

บทที่ 5

สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

การศึกษาคุณภาพอากาศในพื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์ภายในอาคาร A (ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ ติดกัน) และอาคาร B (ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ แยกกัน) สรุปผลการศึกษาได้เป็น 7 ประเด็น และอภิปรายผลการศึกษา ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารบริเวณพื้นที่เทคนิคการแพทย์ของอาคาร A (ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ ติดกัน) และอาคาร B (ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ แยกกัน) พบว่าภาวะสบายเชิงความร้อน ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ และการเคลื่อนที่ของอากาศของทั้งสองอาคารอยู่ในเกณฑ์แนะนำของประกาศกรมอนามัย (พ.ศ. 2565) ยกเว้นบริเวณห้องเก็บสิ่งส่งตรวจ ($23.6 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$) ในอาคาร B นอกจากนั้นพบว่าปริมาณ $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าเฉลี่ยเกินค่าแนะนำ ($\text{PM}_{2.5} < 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{10} < 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในบริเวณห้องเก็บสิ่งส่งตรวจของทั้งสองอาคาร และพบค่าดังกล่าวเกินค่าแนะนำในห้องปฏิบัติการฯ ของอาคาร A ปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา CO_2 , CO และ HCHO มีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ค่าแนะนำในทุกพื้นที่ แต่ค่าเฉลี่ย TVOCs เกินเกณฑ์ค่าแนะนำ ($< 1,000 \text{ ppb}$) ในทุกพื้นที่ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศของห้องเก็บสิ่งส่งตรวจอาคาร A มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์แนะนำของ ASHRAE แต่อาคาร B ทุกห้องเป็นไปตามเกณฑ์แนะนำ (6 Ac/hr)

5.1.2 พารามิเตอร์ของคุณภาพอากาศมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) โดยแบ่งเป็นมีความสัมพันธ์ระดับสูงมาก ($r_s \geq 0.91$) ในเชิงบวก คือ $\text{PM}_{2.5}$ กับ PM_{10} มีความสัมพันธ์ระดับสูง ($r_s: 0.71 - 0.90$) ในเชิงบวก คือ CO_2 กับ HCHO มีความสัมพันธ์ระดับปานกลาง ($r_s: 0.31 - 0.70$) ในเชิงบวก ได้แก่ อุณหภูมิกับ $\text{PM}_{2.5}$ และอุณหภูมิกับ PM_{10} แต่พบความสัมพันธ์เชิงลบ ได้แก่ อุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ $\text{PM}_{2.5}$ กับ TVOCs และ CO กับ CO_2 นอกจากนั้นยังพบความสัมพันธ์ระดับต่ำ ($r_s: 0.01 - 0.30$) ในเชิงบวก ได้แก่ อุณหภูมิกับการเคลื่อนที่ของอากาศ อุณหภูมิกับเชื้อรา อุณหภูมิกับ TVOCs ความชื้นสัมพัทธ์กับเชื้อรา ความชื้นสัมพัทธ์กับ CO, TVOCs กับ CO และ TVOCs กับ HCHO แต่พบความสัมพันธ์เชิงลบ ได้แก่ อุณหภูมิกับ TVOCs และความชื้นสัมพัทธ์กับ CO

5.1.3 ระบบระบายอากาศมีผลต่อคุณภาพอากาศในอาคารอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) ได้แก่ ภาวะความสบายเชิงความร้อน แבקที่เรีย เชื้อรา $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO, HCHO และ TVOCs โดยพบว่าห้องที่ใช้การระบายอากาศแบบทั่วไปมีค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยสูงกว่าห้องที่ใช้ระบบ HVAC ยกเว้นความชื้นสัมพัทธ์ที่พบว่าห้องที่ใช้ระบบ HVAC มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ สูงกว่าห้องที่ใช้การระบายอากาศทั่วไปในบริเวณห้องปฏิบัติการฯ แต่ค่าดังกล่าวไม่เกินคำแนะนำของกรมอนามัย

5.1.4 ลักษณะพื้นที่ให้บริการของห้องเก็บสิ่งส่งตรวจ และห้องปฏิบัติการฯ ภายในอาคาร A และอาคาร B มีคุณภาพอากาศในอาคารที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าอาคาร A (ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ ติดกัน) บริเวณห้องเก็บสิ่งส่งตรวจมีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ และ $PM_{2.5}$ สูงกว่าห้องปฏิบัติการฯ แต่ค่าเฉลี่ยของ CO_2 , CO, HCHO และ TVOCs ต่ำกว่าที่ห้องปฏิบัติการฯ และพบว่าอาคาร B (ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจ และห้องปฏิบัติการฯ แยกกัน) มีค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในบริเวณห้องเก็บสิ่งส่งตรวจสูงกว่าห้องปฏิบัติการฯ แต่ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ การเคลื่อนที่ของอากาศ CO_2 , CO, HCHO และ TVOCs ต่ำกว่าห้องปฏิบัติการฯ

5.1.5 การจัดพื้นที่โซนการใช้งานของห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ ติดกัน (อาคาร A) และห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ แยกกัน (อาคาร B) จากรูป Contour map แสดงให้เห็นว่าคุณภาพอากาศในอาคาร A ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในเกณฑ์คำแนะนำ ยกเว้นอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์คำแนะนำ ในบางจุด เช่น จุดคัดกรองผู้ป่วย ห้องปั่นเลือด และพบค่า $PM_{2.5}$, PM_{10} และแบคทีเรีย (บริเวณห้องพักเจ้าหน้าที่) เกินเกณฑ์คำแนะนำ ส่วนอาคาร B พบว่าอุณหภูมิ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในห้องเก็บสิ่งส่งตรวจทุกบริเวณไม่อยู่ในเกณฑ์คำแนะนำ และบางจุดของห้องปฏิบัติการฯ มีความชื้นสัมพัทธ์เกินเกณฑ์คำแนะนำ ได้แก่ จุดที่รับกระสวย พื้นที่เตรียมตัวอย่าง 2 (จุดย้อมสไลด์) แต่ยกเว้นค่า TVOCs เกินเกณฑ์คำแนะนำในทุกพื้นที่ของทั้งสองอาคาร

5.1.6 ช่วงเวลาการให้บริการ และจำนวนผู้ใช้บริการมีผลต่อคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์ โดยพบว่าทั้งสองอาคารมีแนวโน้มของคุณภาพอากาศในอาคาร ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ การเคลื่อนที่อากาศ $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO_2 และ HCHO มีค่าในช่วงเช้าสูงกว่าช่วงบ่าย แต่พบค่า CO และ TVOCs ในช่วงบ่ายสูงกว่าช่วงเช้า นอกจากนี้ยังพบปริมาณของแบคทีเรียและเชื้อรามีความแตกต่างกันในแต่ละอาคาร โดยอาคาร A มีค่าช่วงเช้าสูงกว่าช่วงบ่าย แต่ในอาคาร B มีค่าช่วงบ่ายสูงกว่าช่วงเช้า และจำนวนผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า CO_2 และ TVOCs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

5.1.7 แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของพื้นที่ พบว่าภายในอาคาร A ที่มีการจัดพื้นที่ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการฯ ติดกัน อากาศในห้องเก็บสิ่งส่งตรวจมีการกระจายตัวไม่เป็นระเบียบและไหลเข้าสู่ห้องปั่นเลือดและห้องปฏิบัติการฯ ผ่านทางช่องเปิด เช่น ช่องยื่นสิ่งส่งตรวจและประตูที่เปิดไว้ แต่อาคาร B ที่แยกห้องเก็บสิ่งส่งตรวจกับห้องปฏิบัติการฯ ซึ่งทั้งสองห้องใช้ระบบ HVAC พบว่าอากาศภายในห้องทั้งสองมีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ แสดงให้เห็นว่าการใช้ระบบ

HVAC ช่วยให้อากาศภายในห้องมีการกระจายตัวที่เป็นระเบียบและลดการปั่นป่วนของการไหลของอากาศได้ดีกว่าการใช้ระบบระบายอากาศแบบทั่วไป

5.1.8 ข้อเสนอแนะการปรับปรุงคุณภาพอากาศในบริเวณพื้นที่ให้บริการทางเทคนิค การแพทย์ของอาคาร A ได้แก่ การแยกพื้นที่ระหว่างพื้นที่สะอาดกับพื้นที่สกปรก และเพิ่มการอัตราการไหลของอากาศเข้ามาในห้องเก็บสิ่งส่งตรวจ ที่อัตราการไหล $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ เพื่อให้อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศอยู่ในเกณฑ์คำแนะนำ (6 Ac/hr) และจัดวางตำแหน่ง Supply air และ Exhaust air ให้เหมาะสม เพื่อให้อากาศภายในห้องมีการกระจายตัวของอากาศอย่างเป็นระเบียบ (ดังรูป 4.14) ส่วนอาคาร B ควรตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ HVAC ระบบระบายอากาศเฉพาะที่และควรติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่เพิ่มเติมในบริเวณจุดย้อมสีสไลด์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของ TVOCs นอกจากนี้การทำความสะอาดภายในอาคาร A และ B ควรใช้การดูดฝุ่นแทนการกวาด เพื่อลดการฟุ้งกระจายของอนุภาคต่าง ๆ ระหว่างการทำความสะอาด

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 คุณภาพอากาศของพื้นที่เทคนิคการแพทย์ในอาคาร A และ B พบว่าห้องเก็บสิ่งส่งตรวจอาคาร A มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่าคำแนะนำของกรมอนามัย อาจเนื่องจากการใช้ระบบระบายอากาศแบบทั่วไป จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมความชื้นให้คงที่ได้ตลอดเวลา อากาศภายในอาคาร A พบ $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์คำแนะนำ เนื่องจากอาคาร A หลายบริเวณมีการเก็บอุปกรณ์ไว้นานข้ามวัน และเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่จึงอาจทำให้มีการทำความสะอาดไม่ทั่วถึง และทั้งสองอาคารพบ TVOCs มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์คำแนะนำ เนื่องจากภายในพื้นที่เทคนิคการแพทย์มีการใช้สารเคมีในการวิเคราะห์สิ่งส่งตรวจ เช่น โทลูอีน เอทิลแอลกอฮอล์ หรือสารย้อมสไลด์ต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Baurès et al., (2018) ที่พบว่าความเข้มข้นของสารเคมีหลายประเภทในห้องปฏิบัติการฯ มีค่าเกินมาตรฐาน ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ ฟอร์มาลดีไฮด์และ โทลูอีน ซึ่งเกิดจากการใช้สารเคมีดังกล่าวในการวิเคราะห์ตัวอย่าง และการย้อมสไลด์ในห้องปฏิบัติการ

5.2.2 คุณภาพอากาศในพื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์ พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างอุณหภูมิกับความชื้นสัมพัทธ์ และ TVOCs ซึ่งอาจเกิดจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ความชื้นและสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอาคารลดลง สอดคล้องกับการวิจัยของ Salthammer et al., (2010) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการระบายอากาศที่เพิ่มขึ้นมีผลโดยตรงต่อระดับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในอาคารที่ลดลง การศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับการเคลื่อนที่ของอากาศ เชื้อรา $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Zuraimi & Tham (2008) นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกที่ระดับสูงมากระหว่าง $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} ($r_s = 0.993$, $p < 0.01$) อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดที่เหมือนกัน (Seinfeld & Pandis, 2016) ส่วนความสัมพันธ์ระดับสูงระหว่าง CO และ HCOH อาจเกิดจากการทำงานของผู้ปฏิบัติงานที่ต้องมีการจุดไฟและการย้อมสไลด์ โดยขั้นตอนดังกล่าวเป็นแหล่งกำเนิดของ CO และ HCOH

5.2.3 การเปรียบเทียบระบบระบายอากาศแบบทั่วไปและระบบระบายอากาศ HVAC พบว่าคุณภาพอากาศภายในอาคารส่วนใหญ่มีความแตกต่างกัน โดยอาคาร A ที่มีระบบระบายอากาศแบบทั่วไป พบค่าความเข้มข้นของมลพิษในอากาศสูงกว่าในอาคาร B ที่ใช้ระบบระบายอากาศแบบ HVAC เนื่องจากระบบระบายอากาศแบบทั่วไปไม่สามารถทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศจากภายนอกในปริมาณที่เหมาะสมได้ และไม่สามารถควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ ทำให้การไหลของอากาศภายในห้องเป็นแบบไม่เป็นระเบียบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Ibrahim et al., (2022) ที่ศึกษาระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศภายในโรงพยาบาลที่แตกต่างกัน พบว่าโรงพยาบาลที่ไม่มีระบบปรับอากาศส่วนกลาง (ระบายอากาศแบบทั่วไป) มีค่า $PM_{2.5}$, PM_{10} และเชื้อราสูงกว่าโรงพยาบาลที่มีระบบปรับอากาศส่วนกลาง (HVAC)

5.2.4 ลักษณะการให้บริการของห้องเก็บสิ่งส่งตรวจและห้องปฏิบัติการของทั้งสองอาคาร พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่ห้องเก็บสิ่งส่งตรวจมีความชื้นสัมพัทธ์ $PM_{2.5}$, PM_{10} แบททีเรีย และเชื้อราสูงกว่าห้องปฏิบัติการ เนื่องจากห้องเก็บสิ่งส่งตรวจมีคนเข้ามาใช้บริการจึงอาจพา $PM_{2.5}$, PM_{10} เข้ามาจากภายนอก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เด่นดวงใจ และ สุทธิศักดิ์ (2563) ที่ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและการเข้ารับบริการรักษาโรกระบบทางเดินหายใจในโรงพยาบาลพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} มีความสัมพันธ์ระดับสูงกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับบริการ นอกจากนั้นแบคทีเรียและเชื้อราอาจเกิดจากการทิ้งขยะติดเชื้อ เช่น เลือดเนื้อการเจาะสำลีที่เช็ดแขนผู้ป่วย หรือหลอดฉีดยาที่ปนเปื้อน โดยไม่มีการปิดถังขยะ ดังนั้นจึงอาจเกิดการฟุ้งกระจายออกจากถังขยะอันตรายได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Hossain et al., (2013) ที่ประเมินความเสี่ยงการติดเชื้อจากการปฏิบัติงาน การจัดการความปลอดภัย และการจัดการขยะมูลฝอยทางคลินิก พบว่าถังขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลมีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เช่น *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella pneumonia* ซึ่งอาจเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกถังขยะ ส่วน CO_2 , CO, HCHO และ TVOCs ในห้องปฏิบัติการ สูงกว่าห้องเก็บสิ่งส่งตรวจ เนื่องจากการทำงานของในห้องปฏิบัติการ บางประเภทก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารเคมี เช่น การย้อมสีสไลด์ที่อาจก่อให้เกิด HCHO หรือสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายปนเปื้อนในอากาศ

5.2.5 การจัดพื้นที่ของอาคาร A ที่ห้องปฏิบัติการอยู่ติดกับห้องเก็บสิ่งส่งตรวจ พบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์บางจุดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์คำแนะนำ โดยอุณหภูมิที่ต่ำกว่าคำแนะนำพบในบริเวณที่อยู่ตามบริเวณช่องที่เป็นรอยต่อของห้อง เช่น บริเวณหน้าต่าง หรือบริเวณห้องปั่นเลือด ซึ่งอาจเกิดจากการไหลของอากาศเย็นของห้องเก็บสิ่งส่งตรวจเข้าสู่ห้องปั่นเลือดและไหลเข้าไปในบริเวณห้องปฏิบัติการ ซึ่งสอดคล้องกับการแบบจำลองการไหลของอากาศในรูปที่ 4.9 ส่วนปริมาณเชื้อราที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์คำแนะนำพบในบริเวณห้องพักเจ้าหน้าที่ อาจเกิดจากภายในห้องดังกล่าวมีการรับประทานอาหารและประกอบอาหารจึงอาจมีการสะสมของเศษอาหารที่ทิ้งในถังขยะ และความชื้นจากบริเวณล้างจานภายในห้องพักเจ้าหน้าที่ ช่วยให้เกิดการเชื้อราได้ง่าย

5.2.6 ช่วงเวลาการให้บริการของทั้งสองอาคารมีความคล้ายกัน พารามิเตอร์ของคุณภาพอากาศส่วนใหญ่ในช่วงเช้ามีค่าสูงกว่าช่วงบ่าย อาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น จำนวนผู้ใช้บริการ การทำความสะอาดของแม่บ้าน เป็นต้น ส่วนการพบค่า CO และ TVOCs ช่วงบ่ายสูงกว่าในช่วงเช้า อาจเนื่องจากการทำปฏิบัติการวิเคราะห์สิ่งส่งตรวจจากการเก็บสิ่งส่งตรวจจากช่วงเช้า จึงอาจทำให้มีการใช้สารเคมีเพิ่มขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นในช่วงบ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเช้า ส่วนปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราในอาคาร A ช่วงเช้าสูงกว่าช่วงบ่าย แต่ในอาคาร B พบช่วงบ่ายสูงกว่าช่วงเช้า อาจเกิดจากการทำความสะอาดภายในพื้นที่เนื่องจากอาคาร A มีการทำความสะอาดในช่วงเวลา 10.00 น. - 11.00 น. แต่อาคาร B การทำความสะอาดและเก็บขยะในช่วงเวลา 14.30 น. - 15.00 น. จึงอาจทำให้ปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราแตกต่างกันในช่วงเวลาให้บริการ ซึ่งสอดคล้องกับ Dehghani et al. (2018) ที่ศึกษาความเข้มข้นของจุลชีพในอากาศก่อนและหลังขั้นตอนการฆ่าเชื้อภายในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาล พบว่าการทำความสะอาดช่วยลดปริมาณเชื้อราลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้พบว่า CO₂ และ TVOCs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Rahayu et al. (2019) ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารผู้ป่วยในโรงพยาบาลเอกชน ในประเทศอินโดนีเซีย พบว่าความหนาแน่นของผู้ป่วยที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคาร

5.2.7 การจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ แสดงให้เห็นว่าลักษณะการไหลของอาคาร A และอาคาร B มีความแตกต่างกัน โดยอาคาร A มีการไหลของอากาศที่ไม่เป็นระเบียบ ส่วนอากาศในอาคาร B มีการไหลและการกระจายของอากาศอย่างเป็นระเบียบ สาเหตุเกิดจากการใช้ระบบระบายอากาศที่ต่างกัน โดยพบว่าการไหลของอากาศที่ใช้ระบบ HVAC จะมีลักษณะการกระจายตัวของอากาศเป็นระเบียบมากกว่าระบบระบายอากาศทั่วไป (Chen et al., 2023; Omerzo et al., 2025) และภายในอาคาร A มีอากาศจากห้องเก็บสิ่งส่งตรวจไหลเข้าสู่ห้องปฏิบัติการฯ ผ่านทางช่องเปิดของห้อง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee et al. (2016) ที่จำลองพลศาสตร์ของไหลแสดงการแลกเปลี่ยนระหว่างอากาศและแบคทีเรียที่เกิดจากการเปิดประตูและการสัณฐานในห้องผ่าตัด พบว่าระหว่างการเปิดประตู อากาศจากห้องผ่าตัดมีการไหลออกสู่ทางเดิน โดยผลการวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกับการจำลองด้วย CFD และมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลที่สอดคล้องกัน ดังนั้นการเปิด-ปิดประตูส่งผลต่อการกระจายตัวของมลพิษแม้จะมีการควบคุมความดันภายในห้อง

5.2.8 ข้อเสนอแนะการปรับปรุงคุณภาพอากาศในอาคารในบริเวณพื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์อาคาร A โดยใช้การจำลองการไหลอากาศ พบว่าสามารถแก้ปัญหาการแพร่กระจายของอากาศจากห้องสิ่งส่งตรวจเข้าสู่ห้องปฏิบัติการฯ ได้ และช่วยทำให้เห็นภาพรวมของการไหลของอากาศภายในอาคาร A โดยการจำลองการไหลอากาศมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงพื้นที่ เนื่องจากสามารถแสดงภาพการไหลเวียนของอากาศในสถานการณ์ได้จริง ทำให้สามารถประเมินผลกระทบของการออกแบบหรือการปรับเปลี่ยนระบบปรับอากาศก่อนการดำเนินงานจริง ลดความเสี่ยงด้านความปลอดภัย และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Zhang et al., 2007; Chen, 2009)

นอกจากนี้ WHO และ ASHRAE แนะนำให้ใช้แบบจำลอง CFD เป็นเครื่องมือสนับสนุนในการออกแบบและตรวจสอบระบบระบายอากาศสำหรับสถานพยาบาลและห้องปฏิบัติการ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคทางอากาศ (WHO, 2009; ASHRAE, 2014) ส่วนอาคาร B ควรตรวจสอบระบบ HVAC และตรวจสอบประสิทธิภาพในการทำงานของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Setyawan et al. (2022) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ในห้องปฏิบัติการ พบว่าระบบระบายอากาศเฉพาะที่มีความเร็วลมหน้าดูดไม่เพียงพอ ขาดการตรวจสอบประสิทธิภาพ ขาดการบำรุงรักษา หรือออกแบบไม่เหมาะสม ส่งผลให้อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบลดลงมากกว่า 20% ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสารปนเปื้อนลดลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ และควรติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่เพิ่มเติมในบริเวณย้อมสีสไลด์ในห้องปฏิบัติการฯ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของ TVOCs โดยการติดตั้งระบบระบายอากาศเฉพาะที่จะมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของสารปนเปื้อนได้ดีกว่าระบบอากาศทั่วไป (Azari et al., 2012; Zdilla, 2021)

นอกจากนั้นการทำความสะอาดภายในอาคาร A และ B ควรมีการทำความสะอาดให้ทั่วถึงมากขึ้น และควรใช้การดูดฝุ่นแทนการกวาด เพื่อลดการฟุ้งกระจายของอนุภาคในระหว่างทำความสะอาด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการฟุ้งกระจายของฝุ่นระหว่างทำความสะอาด โดยเปรียบเทียบการใช้ไม้กวาดกับเครื่องดูดฝุ่น พบว่าการกวาดพื้นทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่สามารถเพิ่มได้ถึงประมาณ 5 - 60 เท่า และยังคงฟุ้งกระจายในอากาศหลังทำความสะอาด ขณะที่การใช้เครื่องดูดฝุ่นทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจายในอากาศน้อยกว่า (Ji, 2020) ดังนั้นการเปลี่ยนวิธีการทำความสะอาดโดยใช้เครื่องดูดฝุ่น จะช่วยลดค่า $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของทั้งสองอาคาร

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากผลการศึกษา

- 1) ควรมีการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารตามการจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของพื้นที่ และหาแนวทางลดความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมลพิษภายในอาคาร รวมถึงควรมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารหลังจากได้รับการปรับปรุง
- 2) ควรมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารอย่างสม่ำเสมอ อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง เพื่อเป็นการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในอาคารให้อยู่ในค่าเกณฑ์แนะนำของกรมอนามัยหรือมาตรฐานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งถัดไป

- 1) ควรมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในอาคารแบบ Real-time ตลอดระยะเวลาการทำงาน เพื่อให้ทราบถึงกิจกรรมใดเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษ

2) ควรมีแบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของพื้นที่อื่น ๆ เพิ่มเติม โดยพิจารณาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแบบจำลองการกระจายตัวของอนุภาคนขนาดต่าง ๆ หรือมลพิษอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารให้อยู่ในค่าเกณฑ์แนะนำของกรมอนามัยหรือมาตรฐานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3) ควรมีการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ให้บริการทางเทคนิคการแพทย์ ทั้งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะสั้นและระยะยาว