การจัดประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 5

The 5th STOU Graduate Research Conference

ประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินจากงานเจียรครกหิน

The Effectiveness of the Stone Dust Vacuum Device for a Stone Grinding Operation

ศิริวรรณ วันทอง (Siriwan Wantong)[1] ทนงศักดิ์ ยิ่งรัตนสุข (Tanongsak Yingratanasuk)[2]

วรเชษฐ์ ภิรมย์ภักดิ์ (Worachest Pirompugd)[3]

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1)ออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินสำหรับงานเจียรครกหิน(2) ทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิผลของการลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหิน(3) ศึกษาประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินที่ออกแบบ การออกแบบใช้หลักการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่โดยศึกษาในห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลทั้งหมด กำหนดจุดติดตั้ง 15 จุด ประกอบด้วย จุดที่ห่างจากแหล่งกำเนิดฝุ่น 3 ระยะ และทำมุมองศากับแหล่งกำเนิดฝุ่น5 มุม ประเมินประสิทธิผลของอุปกรณ์โดยการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินที่ตัวบุคคล โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณฝุ่นหินที่ลดลงหลังการใช้อุปกรณ์ผลการวิจัยพบว่าอุปกรณ์ที่ออกแบบมี2 แบบปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินคือ อัตราการไหลของอากาศ กำลังของพัดลมดูดอากาศ มุมองศาและระยะห่างจากแหล่งกำเนิด โดยแบบที่ 1 มีอัตราการไหลที่ต้องการเท่ากับ 0.632 m^3/s กำลังของพัดลมเท่ากับ 160.52 วัตต์ ผลการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นในส่วนของมุมองศาและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดที่เหมาะสมต่อการติดตั้งอุปกรณ์ พบว่า จุดที่ดีที่สุดคือ มุม 90 องศาห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม.ร้อยละของปริมาณฝุ่นหินที่ลดลงเท่ากับ 73.46 แบบที่ 2ได้เลือกใช้พัดลมที่สามารถปรับระดับความแรงได้ 3 ระดับ แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ครั้ง และจากการคำนวณอัตราการไหลที่ต้องการเท่ากับ 1.202 m^3/s กำลังของพัดลมเท่ากับ 22.05 วัตต์ และพบว่าที่ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 3 จุดที่ดีที่สุดคือ มุม 90 องศาห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 77.27

คำสำคัญ: ระบบระบายอากาศเฉพาะที่ อุปกรณ์ดูดฝุ่นหิน งานเจียร

Abstract

This research is intended to (1) design a vacuum device for stone dust removal from a grinding operation of mortar making process(2) test factors affecting the effectiveness of dust exposure reduction (3)determine the effectiveness of the designed equipment. The study was conducted in a laboratory setting controlling for related physical factors that affected the design devices. A total of 15 spots were set to place the designed device with 3 distances from the grinding source, and 5 angles. The effectiveness of dust removal was determined by the percentages of total dust reductionafter the device was used, by measuring total dust exposure with the personal sampling device.The study results revealed that 2models of dust removal devices were designed. Factors affecting the effectiveness of dust exposure reduction included system flow rate, fan air power, angle and distance from the dust source. Model 1 had a flow rate of 0.632 m^3/s,and the air power of160.52 Watts. The best spot was the90-degree anglewith the distance from the dust source of 20 cm. The percentage of dust reduction was 73.46%. Model2 had 3-speed fan levels, and 3 tests were conducted.The required flow rate was 1.202m^3/sand the air power of 22.05Watts. The best spot was the 90-degree angle with the distance from the dust source of 20 cm. The percentage of dust reduction was 73.27%.

Keywords: Local exhaust ventilation, Stone dust vacuum, Grinding operation

บทนำ

การทำครกหินจัดเป็นอาชีพหนึ่งที่มีจำนวนผู้ประกอบอาชีพเป็นจำนวนมากในจังหวัดชลบุรี เนื่องจากครกหินจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างชื่อเสียงและเป็นสินค้าที่เป็นสัญลักษณ์ของตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี นอกจากครกหินแล้ว ยังมีผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ทำจากหินอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่างๆ เหล่านี้จะใช้หินแกรนิต หรือหินอ่อน เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต กระบวนการผลิตครกหิน ประกอบด้วย การเคาะ การสกัด การเจียร และการขัดขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้เป็นสาเหตุของการเกิดฝุ่นหินซึ่งทำให้ผู้ที่ปฏิบัติงานเสี่ยงต่อการหายใจเอาอนุภาคฝุ่นเหล่านี้เข้าไปสะสมในปอดและก่อให้เกิดโรคเกี่ยวกับปอดได้ (Yingratansuk *et al.* , 2002) และเนื่องจากหินที่ใช้เป็นวัตถุดิบเหล่านี้มีส่วนผสมของผลึกซิลิก้าที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคเกี่ยวกับปอดที่มีสาเหตุมาจากฝุ่นอนินทรีย์เช่น โรคปอดจากฝุ่นหินทราย (Silicosis) ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นซิลิก้า (Silica) ซึ่งอยู่ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) เข้าไป โดยปกติแล้วซิลิก้าจะเป็นองค์ประกอบที่พบได้ทั่วไปในหินชนิดต่างๆ โดยมีปริมาณที่แตกต่างกันตามชนิดของหินแต่ละชนิด ดังนั้นงานที่มีกระบวนการย่อย ตัด หรือการทำให้แตกหักของหิน หรืองานก่อสร้างที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์จากหิน จึงเป็นงานที่เสี่ยงต่อโรคปอดจากฝุ่นหินทรายทั้งสิ้น (ปวีณา มีประดิษฐ์, 2546) ฉะนั้นคนที่ทำงานในลักษณะดังกล่าว จึงเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรครวมทั้งภาวะแทรกซ้อนหลายอย่าง และพบได้บ่อยที่สุดคือวัณโรคปอดร่วมกับโรคปอดจากฝุ่นหินทราย(Silico-tuberculosis) ซึ่งโรคนี้ยังไม่มีแนวทางการรักษาเฉพาะ โรคนี้มีความคล้ายคลึงอย่างมากกับวัณโรคปอดโดยฝุ่นหินทรายจะสะสมในปอดจนปอดกลายเป็นพังผืด แต่เชื้อวัณโรคจะถูกทำลายหรือกดไว้จนไม่แสดงอาการ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและการมีภูมิต้านทานของร่างกาย จากลักษณะดังกล่าวทำให้มีความผิดพลาดในการติดตาม รักษาขึ้นได้หากไม่ได้รับการป้องกันที่ดี (ปวีณา มีประดิษฐ์,2546) และจากการศึกษาของ Yingratansuk *et al.* (2002) พบว่าคนงานในโรงงานแกะสลักหินและทำครกหินในจังหวัดชลบุรี มีความชุกของโรคซิลิโคสิส2% และวัณโรคปอด 4% และเนื่องจากกลุ่มผู้ผลิตครกหินส่วนใหญ่อยู่ที่ตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี โดยมีการผลิตที่ทำกันในรูปของธุรกิจในครัวเรือนไม่ใช่แบบอุตสาหกรรม จึงทำให้ไม่มีการใส่ใจดูแลสุขภาพของคนงานเท่าที่ควรและไม่มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันการรับสัมผัสฝุ่นหินเหล่านั้นเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้อุปกรณ์ป้องกันอาจมีราคาแพงทำให้มีปัญหาในเรื่องของความคุ้มค่าในการลงทุนของผู้ผลิต (Yingratansuk *et al.* , 2002)

จากความจำเป็นและความสำคัญดังกล่าว จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินจากกระบวนการทำงานเจียรครกหิน เพื่อลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินเข้าสู่ร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินทุกขนาดสำหรับงานเจียรครกหิน
2. เพื่อทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิผลของการลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหิน
3. เพื่อศึกษาประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินที่ออกแบบ

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบและศึกษาประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินจากการเจียรครกหินจะมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินจากงานเจียรครกหินโดยใช้หลักการของการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ (Local Exhaust Ventilation System) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินทุกขนาด (Total Dust) ของผู้ปฏิบัติงาน

2. ทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินในห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นห้องปรับอากาศ มีลักษณะเป็นห้องสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีการควบคุมปัจจัยต่างๆที่อาจส่งผลต่อการทดลอง ประกอบด้วย ความเร็วลม ความชื้น อุณหภูมิ และความดันบรรยากาศโดยรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 นำผู้ปฏิบัติงานมาเจียรครกหินในห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดให้เจียรครกหิน 1 ลูกเป็นเวลา 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งเปลี่ยนครกใบใหม่ ทำการเจียรครกหินโดยไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์กำจัดฝุ่นที่ออกแบบ พร้อมเก็บตัวอย่างปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินที่ตัวบุคคล แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าตั้งต้นในการเปรียบเทียบประสิทธิผลของอุปกรณ์

2.2 กำหนดระยะห่างและมุมระหว่างแหล่งกำเนิดฝุ่นหินกับอุปกรณ์ดูดฝุ่นทั้งหมด 15 จุดเพื่อทดสอบหา ระยะห่างและมุมองศาที่อุปกรณ์สามารถดูดฝุ่นหินได้ดีที่สุด

2.3 นำอุปกรณ์กำจัดฝุ่นหินที่ออกแบบมาวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ โดยทำมุม 0, 45, 90, 135, 180 องศา ที่ระยะห่าง 20, 40, 60 ซม. ตามลำดับ รวมเป็น 15 จุด แต่ละจุดจะทำการเจียรครกหิน 1 ลูกเป็นเวลา 10 นาที โดยการวางอุปกรณ์ที่พื้นเนื่องจากลักษณะการทำงานของผู้ปฏิบัติงานเป็นงานนั่ง

2.4 เก็บตัวอย่างการรับสัมผัสฝุ่นหินด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล ก่อนและหลังการใช้อุปกรณ์ดูดฝุ่นหิน พร้อมบันทึกค่าที่ได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นทุกขนาดโดยวิธีการชั่งน้ำหนักตามวิธีการมาตรฐานขององค์การอาชีวอนามัยและความปลอดภัยแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา NIOSH Method 0500 (NIOSH, 1994)

3. วิเคราะห์ประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินโดยมุ่งเน้นไปที่ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลง

ส่วนที่ 1 การออกแบบ และการสร้างอุปกรณ์ดูดฝุ่นหิน

อุปกรณ์ดูดฝุ่นหินที่ออกแบบและสร้าง มี 2 แบบ ประกอบด้วยท่อดูดอากาศ พัดลม ท่อนำอากาศ และถุงเก็บฝุ่น โดยใช้ไม้ทำเป็นโครงสร้างทั้งหมด ไม่มีการใช้น้ำในการควบคุมฝุ่น ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 โดยมีค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างอุปกรณ์และการประกอบคิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น4,000 บาท

แนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นทั้ง 2 แบบใช้หลักการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่เหมือนกัน โดยอุปกรณ์ทั้ง 2 แบบต้องสามารถติดตั้งบนพื้นราบได้ ไม่กีดขวางการทำงาน หรือทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานไม่สะดวก เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานนั่งทำงานเจียรครกหินกับพื้น แต่ต่างกันที่การออกแบบลักษณะของท่อดูด

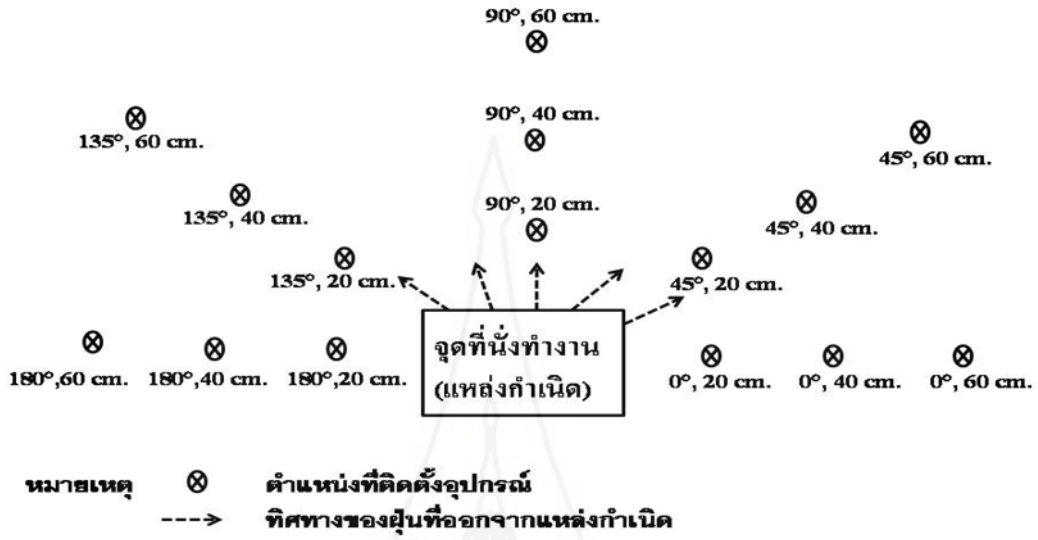
อากาศและพัดลมดูดอากาศที่สามารถปรับระดับความแรงได้ 3 ระดับในอุปกรณ์แบบที่ 2 เพื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานและประสิทธิผลในการลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินของผู้ปฏิบัติงานว่าดีขึ้นหรือไม่

ภาพที่ 1 อุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 1

ภาพที่ 2 อุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 2

ส่วนที่ 2 การทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหิน

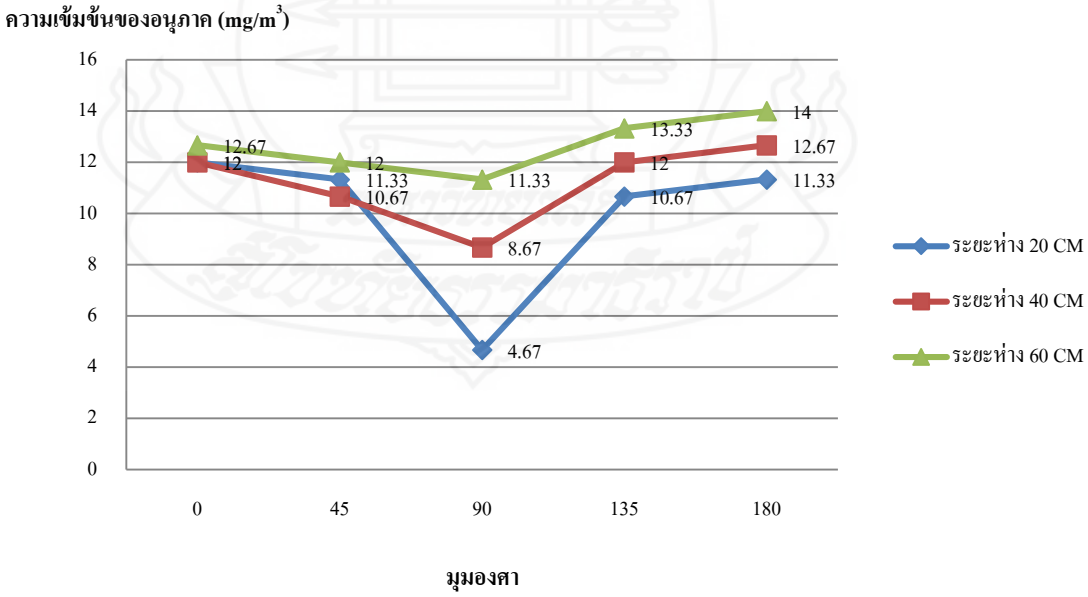
การทดสอบปัจจัยที่ผลต่อส่งผลต่อประสิทธิผลของการลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหิน ทำในห้องปฏิบัติการ โดยนำอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินที่ออกแบบมาวางในตำแหน่งที่กำหนดไว้ ตามภาพที่ 3 ทุกจุดแต่ละจุดจะใช้ครกหิน 1 ลูกในการเจียรเป็นเวลา 10 นาที และเปลี่ยนครกลูกใหม่เมื่อมีการเก็บตัวอย่างที่จุดอื่นๆ จนครบ 15 จุด โดยครกทั้ง 15 ใบเป็นครกที่ทำจากหินชนิดเดียวกัน ติดตั้งอุปกรณ์โดยการวางอุปกรณ์ที่พื้นเนื่องจากผู้ปฏิบัติงานจะนั่งปฏิบัติงานที่พื้นและวางอุปกรณ์เปลี่ยนไปตามมุมองศาและระยะห่างที่กำหนดไว้จนครบทั้ง 15 จุด และเก็บตัวอย่างการรับสัมผัสฝุ่นหินด้วยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคลจุดละ 10 นาที และเทียบกับค่ามาตรฐานตามที่กำหนดใน NIOSH Method 0500 (NIOSH, 1994) โดยตั้งสมมติฐานว่าปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นในการเจียรครกแต่ละลูกเท่ากันตลอดระยะเวลาการทำงาน



ภาพที่ 3 มุม ระยะห่างตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ และทิศทางของฝุ่นจากการเจียรครกหินที่พุ่งออกจากแหล่งกำเนิด

ผลลัพธ์และการวิเคราะห์

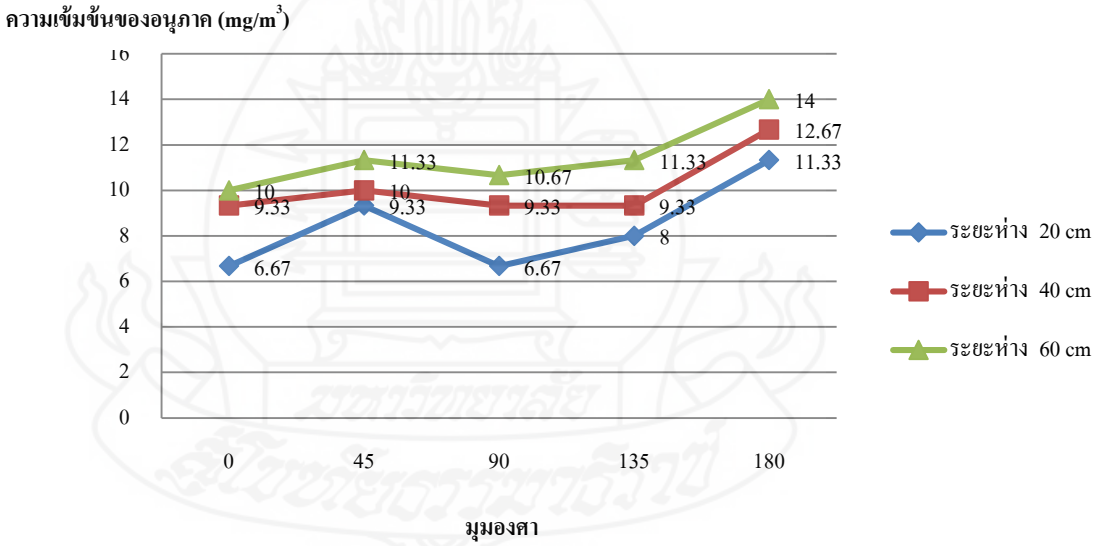
จากการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิผลของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนั้น จะสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มานำเสนอเป็นกราฟและวิเคราะห์ได้ ดังนี้



ภาพที่ 4 ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นหินที่มุมและระยะต่างๆ สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 1

จากภาพที่ 4 สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 1 นั้น จากการคำนวณอัตราการไหลที่ต้องการเท่ากับ 0.632 m^3/s กำลังของพัดลมเท่ากับ 160.52 วัตต์ ผลการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลที่มุม 0 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 12 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 12 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม. เท่ากับ 12.67 mg/m^3ที่มุม 45 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 11.33 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 10.67 mg/m^3ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 12 mg/m^3ที่มุม 90 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 4.67 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 8.67 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 11.33 mg/m^3ที่มุม 135 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 10.67 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม. เท่ากับ 12 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 13.33 mg/m^3ที่มุม 180 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 11.33 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 12.67 mg/m^3ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 14 mg/m^3โดยจุดที่ดีที่สุดคือ มุม 90 องศาระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. รองลงมาคือ มุม90 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 40 ซม. และในทุกระยะห่างจากแหล่งกำเนิดมุมที่ดีที่สุดคือมุม 90 องศา

ผลการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินแบบที่ 2 ได้เลือกใช้พัดลมที่สามารถปรับระดับความแรงได้ 3 ระดับจึงแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ครั้ง และจากการคำนวณอัตราการไหลที่ต้องการเท่ากับ 1.202 m^3/s กำลังของพัดลมเท่ากับ 22.05 วัตต์ โดยมีผลการทดสอบดังนี้

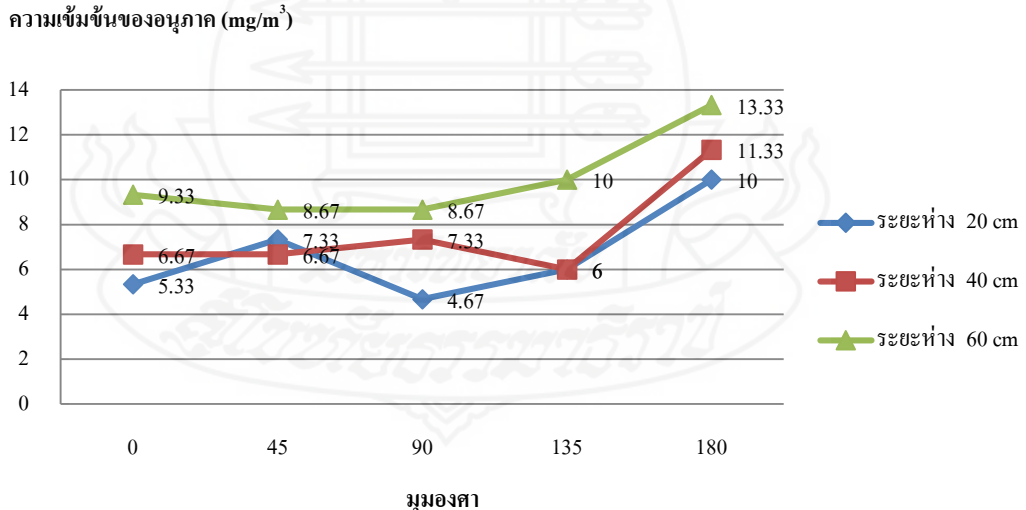


ภาพที่ 5 ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นหินที่มุมและระยะต่างๆ สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 2 โดยใช้พัดลมระดับที่ 1

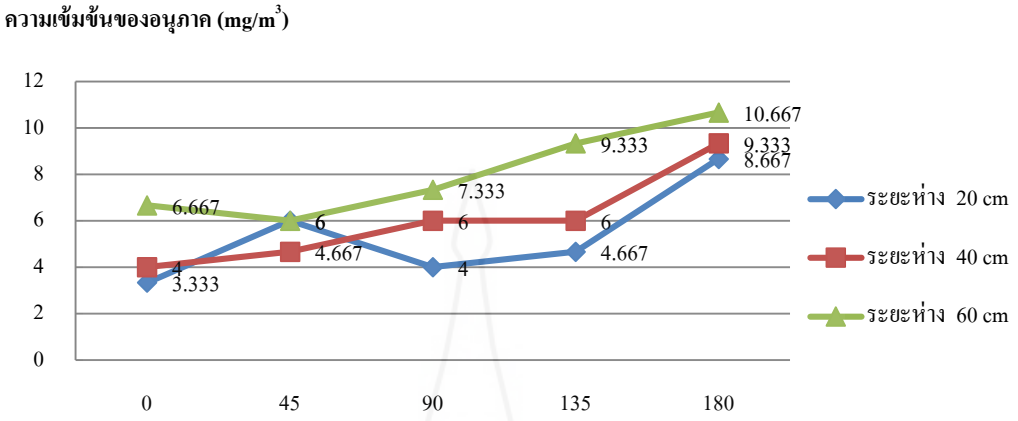
จากภาพที่ 5 สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 2 ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 1 ผลการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลที่มุม 0 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 6.67 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 9.33 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 10 mg/m^3ที่มุม 45 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 9.33 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 10 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 11.33 mg/m^3ที่มุม 90 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 6.67 mg/m^3ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ

9.33 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 10.67 mg/m^{3}ที่มุม 135 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 8 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 9.33 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 11.33 mg/m^{3}ที่มุม 180 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม.เท่ากับ 11.33 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 12.67 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 14 mg/m^{3}โดยจุดที่ดีที่สุดคือ มุม0 และ 90 องศาระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. รองลงมาคือ มุม 135 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม.และในทุกระยะห่างจากแหล่งกำเนิดมุมที่มีแนวโน้มดีที่สุดคือมุม 90 องศา

จากภาพที่ 5 สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 2 ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 2 ผลการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลที่มุม 0 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 5.33 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 6.67 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 9.33 mg/m^{3}ที่มุม 45 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 7.33 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 6.67 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 8.67 mg/m^{3}ที่มุม 90 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 4.67 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 7.33 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 8.67 mg/m^{3}ที่มุม 135 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 6 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 6 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 10 mg/m^{3}ที่มุม 180 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม.เท่ากับ 10 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 11.33 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 13.33 mg/m^{3}โดยจุดที่ดีที่สุดคือ มุม90 องศาระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. รองลงมาคือ มุม 0 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม.และในทุกระยะห่างจากแหล่งกำเนิดมุมที่มีแนวโน้มดีที่สุดคือมุม 90 องศา



ภาพที่ 6 ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นหินที่มุมและระยะต่างๆ สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 2 โดยใช้พัดลมระดับที่ 2



ภาพที่ 7 ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นหินที่มุมและระยะต่างๆ สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 2 โดยใช้พัดลมระดับที่ 3

จากภาพที่ 7 สำหรับอุปกรณ์แบบที่ 2 ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 3 ผลการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลที่มุม 0 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 3.333 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 4 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 6.667 mg/m^{3}ที่มุม 45 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 6 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 4.67 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 6 mg/m^{3}ที่มุม 90 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 4 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 6 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 7.333 mg/m^{3}ที่มุม 135 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 4.667 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 6 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม.เท่ากับ 9.333 mg/m^{3}ที่มุม 180 องศา มีความความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. เท่ากับ 8.667 mg/m^{3}ที่ระยะห่าง 40 ซม.เท่ากับ 9.333 mg/m^3 ที่ระยะห่าง 60 ซม. เท่ากับ 10.667 mg/m^{3}โดยจุดที่ดีที่สุดคือ มุม 0 องศาระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. รองลงมาคือ มุม 90 องศาระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม.รายละเอียดดังภาพที่ 7

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหิน

นอกจากการทดสอบปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิผลของอุปกรณ์ทั้ง 2 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 4 ถึงภาพที่ 7 แล้ว ในงานวิจัยนี้ ยังได้ทดสอบประสิทธิผลของอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินในการลดปริมาณฝุ่นที่รับสัมผัส โดยอาศัยการตรวจวัดฝุ่นหินรวมทุกขนาด (Total Dust) ใช้วิธีมาตรฐาน NIOSH Method 0500 โดยผลจากการตรวจวัดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ดูดฝุ่นที่ออกแบบพบว่ามีค่าเท่ากับ 17.6 mg/m^3 ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดที่กำหนดโดย OSHA คือ15 mg/m^3(OSHA, 2012)และค่ามาตรฐานที่กำหนดโดย ACGIH คือ 10 mg/m^3(ACGIH, 2014)หลังการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 1 พบว่า ปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลลดลง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ OSHA ทุกตัวอย่างจากทั้งหมด 15 ตัวอย่าง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ACGIH 5 ตัวอย่าง โดยจุดที่มีปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นลดลงมากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ 7 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 90 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม.ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 73.46 รองลงมา

คือ ตัวอย่างที่ 8 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 90 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 40 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 50.74 รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละของปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินที่ลดลงจากการตรวจวัดที่ตัวบุคคลหลังการใช้อุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 1

ตัวอย่างที่	ปริมาณฝุ่นหลังการติดตั้งอุปกรณ์ (mg/m^3)	ปริมาณฝุ่นที่ลดลง(mg/m^3)	ร้อยละของประสิทธิผล
1	12	5.6	31.8
2	12	5.6	31.8
3	12.67	4.93	28.01
4	11.33	6.27	35.63
5	10.67	6.93	39.38
6	12	5.6	31.82
7	4.67	12.93	73.46
8	8.67	8.93	50.74
9	11.33	6.27	35.63
10	10.67	6.93	39.38
11	12	5.6	31.82
12	13.33	4.27	24.26
13	11.33	6.27	35.63
14	12.67	4.93	28.01
15	14	3.6	20.45

จากการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 2 ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 1 พบว่า ปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลลดลง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ OSHA ทุกตัวอย่างจากทั้งหมด 15 ตัวอย่าง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ACGIH 9 ตัวอย่าง โดยจุดที่มีปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นลดลงมากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ 7 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 0 และ 90 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 62.1 รองลงมา คือ ตัวอย่างที่ 10 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 135 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 54.55 รายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละของปริมาณรับสัมผัสฝุ่นหินที่ลดลงจากการตรวจวัดที่ตัวบุคคลหลังการใช้อุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 2 โดยใช้ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 1

ตัวอย่างที่	ปริมาณฝุ่นหลังการติดตั้งอุปกรณ์(mg/m^3)	ปริมาณฝุ่นที่ลดลง(mg/m^3)	ร้อยละของประสิทธิผล
1	6.67	10.93	62.10
2	9.33	8.27	46.99
3	10	7.6	43.12
4	9.33	8.27	46.99
5	10	7.6	43.12
6	11.33	6.27	35.63
7	6.67	10.93	62.1
8	9.33	8.27	46.99
9	10.67	6.93	39.38
10	8	9.6	54.55
11	9.33	8.27	46.99
12	11.33	6.27	35.63
13	11.33	6.27	35.63
14	12.67	4.93	28.01
15	14	3.6	20.45

จากการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 2 ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 2 พบว่า ปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลลดลง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ OSHA ทุกตัวอย่างจากทั้งหมด 15 ตัวอย่าง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ACGIH 13 ตัวอย่าง โดยจุดที่มีปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นลดลงมากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ 7 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 90 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 73.47 รองลงมา คือ ตัวอย่างที่ 10 และ 11ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 135 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 และ 40 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 65.91 รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ร้อยละของปริมาณรับสัมผัสฝุ่นหินที่ลดลงจากการตรวจวัดที่ตัวบุคคลหลังการใช้อุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 2 โดยใช้ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 2

ตัวอย่างที่	ปริมาณฝุ่นหลังการติดตั้งอุปกรณ์(mg/m^3)	ปริมาณฝุ่นที่ลดลง(mg/m^3)	ร้อยละของประสิทธิผล
1	5.33	12.27	69.72
2	6.67	10.93	62.10
3	9.33	8.27	46.99
4	7.33	10.27	58.35
5	6.67	10.93	62.1
6	8.67	8.93	50.74
7	4.67	12.93	73.47
8	7.33	10.27	58.35
9	8.67	8.93	50.74
10	6	11.6	65.91
11	6	11.6	65.91
12	10	7.6	43.18
13	10	7.6	43.18
14	11.33	6.27	35.63
15	11.33	6.27	35.63

จากการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 2 ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 3 พบว่า ปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นที่ตัวบุคคลลดลง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ OSHA ทุกตัวอย่างจากทั้งหมด 15 ตัวอย่าง และผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ACGIH 14 ตัวอย่าง โดยจุดที่มีปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นลดลงมากที่สุดคือ ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 0 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 20 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 83.08 รองลงมา คือ ตัวอย่างที่ 2 และ 7ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างที่มุม 0 และ 90 องศา ระยะห่างจากแหล่งกำเนิด 40 และ 20 ซม. ร้อยละของปริมาณฝุ่นที่ลดลงเท่ากับ 77.27 รายละเอียดดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ร้อยละของปริมาณรับสัมผัสฝุ่นหินที่ลดลงจากการตรวจวัดที่ตัวบุคคลหลังการใช้อุปกรณ์ดูดฝุ่นแบบที่ 2 โดยใช้ระดับความแรงของพัดลมระดับที่ 3

ตัวอย่างที่	ปริมาณฝุ่นหลังการติดตั้งอุปกรณ์(mg/m^3)	ปริมาณฝุ่นที่ลดลง(mg/m^3)	ร้อยละของประสิทธิผล
1	3.33	14.27	81.08
2	4	13.6	77.27
3	6.67	10.93	62.10
4	6	11.6	65.91
5	4.67	12.93	73.47
6	6	11.6	65.91
7	4	13.6	77.27
8	6	11.6	65.91
9	7.33	10.27	58.35
10	4.67	12.93	73.47
11	6	11.6	65.91
12	9.33	8.27	46.99
13	8.67	8.93	50.74
14	9.33	8.27	46.99
15	10.67	6.93	39.38

อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินเพื่อลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินจากงานเจียรของผู้ประกอบอาชีพทำครกหิน พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิผลของการลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินประกอบด้วย อัตราการไหลของอากาศ กำลังของพัดลมดูดอากาศ ซึ่งทั้งสองปัจจัยได้จากการคำนวณแบบเดียวกับการออกแบบระบบระบายอากาศเฉพาะที่ นอกจากนี้การกำหนดมุมองศาและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดยังส่งผลต่อประสิทธิผลของอุปกรณ์ โดยจากการทดลอง พบว่า มุมองศาที่สามารถลดประมาณการรับสัมผัสฝุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดคือ ช่วงมุม 0 – 90 องศาและระยะห่างที่ดีที่สุด คือ 20 ซม. เนื่องจากเป็นระยะที่ใกล้ที่สุดที่ผู้ปฏิบัติงานจะสามารถทำงานได้อย่างสะดวกสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาแบบจำลองการไหลของอากาศในห้องปรับอากาศที่ติดพัดลมดูดอากาศ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่มีการติดตั้งพัดลมดูดอากาศในห้องปรับอากาศ โดยใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ทำการศึกษาผลของความเร็วอากาศและมุมที่ปล่อยอากาศออกจากเครื่องปรับอากาศและผลของระดับความสูงสำหรับติดตั้งพัดลมดูดอากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการกระจายตัวของอากาศภายในห้องที่พบว่าควรติดตั้งพัดลมดูดอากาศสูงจากพื้น

2.35 m. และตั้งความเร็วอากาศออกจากเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 1.5 m/s มุมการปล่อยอากาศ 60 องศา (ฐากร ไพบูลย์โรจน์รุ่ง, ณัฏฐ์ กาศยปนันทน์ และมานะ อมรกิจบำรุง, 2550)

จากผลการทดลองในส่วนของมุมมองศาที่ 45 องศา ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระยะห่าง 20 ซม. จะมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าค่าความเข้มข้นฝุ่นที่ระยะห่าง 40 ซม. ทั้งในส่วนของอุปกรณ์แบบที่ 1 และแบบที่ 2 ที่ระดับความแรงของพัดลมทั้ง 3 ระดับนั้นอาจเนื่องมาจากเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานทำการเจียรครกหินนั้นได้วางครกไว้บนอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ช่วยทำให้ครกสามารถหมุนได้ในขณะที่เจียรครก ซึ่งไม่สามารถกำหนดจังหวะ ทิศทาง และจำนวนครั้งในการหมุนได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งอาจทำให้มีผลต่อปริมาณฝุ่นที่ตรวจวัดได้

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลของอุปกรณ์ทั้ง 2 แบบพบว่าอุปกรณ์แบบที่ 2 มีประสิทธิผลในการลดการรับสัมผัสฝุ่นหินได้ดีกว่าแบบที่ 1 เนื่องจากรูปแบบของท่อดูดอากาศที่ออกแบบสามารถดักฝุ่นได้ดีกว่า รวมถึงกำลังของพัดลมที่ใช้ทำให้อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่อุปกรณ์ดีกว่าแบบที่ 1 โดยประสิทธิผลของการลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินของอุปกรณ์ในแบบที่ 2 จะเพิ่มขึ้นตามระดับความแรงของพัดลมดูดอากาศ

นอกจากนี้การลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินในผู้ประกอบอาชีพทำครกหิน จะช่วยลดอัตราการเกิดเกี่ยวกับปอดซึ่งมีสาเหตุมาจากการรับสัมผัสฝุ่นซิลิก้าเข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินหายใจสอดคล้องกับผลการศึกษาของCroteauaet. al, 2002 ที่พบว่าระบบระบายอากาศเฉพาะที่สามารถควบคุมการรับสัมผัสฝุ่นซิลิก้าในงานตัดและเจียรคอนกรีตในงานก่อสร้างได้ และจากการสอบสวนกรณีผู้ป่วยเสียชีวิตด้วยโรคซิลิโคสิสที่โรงพยาบาลมหาราชจังหวัดนครราชสีมา เมื่อวันที่2 ตุลาคม 2550 ซึ่งผู้เสียชีวิตเป็นชายอายุ 47 ปี มีประวัติการทำงานรับจ้างแกะสลักหินที่อำเภออ่างศิลา จังหวัดชลบุรี เป็นเวลา 18 ปี และที่จังหวัดอื่นๆ รวมอายุการทำงานแกะสลักหินทั้งหมด 32 ปี (วรัญญสัตยวงศ์ทิพย์, 2550)และเนื่องจากกลุ่มผู้ผลิตส่วนใหญ่ในตำบลอ่างศิลา จังหวัดชลบุรี เป็นการผลิตที่ทำกันในรูปของธุรกิจในครัวเรือน ไม่ใช่อุตสาหกรรมทำให้ไม่มีการใส่ใจดูแลสุขภาพของตนเอง สาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากไม่มีอุปกรณ์ป้องกันการสัมผัสฝุ่นหินเหล่านั้นเข้าสู่ร่างกาย เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันอาจมีราคาแพงทำให้มีปัญหาในเรื่องของความคุ้มค่าในการลงทุนของผู้ผลิตอุปกรณ์ดูดฝุ่นหินสำหรับงานเจียรครกหินที่ได้ทำการออกแบบนี้ได้มีการดัดแปลงวัสดุอุปกรณ์โดยใช้ไม้ทำเป็นท่อนำอากาศแทนการใช้สแตนเลสหรือเหล็กที่มีราคาแพงเนื่องจากในระบบไม่มีการใช้น้ำที่อาจส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการควบคุมฝุ่น และสามารถลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินของผู้ปฏิบัติงานได้ตามเกณฑ์มาตรฐานอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน

ข้อเสนอแนะ

1. การนำผลการศึกษาไปใช้

1.1ส่งเสริมความรู้ให้กับผู้ประกอบอาชีพทำครกหินเพื่อให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้อุปกรณ์ดูดฝุ่นหินเพื่อลดปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นหินเข้าสู่ร่างกายอันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคซิลิโคสิส

1.2 ส่งต่อข้อมูลให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการศึกษาไปใช้พัฒนาต่อยอดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และวิธีการป้องกันการรับสัมผัสฝุ่นหินในผู้ประกอบอาชีพทำครกหินในพื้นที่เพื่อลดอัตราการเกิดโรคซิลิโคสิสและขยายผลไปสู่ผู้ประกอบการครกหินในพื้นที่อื่นๆต่อไป

2.การศึกษาครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาถึงคุณภาพของอุปกรณ์เทียบกับภาระค่าใช้จ่ายของต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อการออกแบบอุปกรณ์ดูดฝุ่นที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.2ควรศึกษาการทดสอบประสิทธิผลของอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเทียบกับประสิทธิผลของอุปกรณ์เมื่อนำไปใช้ในสถานที่ทำงานเพื่อดูความแตกต่างของประสิทธิผลของอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารอ้างอิง

ชาญฤทธิ์พันธ์กล้วยไม้. (2551).*การออกแบบและสร้างระบบกำจัดฝุ่นและฟูมโลหะจากเตาหลอมสัมฤทธิ์*. (วิทยานิพนธ์ภาควิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย).มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพมหานคร.

ฐากร ไพบูลย์โรจน์รุ่ง, ณัฏฐ์กาศยปนันทน์ และมานะ อมรกิจบำรุง. (2550).แบบจำลองการไหลของอากาศในห้องปรับอากาศที่ติดพัดลมดูดอากาศ.กลุ่มวิจัยการคำนวณและการประยุกต์ทางด้านของไหลและพลังงาน. คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1.วันที่ 31 สิงหาคม 2550 โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพ.

ปวีณา มีประดิษฐ์. (2546). ความสัมพันธ์ระหว่างการมีภูมิต้านทานวัณโรคกับการเกิดวัณโรคปอดฝุ่นทรายในกลุ่มคนงานโรงโม่หินประเทศไทย.รายงานผลการวิจัย. คณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา.

วรัญญสัตยวงศ์ทิพย์. (2551). การสอบสวนกรณีผู้ป่วยเสียชีวิตด้วยโรค Silicosis บ้านน้ำเมาหมู่ที่ 6 ตำบลลาดบัวขาวอำเภอสีคิ้วจังหวัดนครราชสีมา.รายงานการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาประจำสัปดาห์ 2551,(39) 3S, S55 – S59.

Gerry A. Croteaua, Steven E. Guffeyb, Mary Ellen Flanaganc&Noah S. Seixas. (2002). The Effect of Local Exhaust Ventilation Controls on Dust Exposures During Concrete Cutting and Grinding Activities.AIHA Journal. 63 (4); 458-467.

National Institute of Occupational Health and Safety.(1994). NIOSH Manual of Analytical Method.Fourthedition.Available from http://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/0500.pdf.RetrievedJune 2015.

OSHA.(2012).U.S.Department of Labor and Industries.Particulates Not Otherwise Regulated (Total Dust). Available from https://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_259640.html.Retrieved June 2015.

ACGIH.(2014). TLVs and BEIs.Treshold Limits Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices.American Association of Governmental Industrial Hygienists.Ohio.

TanongsakYingratanasuk, Noah Seixas, Scott Barnhart, and Drew Brodkin.(2002). Respiratory Health and Silica Exposure among Stone Carvers in Thailand.International Journal of Occupational and Environmental Health. 8; 301-308.