

การตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการวิจัย

ศูนย์วิจัยบรรพชีวินวิทยาและศูนย์นวัตกรรมใหม่ของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Investigation of Indoor Environmental Quality of the Laboratory Rooms of Paleontological Research and Silk Innovation Centers, Mahasarakham University

ธนากร รัตนพันธุ์ และ มณีรัตน์ องค์กรวรรณี

Thanakorn Rattanapunand and Maneerat Ongwandee

สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, Mahasarakham University,
Kantarawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

บทคัดย่อ

สิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการที่ไม่ดีอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่อผู้ทำงานได้ งานวิจัยนี้ตรวจวัดคุณภาพอากาศในห้องปฏิบัติการวิจัยของศูนย์วิจัยบรรพชีวินวิทยา และศูนย์นวัตกรรมใหม่ในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดได้แก่ อนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฟORMALDEHYDE โทลูอีน จุลินทรีย์ทั้งหมดในอากาศอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ เสียงรบกวน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ โดยเปรียบเทียบผลในช่วงที่มีและช่วงที่ไม่มีการทำงานในเดือนพฤษภาคม 2557 ผลการศึกษาพบว่า ช่วงมีการทำงานในห้องเตรียมตัวอย่างและห้องตัดหินซากฟอสซิลของศูนย์บรรพชีวิน มีระดับอนุภาคขนาดเล็กเพิ่มขึ้นจาก 22 และ 32 มก./ลบ.ม. เป็น 149 และ 96 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ รวมทั้งระดับเสียงรบกวนขณะทำงานมีค่าสูงกว่า 10 เดซิเบล ซึ่งเป็นเกณฑ์แนะนำด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพ ส่วนฟORMALDEHYDE และ โทลูอีนในช่วงมีการทำงานพบในอากาศในระดับต่ำกว่า 40 มก./ลบ.ม. ในขณะที่โรงเรือนหนอนไหมของศูนย์นวัตกรรมใหม่มีความเข้มข้นอนุภาคขนาดเล็กและสารอินทรีย์ระเหยต่ำกว่าห้องของศูนย์วิจัยบรรพชีวินวิทยา แต่พบดัชนีการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ในอากาศสูงกว่า 4 เท่า และยังมีสภาพอากาศที่ค่อนข้างร้อนชื้นซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานที่มีปัญหาาระบบทางเดินหายใจได้

ABSTRACT

Poor indoor environmental quality of laboratory rooms may cause adverse health effects for research staff members. This study investigated indoor air quality in the laboratories of Paleontological Research Center and Silk Innovation Center, Mahasarakham University. Measured parameters included particulate matter less than 2.5 micron ($PM_{2.5}$), formaldehyde, toluene, total airborne microorganisms, air exchange rates and noise levels during working and non-working periods. Results indicated that $PM_{2.5}$ levels in the sample-preparation and stone-cutting rooms of Paleontological Research Center increased from 22 and 23 $\mu g/m^3$ during the non-working period to 149 and 96 $\mu g/m^3$, respectively during the working period. Comparative levels of noise between the working and non-working periods were higher than 10 dB, which is considered to be harmful to workers' health. Levels

of formaldehyde and toluene were found below $40\mu\text{g}/\text{m}^3$. For the sericulture room of Silk Innovation Center, levels of $\text{PM}_{2.5}$ and VOCs were lower than those found in the Paleontological Research Center laboratories. However, an index of microbial air contamination was 4 times higher. The sericulture room had the relatively high temperature and humidity. This environment can affect workers who have respiratory problems.

1. บทนำ

สถาบันอุดมศึกษาเป็นหน่วยงานที่ให้บริการทั้งการจัดการเรียนการสอน และการดำเนินวิจัยต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องมีห้องปฏิบัติการวิจัยหลากหลายประเภทสำหรับบุคลากรและนักศึกษา โดยทั่วไปห้องปฏิบัติการวิจัยประกอบด้วย เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุ สารเคมี และตัวอย่างชิ้นงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนั้นๆ ซึ่งสามารถเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศภายในห้องหรือในอาคารได้ ในกรณีที่ห้องหรืออาคารดังกล่าวไม่มีการจัดการควบคุมสภาวะคุณภาพอากาศภายในอาคารที่เหมาะสม ซึ่งรวมถึงการระบายอากาศที่เพียงพอในการนำมลพิษจากภายในออกสู่ภายนอกอาคาร คุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมในอาคารที่ไม่ดีอาจสร้างผลกระทบต่อสุขภาพหรือสภาวะนำสบายของผู้ทำงานได้ การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดคุณภาพอากาศในห้องปฏิบัติการวิจัยที่ผ่านมาของ Sriprasertsuk [1] ได้วัดระดับฟอร์มัลดีไฮด์ (formaldehyde) ในห้องรักษาตัวอย่างสัตว์ ห้องพิพิธภัณฑ์ และห้องเก็บสารเคมี ภายในอาคารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า ความเข้มข้นฟอร์มัลดีไฮด์ในห้องรักษาตัวอย่างสัตว์มีค่าระหว่าง 159 ถึง 390 มก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอากาศในห้องทำงานทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากการใช้สารละลายฟอร์มัลลินสำหรับรักษาสภาพชิ้นตัวอย่าง นอกจากนี้มีงานวิจัยของธีรศานต์และคณะ [2] ได้ตรวจวัดอัตราการระบายอากาศของห้องบรรยายรวมทั้งผู้เรียนได้มากกว่า 100 คน ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 21 ห้องที่ใช้เครื่องปรับอากาศ พบว่า 16 ห้องที่ทำการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 8 ลิตร/วินาที-คน ต่ำกว่ามาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้ พ.ศ. 2550 ซึ่งกำหนดไว้ที่ 10 ลิตร/วินาที-คน อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในห้องเรียนได้

นอกจากนี้มีการศึกษาเพื่อตรวจวัดคุณภาพอากาศในห้องปฏิบัติการทางยาในประเทศมาเลเซียโดย Yau และคณะ [3] พบอุณหภูมิอากาศภายในห้องต่ำกว่าค่าแนะนำโดย American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) ซึ่งกำหนดไว้ที่ $23\text{-}26^{\circ}\text{C}$ และพบสารอินทรีย์ระเหยทั้งหมด (Total volatile organic compounds, TVOC) ในห้องล้างและห้องสารเคมีด้วยความเข้มข้น 22.8 และ 6.5 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยมหาสารคามตั้งอยู่ใจกลางของภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งที่พบซากดึกดำบรรพ์ที่สำคัญของประเทศไทย จึงมีการก่อตั้งศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยาของมหาวิทยาลัยขึ้น ภายในอาคารประกอบด้วยห้องปฏิบัติการต่างๆ สำหรับดำเนินการเตรียมตัวอย่าง การวิเคราะห์ และการเก็บรักษา ซึ่งลักษณะการทำงานบางประเภท เช่น การกรอชิ้นส่วนของซากฟอสซิล การตัดหินและขัดหิน สามารถก่อให้เกิดมลพิษ เช่น อนุภาคขนาดเล็ก (particulate matter, PM) รวมถึงเสียงรบกวน (noise) จากเครื่องมือการกรอและการตัดตัวอย่างหิน นอกจากนี้มหาวิทยาลัยมหาสารคามยังมีการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาการผลิตรังไหมซึ่งเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญของเกษตรกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจึงก่อสร้างอาคารศูนย์นวัตกรรมไหมขึ้นเพื่อเป็นที่รวมของเทคโนโลยีและถ่ายทอดการผลิตรังไหมไทยพื้นเมืองพันธุ์ดีสู่สาธารณะภายในศูนย์ฯ มีโรงเรือนสำหรับใช้เพื่อการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการเพาะเลี้ยงรังไหม ซึ่งสามารถก่อให้เกิดมลพิษอากาศที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงานได้ เช่น อนุภาคขนาดเล็ก จุลินทรีย์ในอากาศ เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมในห้องปฏิบัติการวิจัย 2 แห่งของมหาวิทยาลัย

มหาสารคาม คือ ศูนย์วิจัยและการศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาคาร และ ศูนย์นวัตกรรมใหม่ ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการวิจัยที่มีลักษณะเฉพาะตัวแตกต่างจากห้องปฏิบัติการวิจัยทางเคมีและชีววิทยาทั่วไป โดยตรวจสอบคุณภาพอากาศและสภาวะแวดล้อมในขณะที่ปฏิบัติงาน และเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดในช่วงไม่ปฏิบัติงาน ซึ่งจะใช้เป็นระดับอ้างอิงพื้นฐาน รวมทั้งเสนอแนะวิธีการเพื่อใช้บรรเทาปัญหาคุณภาพอากาศภายในห้องปฏิบัติการ อันจะช่วยส่งเสริมสุขภาพและคุณภาพชีวิตในการทำงานของนักวิจัยในศูนย์ศึกษาดังกล่าว

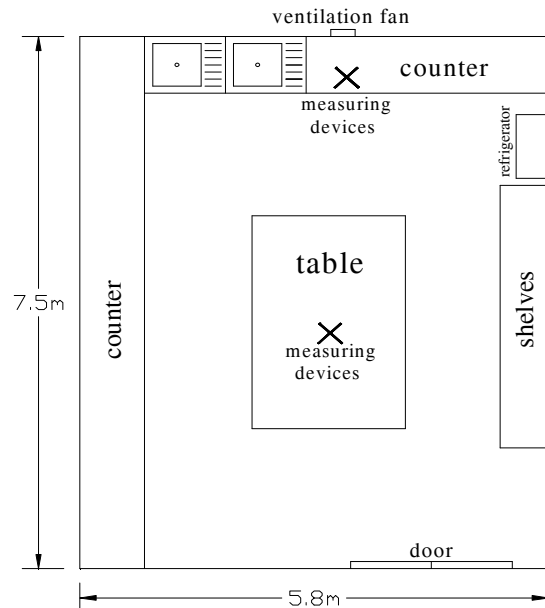
2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ห้องปฏิบัติการ และช่วงเวลาการศึกษา

ผู้วิจัยทำการตรวจวัดห้องปฏิบัติการ 3 ห้อง คือ ห้องเตรียมตัวอย่าง และห้องตัดหิน ของศูนย์วิจัยและการศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาคาร และ โรงเรือนหนอนใหม่ของศูนย์นวัตกรรมใหม่ โดยแบ่งช่วงการตรวจวัดเป็น 2 ช่วง ได้แก่ วันที่มีการทำงานภายในห้องปฏิบัติการ และวันที่ไม่มีการทำงานเพื่อใช้เป็นระดับอ้างอิง ทำการตรวจวัดในเดือนพฤษภาคม 2557 ช่วงเวลา 10:00–14:00 น. ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดอยู่บริเวณกลางห้อง ไม่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมลพิษมากเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 1-3 ลักษณะของห้องปฏิบัติการ โดยสังเขปเป็นดังนี้

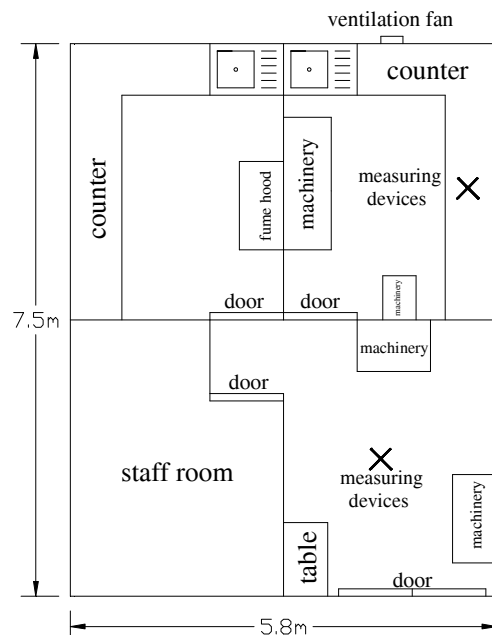
2.1.1 ศูนย์วิจัยและการศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาคาร

(ก) ห้องเตรียมตัวอย่าง มีขนาดของห้อง 5.8x7.5x3.5 ลบ.ม. มีการเปิดเครื่องปรับอากาศขณะทำงาน โดยเครื่องปรับอากาศเป็นแบบแยกส่วน (split type) และมีพัดลมระบายอากาศ แพนผังห้องแสดงดังรูปที่ 1 (เครื่องหมายกากบาทแสดงจุดตรวจวัดอากาศ) ภายในห้องประกอบด้วยซากฟอสซิลหินจำนวนมากเพื่อจะทำการเจียรแยกหินออกจากกระดูกฟอสซิลโดยใช้เครื่องกรอ แบบหัวปากกา



รูปที่ 1 แพนผังห้องเตรียมตัวอย่าง

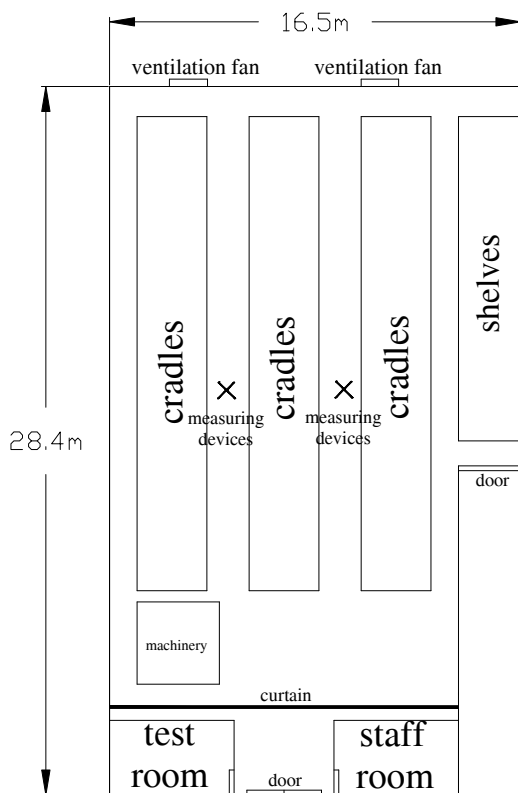
(ข) ห้องตัดหิน ขนาด 5.8x7.5x3.5 ลบ.ม. มีการเปิดเครื่องปรับอากาศขณะทำงานโดยเครื่องปรับอากาศเป็นแบบแยกส่วน และมีพัดลมระบายอากาศ แพนผังห้องแสดงดังรูปที่ 2 ภายในห้องประกอบด้วยเครื่องตัดหินไฟฟ้าที่ใช้ใบตัดตั้งอยู่ในห้องส่วนหน้า ส่วนห้องด้านหลังมีเครื่องเจียรหินไฟฟ้า



รูปที่ 2 แพนผังห้องตัดตัวอย่าง

2.1.2 ศูนย์นวัตกรรมใหม่

โรงเรียนหนองใหม่ ขนาด 28.4x16.5x3.5 ลบ.ม. ภายในประกอบด้วยรางที่ใช้แขวนเปลสำหรับเลี้ยงหนอนไหม จำนวน 3 แถว มีพัดลมระบายอากาศขนาด 1 แรงม้า เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 1,270 มม. จำนวน 2 เครื่องติดที่ผนังด้านหลังโรงเรียนส่วนหน้าต่างด้านข้างโรงเรียนติดตั้งระบบ Evaporative cooling system (Evap) สร้างความชื้นในอากาศขึ้น พื้นที่ระหว่างส่วนเปลเลี้ยงหนอนไหมกับด้านหน้าถูกกั้นด้วยผ้าม่านพลาสติกหนา โดยปกติประตูโรงเรียนจะเปิดไว้ตลอดเวลาที่มีการเลี้ยงหนอนไหม แผนผังโรงเรียนแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังโรงเรียนหนองใหม่

2.2 ประเภทมลพิษ และพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมที่ตรวจวัด

เนื่องจากแหล่งกำเนิดภายในห้องปฏิบัติการ เช่น ลักษณะการทำงานที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองและเกิดเสียงดังจากเครื่องมือ เฟอร์นิเจอร์ สารเคมี วัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ อาจปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหย เช่น ฟอर्मัลดีไฮด์ หรือ

โทลูอิน รวมทั้งสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่แขวนลอยในอากาศภายในห้องปฏิบัติการทางชีววิทยาดังนั้นผู้วิจัยจึงเจาะจงตรวจวัดมลพิษอากาศและนำเสนอเฉพาะบางพารามิเตอร์ในบทความนี้ ได้แก่ (1) อนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$), (2) ฟอर्मัลดีไฮด์ (formaldehyde), (3) โทลูอิน (toluene) และ (4) จุลินทรีย์ทั้งหมดในอากาศ (total airborne microorganisms) สำหรับพารามิเตอร์ชี้วัดสภาพแวดล้อมของห้องที่ศึกษา ได้แก่ (1) อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้อง (2) เสียรบกวน และ (3) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วิธีการตรวจวัดเป็นแบบการเก็บตัวอย่างเชิงพื้นที่ (area-based sampling) และเครื่องมือที่ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 อนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนวัดด้วยเครื่องวัดปริมาณอนุภาคแขวนลอยในอากาศแบบเลเซอร์ (Dust Trak II Model, TSI Inc., USA) โดยเครื่องบันทึกค่าความเข้มข้นอนุภาคอย่างต่อเนื่องอัตโนมัติทุกๆ 1 นาที

2.2.2 ฟอर्मัลดีไฮด์ใช้หลอดเก็บตัวอย่างภายในบรรจุซิลิกาเจลเคลือบด้วย dinitrophenylhydrazine (DNPH) 60/80 mesh (SKC Inc., USA) เก็บตัวอย่างอากาศครั้งละ 2 หลอด การดูดอากาศใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างชนิดพกพา (SKC Inc., USA) ด้วยอัตราการไหลของอากาศประมาณ 0.2 ลิตรต่อนาที ทำการสกัดสารดูดซับด้วยสารละลาย acetonitrile (ACN) แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง high performance liquid chromatography (HPLC) ใช้เครื่องวัด (detector) แบบ UV วัดที่ค่าความยาวคลื่น 360 นาโนเมตร และมี mobile phase คือ ACN 60% และน้ำ 40% หากค่าเชิงปริมาณโดยการปรับเทียบกับสารละลายมาตรฐานจำนวน 4 ความเข้มข้นคือ 0, 0.1, 0.5 และ 1 มก./มล.

2.2.3 โทลูอิน ใช้หลอดเก็บตัวอย่างภายในบรรจุ activated charcoal 60/80 mesh (SKC Inc., USA) เก็บตัวอย่างอากาศครั้งละ 2 หลอด การดูดอากาศใช้ปั๊มเก็บตัวอย่างชนิดพกพาด้วยอัตราการไหลของอากาศประมาณ 0.2 ลิตรต่อนาที ทำการสกัดสารดูดซับด้วยตัว

ทำละลาย carbondisulfide แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่อง gas chromatography/mass spectrometer (GC/MS) หา ค่าเชิงปริมาณโดยการเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐาน จำนวน 4 ความเข้มข้นคือ 0, 5, 10 และ 20 มก./มล.

2.2.4 จุลินทรีย์ทั้งหมดในอากาศใช้วิธี passive air sampling โดยการนำเอาเพลท (petri dish) ขนาด มาตรฐานเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 ซม. ที่บรรจุอาหารเลี้ยงเชื้อ ชนิด potato dextrose agar (PDA) มาวางให้สัมผัสกับ อากาศเป็นเวลา 1 ชม. วางเพลทสูงจากพื้น 1 ม. และห่าง จากผนังอย่างน้อย 1 ม. ตามหลักการวัดที่เรียกว่า 1/1/1 scheme จากนั้นนำไปเพาะที่อุณหภูมิ 36±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชม. นับจำนวนโคโลนีทั้งหมด ค่าที่ได้ เรียกว่า ดัชนีการปนเปื้อนด้วยจุลินทรีย์ในอากาศ (Index of Microbial Air contamination, IMA) [4] โดยแต่ละ ห้องวางเพลททั้งหมด 8 เพลท กระจายตามตำแหน่งต่างๆ

2.2.5 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศโดยใช้วิธีการ สลายตัวของก๊าซทำรอย (tracer gas decay method) [5] ในการศึกษาที่ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซการทำรอย วัดค่าความ เข้มข้นก๊าซอย่างต่อเนื่องทุก 2 นาทีเป็นเวลา 2 ชม. ใน ระหว่างเครื่องบันทึกค่า ห้ามมีบุคคลอยู่ในห้อง เนื่องจาก จะส่งผลต่อก๊าซทำรอยคาร์บอนไดออกไซด์ที่วัดได้ ดังนั้น การวัดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศจึงกระทำแยกต่างหาก จากวันที่วัดค่าพารามิเตอร์อื่นจากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหา อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศด้วยหลักสมมูลมวลของก๊าซทำ รอยในอากาศภายในห้องโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป nonlinear regression analysisคำนวณค่าพารามิเตอร์

2.2.6 เสียง วัดด้วยเครื่องวัดระดับเสียง GA6224/6 model (Castle Group Inc., UK) ใช้มาตรฐานระดับเสียงวงจรถ่วงน้ำหนัก A แบบ fast วัดค่า ระดับเสียง L_{Aeq} และ L_{A90} [6] อย่างต่อเนื่องทุกๆ 1 นาที

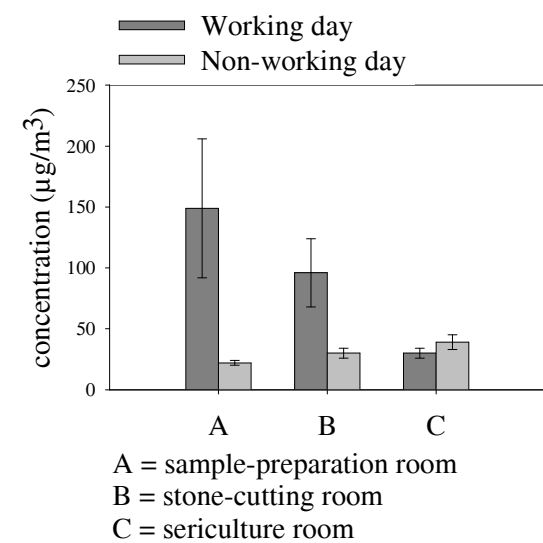
2.2.7 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใช้เครื่อง testo608-H2 (TestoInc., Germany) ในการวัด โดย การจดบันทึกทุก 1 ชม.

สำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลใช้ เครื่องมือสถิติ One-way ANOVA ด้วยโปรแกรมสถิติ สำเร็จรูป SPSS® for Window, version 15.0

3. ผลการทดลอง

3.1 อนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

รูปที่ 4 แสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายในห้องปฏิบัติการทั้งสาม พบว่า ความเข้มข้นภูมิหลัง วัดในช่วงไม่มีการทำงานของห้องเตรียมตัวอย่าง และห้อง ตัดหิน มีค่าเฉลี่ย 22 และ 32 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ แต่ ในช่วงมีการทำงานค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นอย่างมี นัยสำคัญที่ระดับ 0.05 มีค่าเท่ากับ 149 และ 96 มก./ ลบ.ม. ตามลำดับ สำหรับโรงเรือนหนอนไหม วัดในช่วง เลี้ยงหนอนไหมเทียบกับช่วงโรงเรือนไม่มีการเลี้ยง มีความเข้มข้นเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 30 และ 39 มก./ลบ.ม.



รูปที่ 4 ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายในห้องปฏิบัติการ

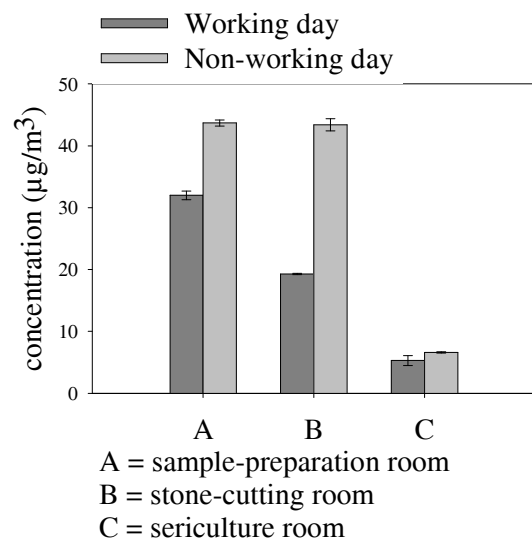
เมื่อเปรียบเทียบระดับ $PM_{2.5}$ ในช่วงมีการทำงาน ระหว่างทั้ง 3 ห้องปฏิบัติการพบว่าห้องเตรียมตัวอย่างมีค่า ความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่าห้องตัดหินและโรงเรือนหนอน ไหมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เนื่องจากในห้องเตรียม ตัวอย่างมีการใช้เครื่องมือกรอซากฟอสซิลหินซึ่งเป็นการ กรออย่างละเอียดจึงทำให้เกิดฝุ่นขนาดเล็กจำนวนมาก ถึงแม้ว่ามีการติดตั้งระบบดูดอนุภาคฝุ่นเฉพาะที่ (suction hood) ที่เกิดจากการกรอตัวอย่าง แต่ระบบดูดมี

ประสิทธิภาพหรือกำลังในการสร้างแรงดูดสูญญากาศไม่เพียงพอ จึงทำให้เกิดการเล็ดลอดของอนุภาคฝุ่นจำนวนมากปนเปื้อนในอากาศภายในห้องปฏิบัติการ ในขณะที่ห้องตัดหินใช้เครื่องมือตัดที่มีการใช้น้ำในขณะที่ตัดตัวอย่าง พร้อมฝากรอบกันฝุ่น จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่ำกว่าห้องเตรียมตัวอย่างส่วนอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กในโรงเรือนหนอนใหม่มีค่าใกล้เคียงกับค่าภูมิหลัง ทั้งนี้เป็นเพราะฝุ่นที่ฟุ้งกระจายส่วนใหญ่มาจากชิ้นส่วนไบหม้อและมูลถ่ายของหนอนใหม่ซึ่งจัดเป็นอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมครอนนอกจากนี้อัตราการระบายอากาศของโรงเรือนที่สูงมาก อาจมีส่วนช่วยลดความเข้มข้นมลพิษที่แหล่งกำเนิดภายในโรงเรือนลงได้

3.2 ฟอรั่มัลดีไฮด์

ผลจากการวัดค่าฟอรั่มัลดีไฮด์แสดงดัง รูปที่ 5 พบว่าห้องเตรียมตัวอย่างและห้องตัดหินในช่วงไม่ทำงานวัดความเข้มข้นเฉลี่ยได้ 43.7 และ 43.4 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ ในขณะที่ช่วงมีการทำงานกลับมีระดับเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 32.0 และ 19.3 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อมีการปฏิบัติงานนักวิจัยมีการเปิดประตูเดินเข้าออกบ่อยครั้ง จึงส่งผลให้ฟอรั่มัลดีไฮด์ที่ปลดปล่อยมาจากเฟอร์นิเจอร์ไม้ขัดและปาติเกิดภายในห้องถูกระบายออกนอกห้อง จึงทำให้ความเข้มข้นลดลงกว่าในช่วงที่ไม่มีการทำงานซึ่งประตูและหน้าต่างของห้องวิจัยถูกปิดตลอดเวลา มีเพียงการเปิดเครื่องปรับอากาศเท่านั้น ส่วนสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติเตรียมตัวอย่างและตัดหิน ได้แก่ กาวน้ำเชื่อมประสานชิ้นตัวอย่างฟอสซิลที่บรรจุในขวดพลาสติกมีฝาปิด ขนาด 20มล. ไม่มีการระเหยส่วนประกอบทางเคมีข้างขวดโดยทั่วไปกาวน้ำไซยาโนอะคริเลต (cyanoacrylate, $C_5H_5NO_2$) ไม่มีส่วนผสมของฟอรั่มัลดีไฮด์ซึ่งแตกต่างจากกาวยูเรียฟอรั่มัลดีไฮด์ (U-F resin) ที่มีฟอรั่มัลดีไฮด์เป็นองค์ประกอบหลักเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นฟอรั่มัลดีไฮด์ที่วัดในสำนักงาน 12 แห่งในกรุงเทพมหานคร [7] พบว่ามีค่าเฉลี่ย 35.5 มกค./ลบ.ม. ซึ่งใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่ตรวจวัดในห้องปฏิบัติการทั้งสอง สำหรับโรงเรือนหนอนใหม่มีระดับฟอรั่มัลดีไฮด์

วัดในช่วงไม่มีการเลี้ยงและมีการเลี้ยง ไม่แตกต่างกัน คือ 6.6 และ 5.3 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ ถึงแม้ว่าช่วงไม่มีการเลี้ยงหนอนใหม่มีการทำความสะอาดโรงเรือนด้วยสารละลายฟอรั่มัลดีไฮด์ (formalin) เพื่อฆ่าเชื้อก็ตาม แต่การระบายอากาศของโรงเรือนที่สูงมาก (ผลแสดงในหัวข้อถัดไป) จึงไม่ทำให้เกิดการสะสมของฟอรั่มัลดีไฮด์ในอากาศ โดยประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2515 แนะนำค่าความเข้มข้นฟอรั่มัลดีไฮด์ไม่ควรเกิน 3 ppm หรือ 3,680 มกค./ลบ.ม. [8] ซึ่งห้องปฏิบัติการทั้งสามไม่พบว่า มีความเข้มข้นเกินค่าแนะนำดังกล่าว

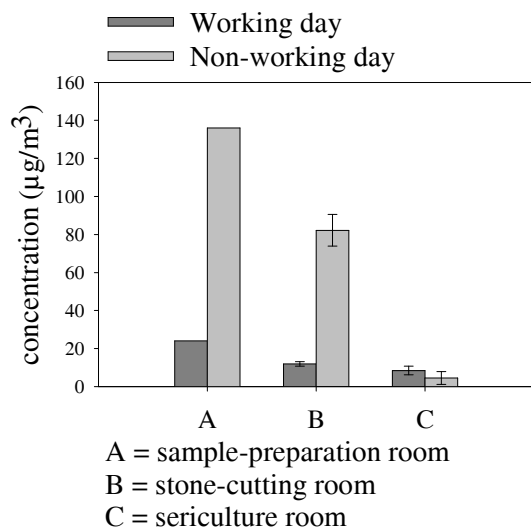


รูปที่ 5 ระดับฟอรั่มัลดีไฮด์ภายในห้องปฏิบัติการ

3.3 โทลูอิน

ผลจากการวัดความเข้มข้นโทลูอินในอากาศแสดงดัง รูปที่ 6 พบว่า ห้องเตรียมตัวอย่างและห้องตัดหินในช่วงไม่ทำงาน มีค่าเท่ากับ 136 และ 82.2 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ ช่วงมีการทำงานมีค่าเท่ากับ 24.0 และ 12.0 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ โดยในระหว่างเก็บตัวอย่างห้องเตรียมตัวอย่างเกิดความผิดพลาดทำให้สามารถเก็บตัวอย่างได้ครั้งเดียว ซึ่งโทลูอินของห้องเตรียมตัวอย่าง และห้องตัดหินในช่วงไม่มีการทำงาน มีค่าสูงกว่าในช่วงที่มีการทำงาน เช่นเดียวกับผลการตรวจวัดฟอรั่มัลดีไฮด์ โดยทั่วไปโทลูอินเป็นสารอินทรีย์ระเหยที่มักตรวจพบในปริมาณสูงกว่าสารอินทรีย์ชนิดอื่นภายในอาคารที่ไม่เกี่ยวข้องกัน

อุตสาหกรรม โทลูอินในอาคารมีแหล่งกำเนิดจากหลายแหล่งด้วยกัน เช่น ตัวทำละลายของสีทาอาคาร สารเคลือบผิววัสดุ กาวหรือสารเชื่อมประสาน หมึก เป็นต้น การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยในสำนักงาน 12 แห่งในกรุงเทพมหานคร [9] พบความเข้มข้นโทลูอินมากที่สุดในจำนวนสารอินทรีย์ระเหยที่ตรวจวัด 13 ชนิด โดยพบในระดับ 35-230 มกค./ลบ.ม. ในห้องตัดหินของศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยา มีเครื่องตัดหินที่ใช้ น้ำมันหล่อลื่น จึงเป็นแหล่งกำเนิดของโทลูอินเช่นกัน สำหรับโรงเรียนหนองไผ่มีระดับโทลูอินทั้งช่วงไม่มีการเลี้ยงและมีการเลี้ยง ไม่แตกต่างกัน คือ 4.5 และ 8.4 มกค./ลบ.ม.ตามลำดับ โดยประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2515 แนะนำค่าความเข้มข้นโทลูอินไม่ควรเกิน 140 มกค./ลบ.ม.[8]ซึ่งไม่มีห้องปฏิบัติการใดเกินระดับดังกล่าว

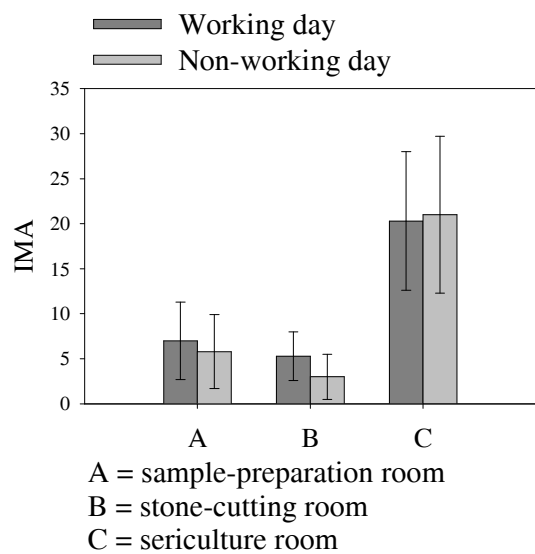


รูปที่ 6 ระดับโทลูอินภายในห้องปฏิบัติการ

3.4 จุลินทรีย์ทั้งหมดในอากาศ

ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในอากาศของห้องปฏิบัติการทั้งสามแสดงด้วยค่าดัชนี IMA โดย IMA=1 เทียบเท่า 1.5-1.8 CFU/dm²/h จากการวัดปริมาณจุลินทรีย์ด้วยวิธีแอ็กทีฟ (active sampling) [4] ตามรูปที่ 7 พบว่า ห้องปฏิบัติการวิจัยทั้ง 2 ห้องของศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยามีค่า IMA ในช่วงทำงานและไม่มีการทำงาน อยู่ในระดับใกล้เคียงประมาณ 3-7 ส่วนโรงเรียนหนองไผ่มีค่า IMA สูงกว่าทั้ง 2 ห้อง

อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยช่วงที่มีการเลี้ยงและไม่มีการเลี้ยงมีค่า IMA ใกล้เคียงกันประมาณ 21 อย่างไรก็ตามการตรวจวัดในช่วงมีการเลี้ยงหนองไผ่พบว่าการเจริญเติบโตของเชื้อราลักษณะจุดโคโลนีสีดำ และมีเส้นใยสีขาวในเพลทที่วัดด้วย ซึ่งพบเฉพาะโรงเรียนหนองไผ่สันนิษฐานว่าเป็น เชื้อราในกลุ่ม Cordyceps sp. บนดักแด้ใหม่ [14] ซึ่งเชื้อราในกลุ่มนี้ทำให้เกิดโรคกับแมลงและเชื้อราบนใบไม้ (leaf litter fungi) ซึ่งมาจากชิ้นส่วนของใบหม่อน เป็นเชื้อราที่ขึ้นอยู่บนซากศพของเศษพืช เศษใบไม้ กิ่งไม้ผุ หรือกองมูลสัตว์กินพืช เมื่อนำค่า IMA ที่วัดได้ในการศึกษาไปเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดที่ยอมรับได้ในสิ่งแวดล้อมที่ไม่ต้องเข้มงวดมาก (environments at low risk) ซึ่งแนะนำค่า IMA ไม่ควรเกิน 75 [4] พบว่าระดับจุลินทรีย์ในอากาศของโรงเรียนหนองไผ่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

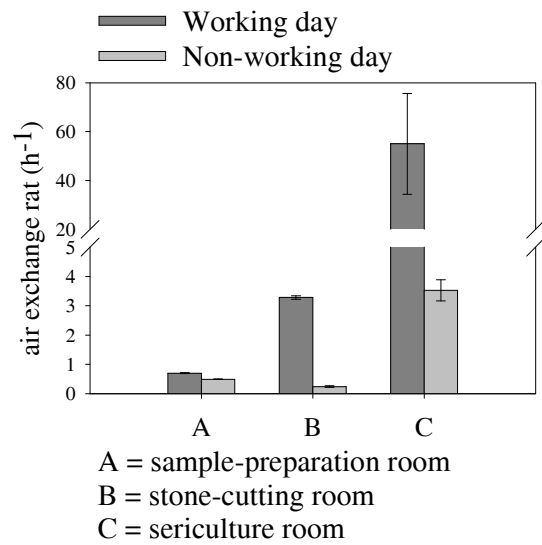


รูปที่ 7 IMA ภายในห้องปฏิบัติการ

3.5 อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

รูปที่ 8 แสดงค่าอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้องเตรียมตัวอย่างและห้องตัดหิน ซึ่งวัดในช่วงไม่เปิดเครื่องปรับอากาศ และช่วงเปิดเครื่องปรับอากาศ พบว่าห้องเตรียมตัวอย่างของทั้งกรณีเปิดและไม่เปิดเครื่องปรับอากาศมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 29.6 ลิตร/วินาที หรือ 0.7 รอบ/ชั่วโมง ถึงแม้ว่าในขณะที่เปิด

เครื่องปรับอากาศจะมีการเปิดพัดลมดูดอากาศก็ตาม แต่พัดลมทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพเพราะมีม่านกันแดดขวางอยู่ ในขณะที่ห้องตัดหินเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศจะเปิดประตูและหน้าต่างของห้องที่ติดกันไปด้วยเพื่อจำลองสถานการณ์ให้มีสภาพเดียวกับในขณะมีการทำงานจริง จึงทำให้อัตราการระบายอากาศสูงกว่ากรณีไม่เปิดเครื่องปรับอากาศและปิดประตูหน้าต่าง มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศภายในอาคารที่ยอมรับได้ พ.ศ. 2550 ของคณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร [10] ได้แนะนำค่าอัตราการระบายอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการในสถาบันการศึกษาไว้ไม่ต่ำกว่า 10 ลิตร/วินาที-คน ดังนั้น เมื่อมีผู้ปฏิบัติงานในห้องเตรียมตัวอย่าง 2 คน จึงควรมีอัตราการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 20 ลิตร/วินาที หรือคิดเป็น 0.5 รอบ/ชั่วโมง ซึ่งผลการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 29.6 ลิตร/วินาที หรือ 0.7 รอบ/ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่แนะนำ อย่างไรก็ตามก็ระดับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กในห้องดังกล่าวยังคงมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับห้องปฏิบัติการอีก 2 ห้อง ดังนั้น จึงควรใช้วิธีการระบายอากาศเฉพาะที่แหล่งกำเนิด เช่น สูดที่มีปากท่อดูดเฉพาะจุด ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการดึงอากาศบริเวณที่ปนเปื้อนออกไปภายนอกได้ดีกว่าวิธีการดึงอากาศบริสุทธิ์เข้ามาเจือจางแบบทั่วไป สำหรับห้องตัดหินโดยปกติมีผู้ทำงาน 1 คน วัดอัตราแลกเปลี่ยนอากาศได้ 138 ลิตร/วินาที หรือ 3.3 รอบ/ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าห้องเตรียมตัวอย่างมากเพราะมีการเปิดประตูหน้าต่างเพื่อระบายอากาศ ส่วนโรงเรือนหนอนใหม่ในขณะมีการเลี้ยง มีอัตราการระบายอากาศสูงถึง 2.5×10^4 ลิตร/วินาที หรือ 55 รอบ/ชั่วโมง เนื่องจากมีการใช้พัดลมดูดอากาศขนาดใหญ่บริเวณด้านหลังโรงเรือน และมีระบบ Evap ส่วนประตูด้านหน้าเปิดไว้เพื่อให้อากาศถ่ายเทตลอดเวลา สว่างสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงหนอนใหม่



รูปที่ 8 อัตราแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้องปฏิบัติการ

3.6 เสียง

ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 29 พ.ศ. 2550 [11] ได้กำหนดเสียงรบกวนไว้ที่ 10 เดซิเบล ซึ่งหมายความว่าหากระดับความแตกต่างของระดับเสียงขณะมีการรบกวนกับค่าระดับเสียงพื้นฐานมีค่ามากกว่า 10 เดซิเบล แล้วให้ถือว่าเป็นเสียงรบกวนตารางที่ 1 แสดงค่าระดับเสียงเฉลี่ยเทียบเท่า 1 ชม. ของช่วงไม่มีการทำงานซึ่งจัดเป็นระดับเสียงพื้นฐาน (L_{A90}) และของช่วงที่มีการทำงานซึ่งจัดเป็นเสียงขณะมีการรบกวน ($L_{Aeq,1 hr}$)

ผลการตรวจวัดระดับเสียงห้องเตรียมตัวอย่างห้องตัดหิน และโรงเรือนหนอนใหม่ ช่วงไม่มีการทำงานเท่ากับ 56.9, 58.2 และ 59.1 เดซิเบล และขณะมีการรบกวนหรือช่วงมีการทำงาน เท่ากับ 68.8, 82.4 และ 66.0 เดซิเบล ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่า มีค่าระดับการรบกวน (ผลต่างของ 2 ช่วง) เท่ากับ 11.9, 24, 2 และ 6.9 เดซิเบล ตามลำดับ จะเห็นว่าระดับการรบกวนในห้องเตรียมตัวอย่าง และห้องตัดหินเกินค่ามาตรฐานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติกำหนด โดยเฉพาะห้องตัดหินมีระดับการรบกวนสูงกว่ามาตรฐานถึง 2 เท่า เสียงที่เกิดจากเครื่องตัดหินมีลักษณะดังเป็นช่วงสั้นๆ ประมาณ 74 เดซิเบล โดยผู้ปฏิบัติงานใช้เวลาประมาณ 15 นาที ต่อการทำงานในแต่ละครั้งประกอบกับห้องตัดหินมีขนาดเล็ก ไม่มีการบุ

วัสดุดูดซับเสียงภายในห้อง จึงทำให้เกิดเสียงสะท้อนได้ง่าย ผู้ปฏิบัติงานจึงมีความเสี่ยงสูงจากการได้ยินเสียงดัง รบกวนถ้าไม่มีการป้องกันตนเองที่เพียงพอ สำหรับห้องเตรียมตัวอย่างมีเสียงรบกวนน้อยกว่าห้องตัดหิน เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้เป็นการกรอซาก จึงทำให้เกิดระดับเสียงต่ำกว่า

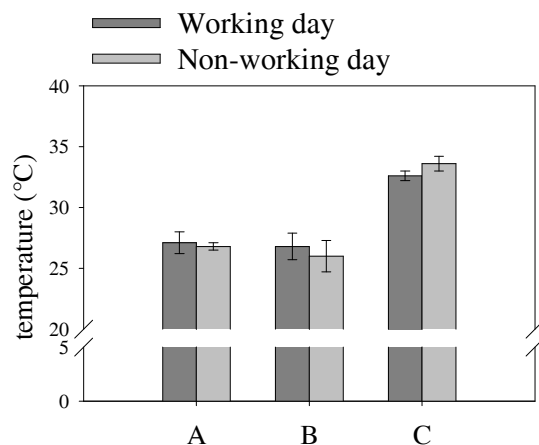
ตารางที่ 1 ระดับเสียงรบกวนภายในห้องปฏิบัติงาน

Room	Sound level (dB)		Noise (dB)
	Non-working day	Working day	
sample-preparation room	56.9	68.8	11.9
stone-cutting room	58.2	82.4	24.2
sericulture room	59.1	66.0	6.9

3.7 อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

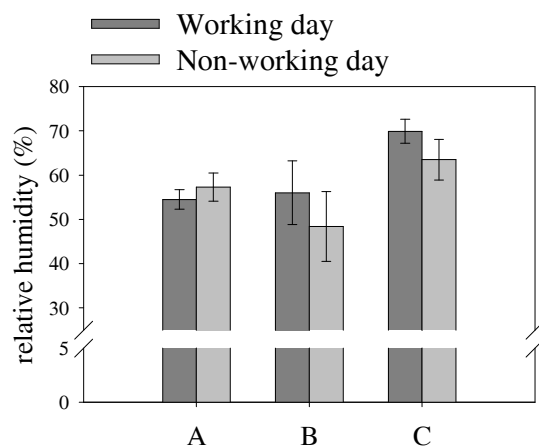
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิห้องเตรียมตัวอย่าง และห้องตัดหิน ดังแสดงในรูปที่ 9 ช่วงมีการทำงานเท่ากับ 27.1 และ 26.8°C ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 54 และ 56% ตามลำดับ (รูปที่ 10) ซึ่งห้องเตรียมตัวอย่าง และห้องตัดหินมีการควบคุมสภาวะอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศ จึงทำให้มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบายเชิงความร้อนที่กำหนดโดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน พ.ศ. 2547 [12] แนะนำอุณหภูมิเพื่อสภาวะน่าสบายของผู้อาศัยในอาคารที่ 25-26°C และความชื้นสัมพัทธ์ 50-60% สำหรับโรงเรือนหอนไหมมีอุณหภูมิค่อนข้างสูง 32.5°C และความชื้นสัมพัทธ์สูงถึง 70% เนื่องจากโรงเรือนหอนไหมเป็นอาคารที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศ เพราะต้องการสร้างสภาพบรรยากาศให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของหอนไหมที่ต้องการอากาศร้อนชื้น จึงมีเพียงการใช้พัดลมระบายอากาศด้านหลังโรงเรือน และหน้าต่างที่ติดตั้งแผงรังผึ้งที่มีม่านน้ำในระบบ Evaporative cooling นอกจากนี้ในขณะที่มีเสียงหอนไหมจะมีปีศาจของหอนไหมซึ่งเพิ่ม

ความชื้นในอากาศให้สูงขึ้น อย่างไรก็ตามก็คิดจากการตรวจวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงเลี้ยงเปรียบเทียบกับช่วงไม่เลี้ยงหอนไหม พบว่ามีค่าไม่แตกต่างกัน ประมาณ 370 ppm ใกล้เคียงกับระดับในบรรยากาศภายนอกอาคาร เนื่องจากโรงเรือนมีอัตราการระบายอากาศที่สูงมากสภาวะอากาศของโรงเรือนที่ร้อนและชื้นมากสามารถก่อปัญหาต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในโรงเรือนได้โดยเฉพาะผู้มีปัญหาระบบทางเดินหายใจ



A = sample-preparation room
B = stone-cutting room
C = sericulture room

รูปที่ 9 อุณหภูมิภายในห้องปฏิบัติการ



A = sample-preparation room
B = stone-cutting room
C = sericulture room

รูปที่ 10 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปฏิบัติการ

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการตรวจคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยบรรพชีวินวิทยา และศูนย์นวัตกรรมใหม่ มหาวิทยาลัยมหาสารคามห้องเตรียมตัวอย่าง และห้องตัดหิน มีระดับอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเพิ่มสูงขึ้นกว่าช่วงไม่มีการทำงานประมาณ 2 และ 6 เท่า ตามลำดับ และระดับเสียงรบกวนสูงเกินเกณฑ์แนะนำด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพ ซึ่งสาเหตุหลักมาจากลักษณะการทำงานภายในห้องที่ก่อให้เกิดมลพิษและมลภาวะดังกล่าว ดังนั้นการจัดการที่มีประสิทธิภาพคือการควบคุมที่แหล่งกำเนิดของมลพิษโดยตรง (source control) [13] เช่น การใช้ระบบระบายอากาศเสียเฉพาะที่มีประสิทธิภาพในการดูดอากาศได้อย่างรวดเร็วและเพียงพอ การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสียงดังที่ตัวเครื่องที่ก่อให้เกิดเสียงขณะทำงาน ซึ่งการควบคุมที่แหล่งกำเนิดนี้จะช่วยลดการแพร่กระจายมลพิษสู่บรรยากาศในห้องปฏิบัติการ ลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อผู้ทำงานคนอื่นภายในห้อง นอกจากนี้ควรมีการป้องกันที่ตัวบุคคล ผู้ปฏิบัติงานร่วมด้วย เช่น การใช้หน้ากากกรองมลพิษ การใช้ที่ครอบหูลดเสียงดัง จะช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานได้อีกทาง ในขณะที่โรงเรียนหนองใหม่มีระดับมลพิษสารอินทรีย์ระเหยทั้งฟอร์มัลดีไฮด์และ

โทลูอิน และอนุภาคขนาดเล็กในอากาศต่ำกว่าห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยา เนื่องจากลักษณะโรงเรียนเป็นอาคารสูง ประตูด้านหน้าโรงเรียนเปิดตลอดเวลา จึงทำให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกสูง ช่วยลดการสะสมของมลพิษภายในโรงเรียน อย่างไรก็ตาม พบจุลินทรีย์ในอากาศที่ค่อนข้างสูงกว่าและยังมีสภาพอากาศที่ร้อนชื้นสูงเช่นกัน ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานที่มีความไวต่อสภาพอากาศดังกล่าวจึงควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันตนเองเช่น สวมใส่เสื้อผ้าที่ระบายอากาศได้ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนิสิตบัณฑิตศึกษา ของศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยา และศูนย์นวัตกรรมใหม่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจวัดและเก็บตัวอย่างอากาศในห้องปฏิบัติการ และให้ข้อมูลประกอบที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในครั้งนี้วัสดุและอุปกรณ์การวิจัยได้รับการสนับสนุนจาก “ทุนพัฒนานักวิจัย” โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ร่วมกับ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปี พ.ศ. 2555

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sriprasertsuk. Determination of formaldehyde in indoor air using solid adsorbent cartridge. Master Thesis (Inter-Department of Environmental Science), Chulalongkorn University, Thailand, 1997.
- [2] ชีรศานต์ ธรรมโชติ ขุนทอง สีขางนอก และ มณีรัตน์ องค์กรมณี. ระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการระบายอากาศในห้องบรรยายของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. การประชุมวิชาการ, มหาลัษณ์เศรษฐพระยา, 2551.
- [3] Y.H. Yau, B.T. Chew, A.Z.A. Saifullah. Studies on the indoor air quality of Pharmaceutical Laboratories in Malaysia. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2012; 1: 110–124.
- [4] Pasquarella, C., Pitzurra, O., Savino, A. Review: The index of microbial air contamination. *Journal of Hospital Infection*, 2000; 46: 241-256.
- [5] ASTM E741: Standard Test Method for Detecting Air Exchange in a Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA, 2000.
- [6] จุมพล ขุนอ่อน และ ภาณุพันธ์ สมสกุล. เสียงรบกวนและการตรวจวัด. วารสาร คพ., กรมควบคุมมลพิษ, 2547.

- [7] Ongwadee, M., Moonrinta, R., Panyametheekul, S., Tangbanluekal, C., Morrison, G. C. Concentrations of formaldehyde and acetaldehyde in office buildings in Bangkok, Thailand. *Indoor and Built Environment*, 2009; 18: 569-575.
- [8] ประกาศกระทรวงมหาดไทย. ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม ฉบับที่ 103 (พ.ศ. 2515), 2515
- [9] Ongwadee, M., Moonrinta, R., Panyametheekul, S., Tangbanluekal, C., Morrison, G. C. Investigation of volatileorganic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: concentrations, sources, and occupant symptoms. *Building and Environment*. 2011; 46: 1512-1522.
- [10] คณะกรรมการมาตรฐานระบบเครื่องกลในอาคาร. มาตรฐานการระบายอากาศเพื่อคุณภาพอากาศ ภายในอาคารที่ยอมรับได้. สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, 2545
- [11] คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องค่าระดับเสียงรบกวน ฉบับที่ 29 (พ.ศ. 2550), 2550.
- [12] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. คู่มือการปฏิบัติลดการใช้พลังงานสำหรับหน่วยราชการและรัฐวิสาหกิจ. กระทรวงพลังงาน, 2547.
- [13] Godish, T. *Indoor Air Pollution Control*. Lewis Publishers, MI, 1989.
- [14] สิริภัสสรุพร วันวิสาข์ ศิริวัฒน์เมธานนท์ และ ไมตรีสุทธจิตต์. รายงานฉบับสมบูรณ์ศึกษาการเจริญของเชื้อรา *Cordyceps sp.* บนดักแด้ไหม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2546.