

นิพนธ์ต้นฉบับ

Original Article

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ของพนักงานโรงโม่หิน จังหวัดสระบุรี

Health risk assessment of inhalation exposure to respirable dust among workers in stone mill, Saraburi province

กมลวรรณ สมณะ¹Kamonwan Samana¹อารุณ เกตุสาร²Arroon Ketsakorn²¹สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 4 สระบุรี¹Office of Disease Prevention and Control,
Region 4 Saraburi²คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี²Faculty of Public Health, Thammasat
University, Pathum Thani

DOI: 10.14456/dcj.2023.15

Received: February 8, 2022 | Revised: May 20, 2022 | Accepted: May 20, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก และประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพของพนักงานโรงโม่หิน ภายใต้หลักการสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและการประเมินความเสี่ยงสุขภาพ ทำการศึกษาแบบภาคตัดขวาง ระหว่างเดือนมีนาคม-สิงหาคม 2561 ในคนงานจำนวน 115 คน ของโรงโม่หินจังหวัดสระบุรี 26 แห่ง เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์และอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบติดตัวบุคคล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผลการศึกษาพบว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงาน เท่ากับ 8.72 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่าต่ำสุด-สูงสุด เท่ากับ 0.25-48.46 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สูงกว่าค่ามาตรฐานผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ พบค่าความเสี่ยงของฝุ่นละอองขนาดเล็ก เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง (Hazard Quotient: HQ) เท่ากับ 1.20 แสดงว่ากลุ่มตัวอย่างมีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองในการทำงาน โดยกลุ่มงานที่พบค่า HQ สูงสุด คือ พนักงานป้อนหิน (HQ=1.67) รองลงมา ได้แก่ พนักงานนั่งคัดหินบนสายพาน (HQ=1.57) อย่างไรก็ตาม ค่าดังกล่าวเป็นการคำนวณตามเงื่อนไขของสถานการณ์ในการเลือกข้อมูลมาคำนวณ หากเงื่อนไขของสมการเปลี่ยนแปลงไป ค่าที่ได้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จากผลการศึกษาจึงมีข้อเสนอแนะว่าเจ้าของสถานประกอบการควรลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ด้วยการควบคุมปริมาณการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากกระบวนการผลิตในโรงโม่หินควบคู่ไปกับการจัดหาอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจที่มีประสิทธิภาพและเพียงพอในการป้องกันการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายแก่พนักงาน ร่วมกับมีมาตรการที่เข้มงวดโดยให้พนักงานสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตนเอง ตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงานในโรงโม่หิน

ติดต่อผู้พิมพ์: อารุณ เกตุสาร

อีเมล: arroon.k@fph.tu.ac.th

Abstract

The objectives of this cross-sectional study were to evaluate the respirable dust concentration and health risk assessment of workers in the stone mills. The study was conducted between March and August 2018 among 115 workers of 26 stone crushing plants in Saraburi province. The interviewed questionnaires and personal air sampling pumps were employed for data collection. The findings revealed that an average particulate matter concentration for eight working hours was 8.72 mg/m^3 ($0.25\text{--}48.46 \text{ mg/m}^3$), exceeding the standards set by OSHA and ACGIH. The health risk assessment results found Hazard Quotient (HQ) was 1.20, indicating that the workers were at risk of adverse health effects from inhalation of respirable dust. The group of workers with the highest HQ of 1.67 was those responsible for loading and feeding stones into conveyor belts, followed by those responsible for sorting stones on conveyor belts ($\text{HQ}=1.57$). However, those values were obtained based on the calculation under selective data and condition. If the conditions of the situation change, the resulting value can be changed. The findings suggested that the entrepreneurs should take necessary steps to control the source of respirable dust and provide efficient respiratory protection equipment for workers. Besides, the entrepreneurs should also implement concrete safety measures to ensure the workers consistently use respiratory protection equipment throughout the working hours.

Correspondence: Arroon Ketsakorn

E-mail: arroon.k@fph.tu.ac.th

คำสำคัญ

พนักงานโรงโม่หิน, ฝุ่นละอองขนาดเล็ก, การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ

Keywords

stone mill workers, respirable dust, health risk assessment

บทนำ

ในระหว่างปี 2561–2562 อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ของประเทศไทยมีแนวโน้มขยายตัวโดยได้รับการสนับสนุนจากนโยบายภาครัฐที่อนุมัติโครงสร้างพื้นฐานทั้งโครงการเดิมและโครงการใหม่ และการลงทุนของอสังหาริมทรัพย์ตามแนวโครงการรถไฟฟ้ามหานครสายตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) และโครงการบ้านหลังใหม่ของธนาคารอาคารสงเคราะห์⁽¹⁾ หนึ่งในวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญของอุตสาหกรรมดังกล่าว คือ หิน เนื่องจากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้านตามคุณสมบัติเฉพาะตัวของหินแต่ละประเภท จากการทบทวนระบบฐานข้อมูลแหล่งหินอุตสาหกรรม และโรงโม่หินของประเทศไทย พบว่าพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน

อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี เป็นที่ตั้งของโรงโม่หินจำนวน 30 แห่ง จำนวนพนักงานในโรงโม่หิน 580 คน⁽²⁾ เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของพื้นที่กว้างร้อยละ 50 เป็นภูเขา จึงเป็นแหล่งอุตสาหกรรมเกี่ยวกับหิน เพราะมีแร่ธาตุสำคัญหลายแห่ง เช่น หินอ่อน หินปูน หินลูกรัง และหินที่ใช้ในการก่อสร้าง⁽³⁾ ประชาชนในพื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพรับจ้างในภาคอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม รองลงมาคืออาชีพเกษตรกรรมและอื่นๆ ในส่วนของสถานประกอบการโรงโม่หินได้มีการดูแลสุขภาพพนักงานอย่างต่อเนื่อง โดยผลการตรวจสุขภาพความเสี่ยงของพนักงาน ปี 2554–2559 พบว่าผลตรวจเอกซเรย์ปอดและทรวงอกผิดปกติ ร้อยละ 8.4, 13.0, 9.5, 12.0, 10.3 และ 11.4 และผลการตรวจสมรรถภาพปอดผิดปกติ ร้อยละ 12.0, 28.0, 7.8,

16.7, 17.4 และ 8.0 ตามลำดับ⁽⁴⁾ ซึ่งการตรวจสอบสุขภาพเป็นส่วนหนึ่งของการเฝ้าระวังโรคปอดจากการทำงานของพนักงาน และเป็นการค้นหาผู้ป่วยในระยะแรก (early detection) เพราะการไม่ บด ย่อยหิน มีขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ก่อให้เกิดฝุ่นจำนวนมากและมีการฟุ้งกระจาย ซึ่งหากไม่มีการจัดระบบป้องกันการกระจายของฝุ่น โอกาสการเกิดโรคปอดจากการทำงานจะสูงมาก⁽⁵⁾ กลุ่มโรคปอดจากการทำงานที่สำคัญในการเฝ้าระวังทางสุขภาพ ได้แก่ โรคปอดฝุ่นหิน ซึ่งเป็นโรคที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้⁽⁶⁾ ผลการทบทวนข้อมูลสถิติผู้ป่วยโรคปอดฝุ่นหินจากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพของกระทรวงสาธารณสุข ปี 2559 พบผู้ป่วยโรคปอดฝุ่นหินในพื้นที่จังหวัดสระบุรี จำนวน 9 ราย⁽⁷⁾ ถึงแม้ว่าการศึกษาที่ผ่านมาจะพบว่าปริมาณซิลิกาในตัวอย่างฝุ่นละอองในพื้นที่จังหวัดสระบุรีไม่เกินร้อยละ 1⁽⁵⁾ จากข้อเสนอแนะขององค์กรนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งประเทศไทย (American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH) เกี่ยวกับขีดจำกัดความเข้มข้นของฝุ่นทรายในอากาศ จึงอาจพิจารณาได้ว่าฝุ่นในโรงโม่หินที่มีซิลิกาน้อยกว่าร้อยละ 1 จัดเป็นฝุ่นที่ไม่ได้จัดประเภทของอันตรายไว้ชัดเจน (Particulate Not Otherwise Classified: PNOC) อย่างไรก็ตาม การปฏิบัติงานในโรงโม่หินทำให้พนักงานส่วนผลิตซึ่งประกอบด้วยกลุ่มงานที่สำคัญ 5 กลุ่มงาน ได้แก่ พนักงานขับรถ พนักงานป้อนหิน พนักงานนั่งคัดหิน ช่างซ่อมบำรุง และพนักงานทำความสะอาด มีความเสี่ยงต่อการรับสัมผัสฝุ่นละอองในกระบวนการผลิตหินสูงกว่าพนักงานกลุ่มอื่น เนื่องจากการดำเนินการทางวิศวกรรมต้องดำเนินการหลายมาตรการด้วยกันจึงจะสามารถควบคุมการฟุ้งกระจายของฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการดำเนินการเหล่านั้นต้องใช้งบประมาณจำนวนมากและใช้เวลา ในขณะที่เดียวกันกิจกรรมบางกิจกรรมพนักงานยังอาจต้องสัมผัสกับฝุ่น ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กของพนักงานในโรงโม่หิน ภายใต้หลักการของ

สุขศาสตร์อุตสาหกรรม ได้แก่ การคาดการณ์ล่วงหน้า การตระหนักอันตราย การประเมินผล และการควบคุม ร่วมกับการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การบ่งชี้สิ่งคุกคาม (hazard identification) หมายถึง การสำรวจค้นหาสิ่งคุกคามทางสุขภาพที่สำคัญในกระบวนการผลิตของโรงโม่หิน คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายได้ จากนั้นมีการทบทวนอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เนื่องจากฝุ่นละอองที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายได้มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่เข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ สามารถแพร่กระจายสู่ทางเดินหายใจ กระแสเลือด และแทรกซึมกระบวนการทำงานอวัยวะต่าง ๆ อาจทำให้ปอดบวม หลอดปองพอง วัณโรค และเสียชีวิตได้ รวมทั้งเพิ่มความเสี่ยงของโรคเรื้อรังของระบบทางเดินหายใจได้ เช่น โรคหลอดเลือดในสมอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหัวใจขาดเลือด โรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและปอดที่ละน้อยเป็นระยะเวลานาน จะเกิดการสะสมมากขึ้น จนแสดงเป็นอาการแบบเรื้อรัง ซึ่งจากการฉายเอ็กซเรย์จะไม่พบความผิดปกติมากนัก ถ้าหากมีปริมาณมากขึ้นเรื่อย ๆ จะมีอาการหายใจขัด หอบ ช่วงการหายใจสั้น มีอาการไอ เจ็บหน้าอก เมื่อต้องออกแรงเพียงเล็กน้อย หัวใจต้องทำงานหนัก จนถึงอาจเสียชีวิตในเวลา 5-10 ปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสุขภาพของพนักงาน ปริมาณการรับสัมผัสและเปอร์เซ็นต์ของซิลิกาบริสุทธิ์⁽⁸⁾ 2) การประเมินขนาดสัมผัสกับผลกระทบที่เกิดขึ้น (dose-response) หมายถึง การประเมินขนาดของการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ระดับต่างกันสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่างกัน ในการศึกษาได้ทำการอ้างอิงค่าขีดจำกัดความเข้มข้นของฝุ่นที่ควรนำมาใช้ในพื้นที่ ซึ่งปริมาณซิลิกาน้อยกว่าร้อยละ 1 เพื่อการควบคุมควรมีค่า 3 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มล.ก./ลบ.ม.) ดังนั้น ค่า inhalation slope factor เท่ากับ 3 มล.ก./ลบ.ม. สำหรับอนุภาคที่เข้าไปสู่ทางเดินหายใจส่วนปลาย ซึ่งเป็นบริเวณแลกเปลี่ยนก๊าซ (Respirable Particulate Matter: RPM)⁽⁹⁾ 3) การประเมินการได้รับ

สัมผัส (exposure assessment) ได้จากการคำนวณค่า กำหนดค่าตัวแปร รายละเอียดดังตารางที่ 1 และนำไป
ปริมาณการรับสัมผัส (Average Daily Dose: ADD) โดย แทนในสมการ (1)

ตารางที่ 1 การแทนค่าของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ HQ

Table 1 Substitution of variables used to calculate HQ

ตัวแปร	ค่า	หน่วย	แหล่งอ้างอิง
C=ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของ ฝุ่นละอองในบรรยากาศการทำงาน	ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองใน บรรยากาศการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง	มล.ก./ลบ.ม. ลูกบาศก์เมตร/วัน	จากผลการศึกษา ATSDR ⁽¹⁰⁾
IR=อัตราการหายใจ	15.2 ^a	ชั่วโมง/วัน	จากผลการศึกษา
ET=เวลาในการสัมผัส	8	วัน/ปี	จากผลการศึกษา
EF=ความถี่ของการสัมผัส	288 (กลุ่มตัวอย่างทำงานสัปดาห์ละ 6 วัน)		
ED=ระยะเวลาที่สัมผัส	42 (ช่วงอายุการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง 18-60 ปี)	ปี	จากผลการศึกษา
BW=น้ำหนักของร่างกาย	63 ^b	กิโลกรัม	สุปียา เจริญศิริวัฒน์ และคณะ ⁽¹¹⁾
AT=ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย	96,768 ^c	วัน	จากผลการศึกษา
RfC	3	มิลลิกรัม/กิโลกรัม-วัน	

^aอ้างอิง ค่า Default Air Intake Rates

^bอ้างอิง ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักประชาชนเพศชาย และเพศหญิงช่วงอายุ 16-60 ปีขึ้นไป

^cอ้างอิง ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ยของพนักงานโรงโม่หินจากผลการศึกษา คือ พนักงาน 1 คน มีการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน ทำงาน 6 วัน
ต่อสัปดาห์ คำนวณเป็น 192 ชั่วโมงต่อเดือน หรือ 2,304 ชั่วโมงต่อปี และระยะเวลาที่สนใจ คือ ตลอดอายุงาน จำนวน 42 ปี (ตั้งแต่
อายุ 18-60 ปี) รวมระยะเวลาที่พนักงานหนึ่งคนใช้ในการสัมผัสฝุ่นละอองจากการทำงานตลอดช่วงอายุงาน คือ 96,768 ชั่วโมงต่อปี

สูตรคำนวณ

Average Daily Dose (ADD) =
$$\frac{C \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

(1)

โดย	ADD	คือ ค่าปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นละอองต่อวัน (มล.ก./กก.-วัน)
	C	คือ ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองในบรรยากาศการทำงาน (มล.ก./ลบ.ม.)
	IR	คือ อัตราการหายใจ ⁽¹⁰⁾ (ลบ.ม./ชั่วโมง)
	ET	คือ เวลาในการสัมผัส (ชั่วโมง/วัน)
	EF	คือ ความถี่ของการสัมผัส (วัน/ปี)
	ED	คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (ปี)
	BW	คือ น้ำหนักของร่างกาย ⁽¹¹⁾ (กิโลกรัม)
	AT	คือ ระยะเวลาที่ใช้เฉลี่ย (วัน)

4) ลักษณะความเสี่ยงจากการหายใจปนเปื้อนฝุ่นละออง (risk characterization)

$$\text{สูตรคำนวณ Hazard Quotient (HQ)} = \frac{\text{ADD}}{\text{RfC}} \quad (2)$$

โดย Hazard Quotient (HQ) คือ ค่าสัดส่วนความเสี่ยง
Average Daily Dose (ADD) คือ ค่าปริมาณการรับสัมผัสฝุ่นละอองต่อวัน (มล.ก./กก.-วัน)
RfC (Reference Concentration) คือ ค่าความเข้มข้นอ้างอิงของสารมลพิษหรือปริมาณที่รับเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (มล.ก./กก.-วัน)

จากนั้นนำข้อมูลสิ่งคุกคามทางสุขภาพที่เกิดขึ้นจากการทำงาน ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมากำหนดมาตรการหรือพัฒนาระบบควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก และกำหนดมาตรการเฝ้าระวังสุขภาพพนักงานโรงโม่หินให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาปริมาณการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายได้ (respirable dust) ในสภาพแวดล้อมการทำงานของพนักงานโรงโม่หินเทียบกับค่ามาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ (Health Risk Assessment: HRA) ของพนักงานโรงโม่หินจากการสัมผัสฝุ่นละออง เพื่อนำไปสู่การจัดทำข้อเสนอแนะมาตรการเฝ้าระวังสุขภาพ ของพนักงานโรงโม่หินต่อ

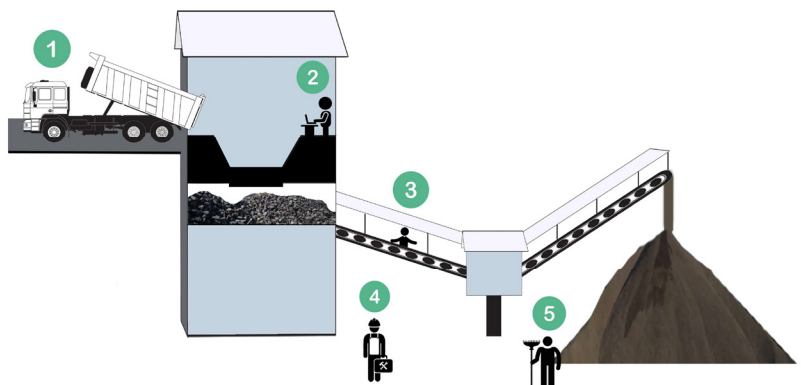
หน่วยงานภาครัฐในพื้นที่และเจ้าของสถานประกอบการต่อไป

วัสดุและวิธีการศึกษา

รูปแบบการศึกษา

การศึกษาแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) ระหว่างเดือนมีนาคม-สิงหาคม 2561 ในโรงโม่หินที่ตั้งอยู่ที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภोजังหวัดสระบุรี จำนวน 26 แห่ง กลุ่มตัวอย่าง คือ พนักงานโรงโม่หินที่ปฏิบัติงานส่วนผลิตใน 5 กลุ่มงาน ได้แก่ พนักงานขับรถ พนักงานป้อนหิน พนักงานนึ่งคัดหิน ช่างซ่อมบำรุง และพนักงานทำความสะอาด จำนวน 115 คน ดังภาพที่ 1

1. พนักงานขับรถ
2. พนักงานป้อนหิน
3. พนักงานนึ่งคัดหิน
4. ช่างซ่อมบำรุง
5. พนักงานทำความสะอาด



ภาพที่ 1 กลุ่มงานในกระบวนการผลิตโรงโม่หิน

Figure 1 Work sections in stone mill production process

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายได้ (respirable dust) หลักการทำให้อากาศที่มีอนุภาคแขวนลอยอยู่ไหล

ด้วยความเร็วสูง และหมุนเป็นวงแบบก้นหอย จะมีแรงสู่ศูนย์กลางกระทำต่ออนุภาคต่างๆ เหล่านั้น อนุภาคขนาดใหญ่จะหลุดออกจากกระแสการไหลของอากาศ เพราะแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำไม่มากพอที่จะดึงอนุภาค

ขนาดใหญ่ นั้นได้ และอนุภาคขนาดใหญ่มีแรงเฉื่อยมากกว่าขนาดเล็ก สำหรับอนุภาคขนาดเล็กจะยังคงลอยไปกับอากาศต่อไป อุปกรณ์ประกอบด้วย 1) บั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ (personal air sampling pump) ยี่ห้อ SKC 2) ชุดดักกรองและกระดากกรอง Polyvinyl Chloride (PVC) เส้นผ่านศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร 3) อลูมิเนียมไฮโดรไลด์ 4) Field blank 1 ตัวอย่างต่อ 1 ชุดการเก็บตัวอย่าง ติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบติดตัวบุคคล แก่กลุ่มตัวอย่างด้วยอัตราการใช้ 2.5 ลิตรต่อนาที เพื่อประเมินผลการตรวจวัดเป็นระดับความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงาน (TLV-TWA) เทียบกับค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (Occupational Safety and Health Administration: OSHA) เท่ากับ 5 มล.ก./ลบ.ม. และองค์การนักอุตสาหกรรมโรคทางอากาศแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (ACGIH) เท่ากับ 3 มล.ก./ลบ.ม. การวิเคราะห์ใช้วิธีชั่งน้ำหนัก (gravimetric) เครื่องชั่งดิจิทัลความละเอียดทศนิยม 5 ตำแหน่ง (0.00001 กรัม) เป็นเครื่องชั่งเดียวกันทั้งก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง โดยดำเนินการตามวิธีมาตรฐานในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจได้ของคณะกรรมการบริหารงานความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยการประกอบอาชีพ (The National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) หมายเลข 0600⁽¹²⁾

การเก็บข้อมูล

ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในสภาพแวดล้อมการทำงาน โรงโม่หินที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี คัดเลือกโรงโม่หินแบบเฉพาะเจาะจง ทั้งหมด 26 แห่ง ที่มีสถานะดำเนิน

การในปี 2561 โดยพิจารณาคัดเลือกชนิดของฝุ่นละอองที่ศึกษา ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดขึ้น ได้แก่ ศักยภาพในการคุกคามสถานะสุขภาพของพนักงาน ความพร้อมของเครื่องมือในการตรวจวัด ความพร้อมของค่ามาตรฐานและเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างในเชิงการคำนวณและประมวลผล ความเป็นตัวแทนในการรับสัมผัสฝุ่นละอองในแต่ละกลุ่มงาน จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้ (respirable particulate matter) ตามมาตรฐานของ NIOSH Method 0600 โดยติดตั้งอุปกรณ์แบบติดตัวบุคคล (personal sampling pump) ดังภาพที่ 2 เพื่อเป็นตัวแทนของการรับสัมผัสฝุ่นละอองของพนักงานในกระบวนการผลิต 5 กลุ่มงาน ประกอบด้วย พนักงานขับรถ พนักงานป้อนหิน พนักงานนั่งคัดหิน ช่างซ่อมบำรุง และพนักงานทำความสะอาด เทคนิคการสุ่มเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในโรงโม่หิน ดังภาพที่ 3 กลุ่มตัวอย่างที่ติดตั้งบั๊มเก็บตัวอย่างอากาศได้มาจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม (random sampling) ต้องเป็นพนักงานที่ปฏิบัติงานในโรงโม่หิน ที่มีอายุการทำงานอย่างน้อย 6 เดือน มีอายุ 18-60 ปี สามารถสื่อสารภาษาไทยได้ มีสัญชาติไทย เชื้อชาติไทย ยินดีเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ และเกณฑ์การคัดออก คือ พนักงานที่กำลังเป็นโรคระบบทางเดินหายใจเรื้อรังและอยู่ระหว่างการรักษาพยาบาล ทั้งนี้ก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้งจะทำการชี้แจงวัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตการดำเนินงาน แก่ทั้งเจ้าของสถานประกอบการและพนักงานโรงโม่หิน งานวิจัยนี้ได้รับการรับรองให้ดำเนินการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ชุดที่ 3 สาขาวิทยาศาสตร์ โครงการวิจัยที่ 016/2561



ภาพที่ 2 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบติดตัวบุคคล

Figure 2 Personal air sampling pump to gather dust sample



ภาพที่ 3 เทคนิคการสุ่มเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในโรงโม่หิน

Figure 3 Dust sampling technique in a stone mill

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา แสดงผลด้วยการแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด สำหรับความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ แสดงค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงาน นำผลการวิเคราะห์มาเทียบกับค่ามาตรฐาน และนำผลการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองมาประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ (Health Risk Assessment: HRA)⁽¹³⁾ ประกอบด้วย การบ่งชี้สิ่งคุกคาม (hazard identification) การประเมินขนาดสัมผัสกับผลกระทบที่เกิดขึ้น (dose-response) การประเมินการสัมผัส (exposure assessment) คำนวณหาค่าปริมาณการรับสัมผัสต่อวัน (ADD) และการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง (risk characterization) คำนวณหาค่า (Hazard Quotient: HQ)

เพื่อประเมินความเสี่ยงของการรับสัมผัสฝุ่นละอองของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการศึกษา

ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองในการทำงาน

ผลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง จำนวน 115 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 88.46 จากจำนวนที่คำนวณ 130 ตัวอย่าง เนื่องจากโรงโม่หินบางแห่งไม่มีการปฏิบัติงานในตำแหน่งที่กำหนด ณ วันที่คณะผู้วิจัยลงเก็บข้อมูล) พบปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงาน เท่ากับ 8.72 มล.ก./ลบ.ม. ค่าต่ำสุด-สูงสุด เท่ากับ 0.25-48.46 มล.ก./ลบ.ม. เมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานของ OSHA และ ACGIH พบว่า สูงเกินค่ามาตรฐาน ร้อยละ 50.43 (58 ตัวอย่าง) และร้อยละ

77.39 (89 ตัวอย่าง) ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา พนักงานขับรถ เท่ากับ 0.25 มล.ก./ลบ.ม. และพบค่า ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองจำแนกตามกลุ่มงาน สูงสุดที่พนักงานป้อนหิน เท่ากับ 48.46 มล.ก./ลบ.ม. พบค่าเฉลี่ยสูงสุดในกลุ่มงานพนักงานป้อนหิน เท่ากับ รายละเอียดดังตารางที่ 2 12.14 มล.ก./ลบ.ม. โดยพบค่าต่ำสุดที่กลุ่มงาน

ตารางที่ 2 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายได้ (respirable dust) เทียบกับค่ามาตรฐาน (n=115)

Table 2 The concentration of respirable dust compared to the standard value (n=115)

กลุ่มงาน	จำนวน ตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น			จำนวนร้อยละเมื่อเทียบกับมาตรฐาน			
		ละออง			OSHA		ACGIH	
		(มล.ก./ลบ.ม.)			(<5 มล.ก./ลบ.ม.)		(<3 มล.ก./ลบ.ม.)	
		min	max	mean	อยู่ใน เกณฑ์	สูงเกิน เกณฑ์	อยู่ใน เกณฑ์	สูงเกิน เกณฑ์
พนักงานขับรถ	22	0.25	36.76	5.93	13.91	5.22	8.70	10.43
พนักงานป้อนหิน	23	0.57	48.46	12.14	6.09	13.91	2.61	17.39
พนักงานนั่งคัดหิน	25	0.79	41.71	11.39	6.09	15.65	1.74	20.00
ช่างซ่อมบำรุง	24	1.00	24.85	7.01	13.04	7.83	5.22	15.65
พนักงานทำความสะอาด	21	1.01	29.14	6.65	10.43	7.83	4.35	13.91
รวม	115	0.25	48.46	8.72	49.57	50.43	22.61	77.39

การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ (Health Risk Assessment: HRA)

การประเมินการได้รับสัมผัส (exposure assessment) ได้จากการคำนวณค่าปริมาณการรับสัมผัสเฉลี่ย (ADD) เท่ากับ 3.61 มล.ก./กก.-วัน โดยได้จากการคำนวณค่าปริมาณการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก รายละเอียดดังตารางที่ 1 และนำไปแทนในสมการ⁽¹⁾ ภายใต้สถานการณ์ประชากรวัยทำงานที่มีปริมาณการหายใจ 15.20 ลบ.ม./วัน มีการได้รับสัมผัสปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กใน การทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงานในหนึ่งวันทำงาน เท่ากับ 8.72 มล.ก./ลบ.ม. ของ คนที่มีน้ำหนัก 63 กิโลกรัม ระยะเวลาเฉลี่ยของการได้รับสัมผัสและช่วงเวลาที่สนใจ 42 ปี (18-60 ปี) และ

ลักษณะของอันตราย (risk characteristic) จากค่าความเสี่ยงของฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลาย ที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช่การ เกิดมะเร็ง (HQ) เท่ากับ 1.20 การแปลผล HQ มีค่ามากกว่า 1 หมายความว่ากลุ่มตัวอย่างมีความเสี่ยงที่จะ เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ และ HQ มีค่าเท่ากับ 1 หรือน้อยกว่า 1 หมายความว่ากลุ่มตัวอย่างไม่มีความเสี่ยงที่จะเกิด ผลกระทบต่อสุขภาพ⁽¹⁰⁾ เมื่อคำนวณ HQ แยกตามกลุ่มงาน พบว่า มี 2 กลุ่มงานที่ HQ มากกว่า 1 ได้แก่ พนักงานป้อนหิน และพนักงานนั่งคัดหิน มีค่า HQ สูงถึง 1.67 และ 1.57 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มงานอื่นค่า HQ น้อยกว่า 1 รายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความเสี่ยง (Hazard Quotient: HQ)

Table 3 Risk assessment results (Hazard Quotient: HQ)

กลุ่มงาน	C (mg/m ³)	IR (m ³ /day)	ET (h/day)	EF (day/year)	ED (year)	BW (kg)	AT (day)	ADD (mg/kg-day)	RfC (mg/kg-day)	HQ
พนักงานขับรถ										
เฉลี่ย	5.93	15.20	8	288	42	63	96,768	2.45	3	0.82
สูงสุด	36.76	15.20	8	288	42	63	96,768	8.87	3	2.96*
พนักงานป้อนหิน										
เฉลี่ย	12.14	15.20	8	288	42	63	96,768	5.02	3	1.67*
สูงสุด	48.46	15.20	8	288	42	63	96,768	11.69	3	3.90*
พนักงานนั่งคัดหิน										
เฉลี่ย	11.39	15.20	8	288	42	63	96,768	4.71	3	1.57*
สูงสุด	41.71	15.20	8	288	42	63	96,768	10.06	3	3.35*
ช่างซ่อมบำรุง										
เฉลี่ย	7.01	15.20	8	288	42	63	96,768	2.90	3	0.97
สูงสุด	24.85	15.20	8	288	42	63	96,768	6.00	3	2.00*
พนักงานทำความสะอาด										
เฉลี่ย	6.65	15.20	8	288	42	63	96,768	2.75	3	0.92
สูงสุด	29.24	15.20	8	288	42	63	96,768	7.05	3	2.35*
รวม										
เฉลี่ย	8.72	15.20	8	288	42	63	96,768	3.61	3	1.20
สูงสุด	48.46	15.20	8	288	42	63	96,768	11.69	3	3.90*

*HQ>1 หมายความว่า มีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากปริมาณฝุ่นละออง

HQ<1 หมายความว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากปริมาณฝุ่นละออง

วิจารณ์

ผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของกลุ่มตัวอย่างในกระบวนการผลิตโรงโม่หิน มีโอกาสได้รับสัมผัสฝุ่นละอองจากการทำงานที่มีปริมาณความเข้มข้นเกินกว่ามาตรฐานของ OSHA และ ACGIH สอดคล้องกับผลการศึกษาในต่างประเทศและประเทศไทย⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ พบว่าพนักงานในโรงโม่หินในประเทศ อิหร่าน ประเทศอินเดีย และจังหวัดหนองบัวลำภู ประเทศไทย มีการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงกว่าค่ามาตรฐานของ OSHA และ ACGIH เมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองมาคำนวณค่า HQ พบว่า มี 2 กลุ่มงานที่มีค่ามากกว่า 1 คือ พนักงานป้อนหินและพนักงานนั่งคัดหิน มีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพภายใต้

สถานการณ์ที่กำหนด ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลการศึกษาในกลุ่มพนักงานโรงโม่หิน จังหวัดนครราชสีมา⁽¹⁷⁾ ที่พบว่ากลุ่มงานที่พบความเสี่ยงมากที่สุด คือ ช่างซ่อมบำรุง รองลงมา คือ พนักงานป้อนหิน และแม่บ้าน/คนสวน ตามลำดับ สาเหตุอาจเนื่องมาจากทั้งสองการศึกษามีการแบ่งกลุ่มงานพนักงานแตกต่างกัน ลักษณะการทำงาน กำลังการผลิต และสภาพแวดล้อมการทำงานในระหว่างการเก็บตัวอย่างอาจมีความแตกต่างกัน จึงทำให้ค่า HQ ของทั้งสองการศึกษาแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่าเฉลี่ยของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่พบสูงสุดของแต่ละกลุ่มงานมาคำนวณค่า HQ พบว่า ทุกกลุ่มงานมีค่า HQ มากกว่า 1 หมายความว่า กลุ่มตัวอย่างมีความเสี่ยงที่จะเกิดผล

กระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กได้สอดคล้องกับผลการศึกษาในประเทศจีน และประเทศไทย⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ ที่พบว่า กลุ่มพนักงานโรงโม่หินและช่างก่อสร้างถนนมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีค่าเกินค่าที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่าง ยังมีความเสี่ยงที่จะเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากการทำงานภายใต้สภาพแวดล้อมการทำงานดังกล่าวได้ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการควบคุมปริมาณการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากกระบวนการผลิตใน โรงโม่หิน ควบคุมไปกับการจัดหาอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจที่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะป้องกันการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดอนุภาคเล็กจากเจ้าของสถานประกอบการแก่พนักงาน ร่วมกับการเน้นย้ำให้พนักงานสวมใส่ตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงานในโรงโม่หิน

การศึกษาค้นคว้าได้นำปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไปเทียบกับมาตรฐานของต่างประเทศ เนื่องจากกฎหมายในประเทศไทยกำหนดค่ามาตรฐานเป็นขีดจำกัดความเข้มข้นของซิลิกาคริสตัลไลน์อนุภาคขนาดเล็กที่อาจสูดเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้เท่ากับ 0.025 มล.ก./ลบ.ม.⁽²⁰⁾ ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ซิลิกาบริสุทธิ์ในตัวอย่างอากาศและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาค เนื่องจากข้อจำกัดด้านความพร้อมของเครื่องมือการเก็บตัวอย่างในเชิงการคำนวณและประมวลผล จึงไม่ได้คำนวณความเข้มข้นดังกล่าวไปเทียบกับมาตรฐานของประเทศไทย

สรุปผล

ผลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง พบปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองเฉลี่ย 8 ชั่วโมงการทำงานเท่ากับ 8.72 มล.ก./ลบ.ม. เมื่อนำค่าผลการตรวจวัด 115 ตัวอย่าง ไปเทียบกับค่ามาตรฐานของ OSHA ที่กำหนดค่ามาตรฐาน เท่ากับ 5 มล.ก./ลบ.ม. พบว่า สูงเกินค่ามาตรฐานดังกล่าวร้อยละ 50.44 (58 ตัวอย่าง) และเมื่อนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานของ ACGIH พบว่า สูงเกินค่ามาตรฐานร้อยละ 77.39 (89 ตัวอย่าง) เนื่องจากค่า

มาตรฐานของ ACGIH มีการคุมเข้มกว่าจึงมีการกำหนดปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่า และผลการประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ พบว่า ค่า HQ เฉลี่ยเท่ากับ 1.20 หมายความว่า มีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากปริมาณฝุ่นละออง เมื่อคำนวณ HQ ตามกลุ่มงาน พบว่า พนักงานบ่อนหินและพนักงานนั่งคัดหินมีค่า HQ มากกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าพนักงานโรงโม่หิน 2 กลุ่มงานมีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพจากปริมาณฝุ่นละอองมากกว่าพนักงานขับรถช่างซ่อมบำรุง และพนักงานทำความสะอาด แต่อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวเป็นการคำนวณตามเงื่อนไขของสถานการณ์ในการเลือกข้อมูลมาคำนวณ หากเงื่อนไขของสมการเปลี่ยนแปลงไป เช่น สถานประกอบกิจการไม่มีการควบคุมแหล่งกำเนิดฝุ่นภายในโรงโม่หิน พนักงานอาจมีการได้รับสัมผัสปริมาณฝุ่นที่มีความเข้มข้นฝุ่นละอองต่ำหรือสูงกว่าเดิม และระยะเวลาการทำงานยาวนานกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน เนื่องมาจากการทำงานล่วงเวลา จะทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดข้อเสนอนะ

เจ้าของสถานประกอบกิจการควรลดความเสี่ยงต่อการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยการควบคุมปริมาณการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากกระบวนการผลิตในโรงโม่หิน ควบคุมไปกับการจัดหาอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจที่มีประสิทธิภาพกรองอนุภาคขนาดเล็ก เช่น หน้ากาก N95 และเพียงพอในการป้องกันการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนปลายแก่พนักงาน ร่วมกับมีมาตรการที่เข้มงวดให้พนักงานสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงานในโรงโม่หิน

เนื่องจากผลการศึกษาปริมาณซิลิกาในตัวอย่างฝุ่นละอองในพื้นที่จังหวัดสระบุรีมีเปอร์เซ็นต์ไม่เกินร้อยละ 1 มีการศึกษาตั้งแต่ปี 2543 ประกอบกับสภาพแวดล้อมในพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น สภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ตลอดจนแหล่งกำเนิดมลพิษสิ่งแวดล้อมทั้งจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมคว้นเสียจากรถยนต์ ในพื้นที่เพิ่มสูงขึ้นจากเดิมประมาณ

20 ปีก่อน จึงควรมีการศึกษาปริมาณร้อยละซิลิกาในตัวอย่างฝุ่นละอองให้เป็นข้อมูลปัจจุบัน เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการเฝ้าระวังสุขภาพพนักงานที่มีโอกาสสัมผัสฝุ่นละอองในพื้นที่ และในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการเก็บข้อมูลระบบทางวิศวกรรมการควบคุมปริมาณฝุ่นละอองในระหว่างที่มีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลแสดงประสิทธิภาพการควบคุมฝุ่นละอองของระบบดังกล่าวเชื่อมโยงกับปริมาณการสัมผัสฝุ่นละอองของพนักงานในโรงโม่หิน ข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้คือ ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ครบทั้ง 5 กลุ่มงานในโรงโม่หินบางแห่ง เนื่องจากวันที่ลงเก็บข้อมูลพนักงานไม่มีการทำงานครบทุกกลุ่มงาน และควรมีการเก็บข้อมูลเวลาการทำงานที่พนักงานปฏิบัติแต่ละกลุ่มงาน เนื่องจากในพนักงานหนึ่งคนอาจมีการปฏิบัติงานหลายกลุ่มงานในระหว่างการเก็บตัวอย่าง

แหล่งทุน

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 74/2561

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานต่าง ๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์และความร่วมมืออย่างดียิ่ง ดังนี้ ได้รับความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือในการเก็บตัวอย่างจากสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 4 สระบุรี สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 9 นครราชสีมา ได้รับความร่วมมืออย่างดียิ่งจากหน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ประกอบด้วย สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดสระบุรี สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดสระบุรี โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลหน้าพระลาน โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพบ้านหนองจาน องค์การบริหารส่วนตำบลหน้าพระลาน เทศบาลตำบลหน้าพระลาน และได้รับความอนุเคราะห์สถานที่และข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่งจากเจ้าของสถานประกอบกิจการและพนักงานโรงโม่หินในพื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี

เอกสารอ้างอิง

1. The Office of Industrial Economics (TH). Industrial Economic Status Report 2018 and trend 2019. Bangkok: The Office of Industrial Economics; 2018. (in Thai)
2. Saraburi Provincial Industrial Office. Information of the stone chushing mill in Saraburi province 2018. Saraburi: Saraburi Provincial Industrial Office; 2018. (in Thai)
3. Na Phra Lan Subdistrict Municipality Office. Basic demographic information 2018. Saraburi: Na Phra Lan Subdistrict Municipality Office; 2018. (in Thai)
4. Kongsaktrakul K, Samana K. Guidelines for health screening of at-risk occupations and people living in areas at risk of being exposed to small dust particles, fiscal year 2016. 1st ed. Saraburi: Office of Disease Prevention and Control, Region 4 Saraburi; 2016. (in Thai)
5. Division of Occupational Health, Department of Health (TH). Silicosis Elimination. Nonthaburi: Division of Occupational Health; 2000. (in Thai)
6. Ruangthawee Y. Effects of particulate from a crushing plant on students's health: case study of schools in thung luang subdistrict, pak tho district, Ratchaburi province [thesis]. Nakhon pathom: Silpakorn University; 2009. (in Thai)
7. Division of Occupational and Environmental Diseases (TH). Report on the situation of diseases and health hazards from occupation and environment in 2016. Nonthaburi: Division of Occupational and Environmental Diseases; 2017. (in Thai)
8. National Institute for Occupational Safety and Health. Particulates not Otherwise Regulated Respirable 0600. Bangkok: National Institute

- for Occupational Safety and Health; 1998. p. 6.
9. United States Environmental Protection Agency UE. Human health risk assessment [Internet]. [cited 2019 Jan 20]. Available from: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment#tab-1>.
 10. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Appendix G: Calculating Exposure Doses [Internet]. 2005 [cited 2019 Jan 20]. Available from: [http://medbox.iab.me/modules/en-cdc/www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/appg.html#:~:text=The%20EF%20is%20calculated%20by,be%20averaged%20\(Exhibit%202\).&text=The%20use%20of%20an%20exposure,during%20the%20period%20of%20exposure](http://medbox.iab.me/modules/en-cdc/www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/appg.html#:~:text=The%20EF%20is%20calculated%20by,be%20averaged%20(Exhibit%202).&text=The%20use%20of%20an%20exposure,during%20the%20period%20of%20exposure).
 11. Charoensiriwat S, Tanprasert C, Tiyananti P, Phuphat S, Boonporn P, Pithong A, et al. Survey and research project on Thai body size standard (SizeThailand) Year 2007–2008 [Internet]. 2006 [cited 2019 Jan 20]. Available from: http://www.sizethailand.org/region_all.html. (in Thai)
 12. Phanprasit W. Industrial Hygiene : Strategy Assessment Control and Management. 1st ed. Bangkok: Mahidol University; 2014. (in Thai)
 13. Phanprasit W, Sirirattanapruek S, Sitapruek W. The pilot project of the applied stone dust filter mask among the stone mill workers. Bangkok: Mahidol University; 2001. (in Thai)
 14. Bahrami AR, Golbabai F, Mahjub H, Qorbani F, Aliabadi M, Barqi M. Determination of exposure to respirable quartz in the stone crushing units at Azendarian–West of Iran. *Industrial Health*. 2008;46:404–08.
 15. Fulekar MH. Occupational exposure to dust in quartz manufacturing industry. *The Annals of Occupational Hygiene*. 1999;43(4):269–73.
 16. Thainam N. Small dust spread from the crushing plant Nongkhai District Nong Bua Lam Phu Province [thesis]. Mahasakham: Mahasakham University; 2009. (in Thai)
 17. Madardam U, Yimthiang S, Mongkonkansai J. Pulmonary function and health risk of dust exposure among stone mill workers in Nakhon Si Thammarat province. *Thai Journal of Public Health*. 2019;49(3):339–49. (in Thai)
 18. Mo S, Wang Y, Xiong F, Hao G, Chen X, Tsang NH. Analysis and assessment of respirable particles in asphalt pavement recycling from perspectives of workers' health. *Construction and building materials*. 2021;312:125405.
 19. Uchai S, Choomkasang P, Rattanawongsa N, Kumhomkul T. Dust concentration inside the traffic police booth on Rangsit–Nakhonnayok road, Thanyaburi district, Pathumthani province and health risk assessment. *Journal of Allied Health Sciences Suan Sunandha Rajabhat University*. 2021;1:12–25. (in Thai)
 20. Department of Labor Protection and Welfare (TH). Announcement of the Department of Labor Protection and Welfare Re: Limits of Concentration of Hazardous Chemicals [Internet]. 2017 [cited 2019 Jan 20]. Available from: <http://cste.sut.ac.th/csteshe/wp-content/lews/Law28.pdf> (in Thai)