) โดยนำปริมาตรของฝุ่นละอองขนาดเล็กทั้งหมดที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมาปรับแก้ตามสภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดอากาศ 760 มิลลิเมตรปรอท บันทึกผลการตรวจวัดดำเนินการตามแบบบันทึกผลการตรวจวัดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าว

3.2 การพิจารณาระบบควบคุมฝุ่นละอองกระบวนการสีข้าว

จากผลการสำรวจกรรมวิธีการสีข้าวของโรงสีข้าวชุมชนพบว่า กระบวนการสีข้าวของโรงสีข้าวชุมชนกรณีศึกษานี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1) ขั้นตอนการทำความสะอาดข้าวเปลือกเป็นการทำความสะอาดแบบแห้งโดยใช้ตะแกรงร่อนเพื่อแยกสิ่งแปลกปลอม เช่น ฟาง เศษพืช ฝุ่น ผง กรวด และทราย ออกจากข้าวเปลือก

2) ขั้นตอนการกะเทาะเปลือกเป็นการแยกเอาเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งเรียกว่า แกลบ ออกจากเมล็ดข้าว ข้าวที่ได้จากขั้นตอนนี้ว่า ข้าวกล้อง ซึ่งยังมีเยื่อหุ้มเมล็ดและคัพภะติดอยู่

3) ขั้นตอนการขัดขาวและขัดมันเป็นการขัดชั้นรำ ซึ่งเป็นเยื่อหุ้มเมล็ดออกจากข้าวกล้องให้เหลือเฉพาะส่วนของเอนโดเสปอร์ม และขัดมัน เพื่อให้ผิวเรียบเป็นเงาสะอาด

4) ขั้นตอนการคัดขนาดข้าวสาร ใช้ตะแกรงขนาดที่มีรูเปิดที่มีความยาวแตกต่างกันเพื่อแยกข้าวสารเต็มเมล็ดต้นข้าวออกจากข้าวหักและปลายข้าว

ผู้วิจัยได้เลือกตำแหน่งการจัดวางระบบควบคุมปริมาณฝุ่นละอองที่ขั้นตอนของการกะเทาะข้าวเปลือกและการทำความสะอาดข้าวเปลือกในกระบวนการสีข้าว เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของฝุ่นละออง โดยใช้พัดลมดูดอากาศเป็นตัวควบคุมการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองและรวบรวมส่งเข้าสู่ระบบบำบัดชนิดสครับเบอร์แบบเปียกในลำดับต่อไป

3.3 การคำนวณเพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียก

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความเร็วลมที่มาจากพัดลมดูดอากาศที่ปะปนฝุ่นละอองก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและพื้นที่หน้าตัดของปากปล่องท่อระบายอากาศ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณขนาดของอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียกจากสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Scrubber design จากนั้นสร้างตัวถังและส่วนต่าง ๆ ของอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียกตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ (Worapot Kanokananapong, 2008)

1) คำนวณหาอัตราการไหลของอากาศที่ไหลออกจากปากปล่องโรงสีข้าวชุมชนได้จากสมการ ดังนี้

$$Q_{air} = u_{wb} \times A_{wb} \quad (1)$$

โดยที่ Q_{air} คือ อัตราการไหลของอากาศที่ไหลออกจากปล่องโรงสีข้าว (m^3/s)
A_{wb} คือ พื้นที่หน้าตัดของปากปล่องท่อระบายอากาศ (m^2)
u_{wb} คือ ความเร็วลมปล่องโรงสีข้าว (m/s)

จากอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากปล่องระบายฝุ่นละอองโรงสีข้าวชุมชนนำ Q_{air} มาคำนวณหาสัดส่วนของอนุภาคที่สามารถทะลุผ่านออกไปจากอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียก

2) คำนวณหาสัดส่วนของอนุภาคที่สามารถทะลุผ่านออกไปจากอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียกได้จากสมการ ดังนี้

$$P_{ti} = \exp\left(\frac{-3Q_L Z\eta_d}{4Q_{air} r_d}\right) \quad (2)$$

โดยที่ P_{ti} คือ สัดส่วนอนุภาคที่ไม่สามารถดักจับด้วยสครับเบอร์แบบเปียก
Q_L คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
Q_{air} คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)

Z คือ ความสูงของระยะสัมผัส (m)

η_d คือ ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาพของหยดน้ำหนึ่งหยด

r_d คือ ความยาวรัศมีของหยดน้ำ (m)

3) นำค่าที่ได้คำนวณขนาดของอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียกด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Scrubber design (Ngala G. M. Sulaiman A. I. and Sani M. U., 2008)

3.4 ศึกษาตัวกลางในชั้นดูดซึมที่มีผลต่อการดักจับฝุ่นในครับเบอร์แบบเปียก

ตัวกลางในหอดูดซึม (Packing materials) เป็นหัวใจสำคัญของระบบดูดซึมเพราะทำให้เกิดพื้นที่ในการสัมผัสระหว่างฝุ่นละอองจากโรงสีข้าวและละอองน้ำ (Ritunesh Kumar,P.L. and Dhar,Sanjeev Jain., 2010)

ภาพที่ 1 Ceramic raschig rings

ภาพที่ 2 Ceramic berl saddle

ขั้นตอนการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic raschig rings (ภาพที่ 1) กับตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle (ภาพที่ 2) ที่มีผลต่อแรงต้านอากาศในครับเบอร์แบบเปียก โดยใช้เครื่องทดสอบอุโมงค์ลมรุ่น Print & Partners Ltd., TE43 Modular Air Flow Laboratory สำหรับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีความสำคัญต่อการ

ออกแบบตัวกลางในชั้นดูดซึมเป็นอย่างยิ่งเพราะยิ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีค่าน้อยค่าแรงต้านอากาศก็มีค่าน้อยลง

2) คำนวณหาขนาดของตัวกลางดูดซึมที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Packed column calculator การผลิตขึ้นรูปตัวกลางดูดซึมด้วยดินเบา ซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาถูกภายในพื้นที่จังหวัดลำปาง

3) นำตัวกลางดูดซึมมาเผาที่อุณหภูมิ 900 950 1000 1050 และ 1100 องศาเซลเซียส เพื่อทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองหากค่าการดูดซึมน้ำมากนั่นหมายความว่าตัวกลางดูดซึมมีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองมากและในทางตรงกันข้ามหากค่าการดูดซึมน้ำน้อยจะมีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองน้อยลง

3.5 คำนวณหาขนาดละอองน้ำจากหัวสเปรย์ที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับฝุ่นละออง

หัวสเปรย์ฉีดละอองน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้ของเหลวกระจายได้อย่างทั่วถึง (A.G. Bhave et al., 2007) โดยหัวสเปรย์นี้ติดตั้งอยู่ส่วนบนของหอเหนือชั้นของตัวกลางชนิด Ceramic berl saddle เพื่อทำหน้าที่กระจายฝุ่นละอองให้เข้าสู่บริเวณละอองน้ำได้อย่างทั่วถึง ลักษณะของหัวสเปรย์ที่ใช้เป็นชนิด Netafim คือ ของเหลวจะกระจายตัวในลักษณะที่เป็นวงกลมและสามารถถอดทำความสะอาดได้ง่าย

1) คำนวณขนาดของหยดน้ำได้ดังสมการต่อไปนี้ (A.G. Bhave et al., 2007)

$$D_d = \frac{5 \times 10^5}{V_{air}} + 29.6\left(\frac{Q_L}{Q_{air}}\right)^{1.5} \quad (3)$$

โดยที่ D_d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำ (μm)
V_{air} คือ ความเร็วอากาศ (m/s)
Q_L คือ อัตราการไหลของน้ำ (m^3/s)
Q_{air} คือ อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)

2) ต่อหัวฉีดสเปรย์น้ำที่เหมาะสมเข้ากับสายยางน้ำแล้วนำไปติดตั้งบนชั้นบรรจุตัวกลางดูดซึมของสครับเบอร์แบบเปียก

3) ทดลองระดับแรงดันน้ำ 5 ระดับดังนี้ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 bar เพื่อหาระดับแรงดันน้ำที่เหมาะสมสำหรับดักจับฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าว

3.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียก

1) อัตราส่วนของฝุ่นละอองที่สามารถดักจับได้ต่อฝุ่นละอองทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในระบบเครื่องดักจับฝุ่นละอองโดยตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง ได้แก่ การกระจายขนาดของฝุ่นละอองขนาดของหยดน้ำ และขนาดแรงดันลดซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

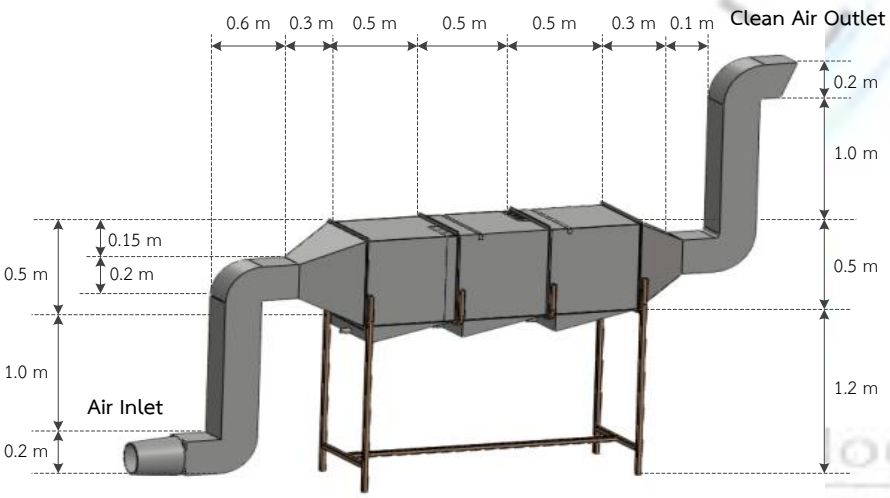
$$\text{Collection efficiency} = \frac{\text{inletloading} - \text{outletloading}}{\text{inletloading}} \times 100\% \quad (4)$$

2) เปรียบเทียบผลก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ดักจับฝุ่นชนิดสครับเบอร์แบบเปียกภายในโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง

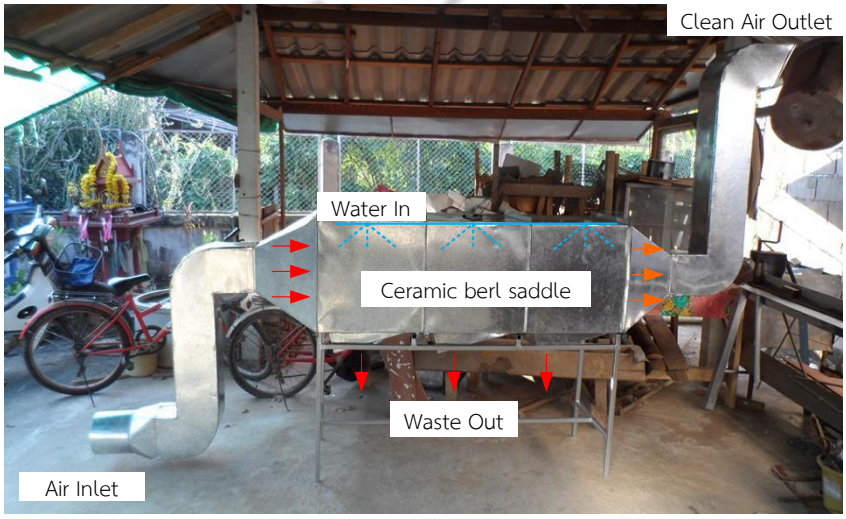
4. ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียก การติดตั้งสครับเบอร์แบบเปียกกับโรงสีข้าวชุมชนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ การตรวจวัดความหนาแน่นฝุ่นละอองภายในและบริเวณรอบโรงสีข้าวชุมชน

4.1 ผลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียก



ภาพที่ 3 การออกแบบสครับเบอร์แบบเปียกสำหรับโรงสีข้าวชุมชน



ภาพที่ 4 การสร้างสครับเบอร์แบบเปียกสำหรับโรงสีข้าวชุมชน

ตารางที่ 1 ผลการออกแบบอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียก

เกณฑ์ในการออกแบบ Wet Scrubber System	Wet Scrubber System
1. พื้นที่หน้าตัดของปากปล่องท่อระบายอากาศ (m^2)	0.03
2. ความยาวของตัวถังสครับเบอร์แบบเปียก (m)	1.50
3. พื้นที่หน้าตัดตัวถังสครับเบอร์แบบเปียก (m^2)	0.25
4. ขนาดของหยดน้ำ (μm)	250
5. ความเร็วลมปากปล่องท่อระบายอากาศ (m/s)	15.00
6. ปริมาตรอากาศที่ไหลออกจากปล่องระบายฝุ่นละอองโรงสีข้าว (m^3/s)	0.47
7. อัตราส่วนระหว่างปริมาตรอากาศต่อความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นในสครับเบอร์แบบเปียก (m^3/s)	13.32

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของตัวถังสครับเบอร์แบบเปียกมีค่าเท่ากับ 0.25 m^2 และมีความยาวของตัวถังสครับเบอร์เท่ากับ 1.5 m เป็นแบบสเปรย์ไหลตามขวางอัตราการไหลของอากาศภายในตัวถังสครับเบอร์แบบเปียกเท่ากับ 13.32 m^3/s เป็นอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านตัวกลางชั้นดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle แล้วไม่เกิดปัญหาการอั้นลมจนทำให้เกิดความเสียหาย

4.2 ผลการออกแบบตัวกลางในชั้นดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle

1) สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของตัวกลางดูดซึม

จากผลการศึกษารูปทรงของตัวกลางในชั้นดูดซึมที่มีผลต่อการดักจับฝุ่นในครับเบอร์แบบเปียกสำหรับโรงสีข้าวชุมชนโดยเครื่องทดสอบอุโมงค์ลมรุ่น Print & Partners Ltd., TE43 Modular Air Flow Laboratory ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองตัวกลางในชั้นดูดซึมสครับเบอร์แบบเปียก

ชนิดตัวกลางดูดซึม	พื้นที่ผิวสัมผัส (m^2/m^3)	แรงต้านอากาศ (N)	ความเร็วลม (m/s)	สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ
Ceramic berl saddle	110	0.0012	4.50	0.0005
Ceramic Raschig	180	0.0035	4.50	0.0018

ตารางที่ 2 ตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานมากกว่าตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic raschig rings เนื่องจากตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศเท่ากับ 0.0005 ซึ่งน้อยกว่าตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic Raschig มีค่าเท่ากับ 0.0018 แสดงให้เห็นว่าตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle มีรูปทรงที่ลู่ลมได้ดีกว่าตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic raschig rings ดังนั้นจึงเลือกตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle มาใช้สำหรับดักจับฝุ่นละอองในงานวิจัยนี้

2) ตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 3 ผลการดูดซึมน้ำของตัวกลาง Ceramic berl saddle

อุณหภูมิ (°C)	มวล Ceramic berl saddle ก่อนเผา (g)	มวล Ceramic berl saddle หลังเผา (g)	ค่าการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
900	33.98	25.31	34.24
950	33.86	25.25	34.10
1,000	33.02	24.99	32.15
1,050	32.75	25.04	30.79
1,100	32.74	25.29	29.46

จากตารางที่ 3 แสดงผลการดูดซึมน้ำในชั้นดูดซึมแต่ละอุณหภูมิพบว่า ตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle ผลิตที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 34.24 รองลงมาคือ อุณหภูมิ 950 1000 1050 และ 1100 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 34.10 32.15 30.79 และร้อยละ 29.46 ตามลำดับ ค่าการดูดซึมน้ำเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองหากค่าการดูดซึมน้ำมากนั่นหมายความว่าตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle มีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองมากตามไปด้วยและในทางตรงกันข้ามหากค่าการดูดซึมน้ำน้อยจะมีความสามารถในการดักจับฝุ่นละอองน้อยลงตามไปด้วย ดังนั้นตัวกลางดูดซึมชนิด Ceramic berl saddle ถูกผลิตที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส สำหรับเป็นตัวกลางดักจับฝุ่นละอองสครับเบอร์แบบเปียกโรงสีข้าวชุมชน

4.3 ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองสครับเบอร์แบบเปียก

การทดสอบประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองสครับเบอร์แบบเปียกหลังติดตั้งให้กับโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ ซึ่งในส่วนนี้ได้ศึกษาระดับแรงดันการไหลของน้ำ 5 ระดับ ดังนี้ 0.10, 0.15, 0.20 0.25 และ 0.30 bar ที่มีผลต่อประสิทธิภาพที่เหมาะสมในการดักจับฝุ่นละอองจากโรงสีข้าวชุมชนสามารถแสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองของสครับเบอร์แบบเปียก

ระดับแรงดันน้ำ (Bar)	ปริมาณฝุ่นละอองเข้า (mg/m^3)	ปริมาณฝุ่นละอองออก (mg/m^3)	ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละออง (ร้อยละ)
0.00	0.59	0.45	24
0.10	0.62	0.18	70
0.15	0.60	0.15	75
0.20	0.58	0.11	81
0.25	0.53	0.08	85
0.30	0.56	0.05	91

จากตารางที่ 4 แสดงผลการศึกษาระดับแรงดันน้ำที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นในสครับเบอร์แบบเปียกพบว่าแรงดันน้ำที่มีประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นสูงที่สุดคือ 0.30 bar มีประสิทธิภาพในการดับจับฝุ่นละอองร้อยละ 91 รองลงมาคือ 0.25, 0.20, 0.15 และ 0.10 bar มีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 85 81 75 และร้อยละ 70 ตามลำดับ ทั้งนี้ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น

ละอองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นถ้าหากเพิ่มระดับแรงดันของน้ำ แต่อย่างไรก็ตามได้คำนึงถึงความสิ้นเปลืองของปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณฝุ่นละอองอยู่ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 0.05 mg/m^3 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ 0.10 mg/m^3 จึงเลือกระดับแรงดันของน้ำที่ 0.30 bar เป็นระดับแรงดันน้ำที่เหมาะสมเพียงพอสำหรับสครับเบอร์แบบเปียกเพื่อดักจับฝุ่นละอองของโรงสีข้าวชุมชน

4.4 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองภายในและบริเวณรอบโรงสีข้าวชุมชน

จากผลการตรวจวัดปริมาณความหนาแน่นฝุ่นละอองโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองชนิด High Volume Air Sampler โดยชนิดของฝุ่นที่ทำการตรวจวัดคือ PM_{10} โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพบรรยากาศทั่วไป คือ PM_{10} ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นในเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.10 mg/m^3 ซึ่งผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าว

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศและเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ				
สารมลพิษ	**สถานะเครื่องจักร**	**ค่าความหนาแน่นที่ทำการตรวจวัด (mg/m^3)**		**ค่ามาตรฐาน 24 ชั่วโมง (mg/m^3)**
		ก่อนติดตั้ง	**หลังติดตั้ง**	
PM10 (เหนือลม)	เดินระบบ	0.18	0.03	
PM10 (ใต้ลม)	เดินระบบ	0.57	0.07	
ความหนาแน่นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายขณะเดินระบบโรงสีข้าว		0.39	0.04	0.10
PM10 (เหนือลม)	หยุด	0.02	0.01	
PM10 (ใต้ลม)	หยุด	0.04	0.02	
ความหนาแน่นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายขณะหยุดเดินระบบโรงสีข้าว		0.02	0.01	0.10
PM10 (ในโรงสีข้าว)	เดินระบบ	1.12	0.07	0.10
PM10 (ในโรงสีข้าว)	หยุด	0.71	0.03	0.10

หมายเหตุ : การตรวจวัดอยู่ใน Stability stage

จากตารางที่ 5 แสดงผลการตรวจวัดฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากโรงสีข้าวก่อนและหลังติดตั้ง สครับเบอร์แบบเปียก พบว่าค่าความหนาแน่นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายภายในโรงสีข้าวขณะเดินระบบโรงสีข้าวมีค่าเท่ากับ 1.12 mg/m^3 และขณะหยุดเดินระบบมีค่าเท่ากับ 0.71 mg/m^3 ซึ่งเป็นปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานฝุ่นละอองจากโรงสีข้าวกำหนดไว้ (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 0.10 mg/m^3) นอกจากนี้ความหนาแน่นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายบริเวณรอบโรงสีข้าวขณะเดินระบบมีค่าเท่ากับ 0.39 mg/m^3 และขณะหยุดเดินระบบมีค่ามีเท่ากับ 0.02 mg/m^3 ซึ่งเป็นปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานฝุ่นละอองจากโรงสีข้าวเช่นเดียวกัน แต่เมื่อทำการติดตั้งติดตั้งสครับเบอร์แบบเปียกที่ออกแบบให้กับโรงสีข้าวพบว่า ค่าความหนาแน่นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายภายในโรงสีข้าวขณะเดินระบบโรงสีข้าวมีค่าเท่ากับ 0.07 mg/m^3 และขณะหยุดเดินระบบมีค่าเท่ากับ 0.03 mg/m^3 ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

ฝุ่นละอองจากโรงสีข้าวกำหนดไว้ นอกจากนี้ความหนาแน่นฝุ่นละอองฟุ้งกระจายบริเวณรอบโรงสีข้าว ขณะเดินระบบมีค่าเท่ากับ 0.04 mg/m^3 และขณะหยุดเดินระบบมีค่ามีเท่ากับ 0.01 mg/m^3 ซึ่งเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานฝุ่นละอองจากโรงสีข้าว

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การออกแบบสครับเบอร์แบบเปียกที่ได้เป็นแบบสเปรย์ไหลตามขวางพื้นที่หน้าตัดมีค่าเท่ากับ 0.25 m^2 และความยาวเท่ากับ 1.5 m อัตราการไหลของอากาศภายในตัวถังสครับเบอร์แบบเปียกเท่ากับ 13.32 m^3/s เป็นอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านชั้นตัวกลางชนิด Ceramic berl saddle ได้อย่างเหมาะสมไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาการอั้นลมและส่งผลกระทบต่อเครื่องจักรของโรงสีข้าวชุมชน เมื่อนำอุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียกที่ผลิตไปติดตั้งให้กับโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ เพื่อดักจับฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการสีข้าวของโรงสีข้าวพบว่า อุปกรณ์สครับเบอร์แบบเปียกมีประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองร้อยละ 91 ที่ระดับแรงดันน้ำ 0.30 bar ทั้งนี้ประสิทธิภาพการดักจับฝุ่นละอองมีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มขึ้นถ้าหากเพิ่มระดับแรงดันของน้ำ แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้คำนึงถึงความสิ้นเปลืองของปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณฝุ่นละอองที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานจึงเลือกระดับแรงดันของน้ำที่ 0.30 bar เป็นแรงดันน้ำที่เหมาะสมสำหรับสครับเบอร์แบบเปียกเพื่อดักจับฝุ่นละอองของโรงสีข้าวชุมชนแห่งนี้ ดังนั้นสรุปได้ว่าสครับเบอร์แบบเปียกนี้สามารถใช้ดักจับฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายที่เกิดจากกระบวนการสีข้าวของโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพช่วยให้กิจการโรงสีข้าวอยู่ร่วมกับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) โครงการทุนอุดหนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2558 สัญญาเลขที่ วท.03/2558 สนับสนุนทางด้านงบประมาณเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC) ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัด และขอขอบคุณโรงสีข้าวชุมชนบ้านกาดเมฆ ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

Pollution Control Department. (2015). Ambient Air Quality and Noise Levels. **Ministry of Natural Resources and Environment.** Retrieved March 10, 2015, from http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html (in Thai)

Charnpittaya Chim Pali. (2015). Thailand's rice industry from 2015 to 2016 : Direction and potential of Thai rice production. **Bureau of Rice Policy and Strategy.** Retrieved May 25, 2015, from http://www.dft.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=p6iLTgSSD_4%3D&tabid (in Thai)

Chatree Bunnak. (2013). Lampang campaign campaign to keep the villagers planted 7 plants from only 3 species. **Manager Online.** Retrieved June 5, 2013, from http://www.manager.co.th/Local/ViewNews.aspx?NewsID=9560000095 (in Thai)

Pramote Cheowchan. (2009). **Air pollution control equipment.** School of Health Sciences Sukhothai Thammathirat Open University. Received June 5, 2013, from https://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-5.PDF (in Thai)

Worapot Kanokananapong. (2008). Particle Collection Devices. **Huachiew Chalermprakiet University Journal,** 11(22), 79-92 (in Thai)

A.G. Bhave, D.K. Vyas and J.B. Patel1. (2007). **A wet packed bed scrubber-based producer gas cooling–cleaning system**. Received February 15, 2013, from https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20083243939

Choi, K.-I. and Lee, D.-H. (2007). PCDD/DF concentrations at the inlets and outlets of wet scrubbers in Korean waste incinerators. **Chemosphere**, 66: 370–376.

Deshwal, B.R., D.S. Jin, S.H. Lee. (2008). Removal of NO from flue gas by aqueous chlorine-dioxide scrubbing solution in a lab-scale bubbling reactor. **J. Hazard. Mater,** 150649–655.

Jin. (2006). Simultaneous removal of SO_2 and NO by wet scrubbing using aqueous chlorine dioxide solution. **J. Hazard. Mater**, 135: 412–417.

K., S.J. Chung, T. Raju, Chandrasekara Pillai. (2009). Experimental aspects of combined NOx and SO_2 removal from flue-gas mixture in an integrated wet scrubber–electrochemical cell system. **Chemosphere**, 76: 57–664.

Meikap, B.C. (2002). Scrubbing of fly-ash laden SO_2 in modified multistage bubble column scrubber. **AIChE J**, 48: 2074–2083.

Ngala G. M. Sulaiman A. I. and Sani M. U. (2008). Air Pollution Control in Cement Factory Using Horizontal Type Wet Scrubber. **Continental Journal of Applied Sciences**. 3(1).

Raj Mohan, B. and Meikap, B.C. (2009). Performance studies of the particulate scrubbing in a novel spray-cum-bubble column scrubber. **Chem. Eng. Res. Design**, 87: 109–118.

Ritunesh Kumar,P.L. and Dhar,Sanjeev Jain. (2010). Development of new wire mesh packings for improving the performance of zero carryover spray tower. **Energy** 36 (2011) 1362 – 1374.

Sarkar. (2007). Modeling of removal of sulfur dioxide from flue gases in a horizontal cocurrent gas–liquid scrubber. **Chem. Eng. J**, 131: 263–271.