ประสิทธิภาพการระบายอากาศเพื่อควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม

Ventilation Effectiveness for Airborne infection control in Dental examination room

ธัญจิรา เตชะสนธิชัย, วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์
ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Tanjira Techasontichai, Vorapat Inkarojrit
Department of Architecture, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University
tanjira.techa@gmail.com, ivorapat@hotmail.com

บทคัดย่อ

ห้องตรวจทันตกรรมเป็นสถานที่ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อทางอากาศ จากผู้ป่วยและเครื่องมือทางทันตกรรม จากการสำรวจห้องตรวจทันตกรรมพบว่าไม่ได้รับการตรวจประเมินการระบายอากาศก่อนการใช้งาน งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ ศึกษาตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และการเพิ่มพัดลมระบายอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก เพื่อควบคุมการติดเชื้อ ด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลพิจารณาทิศทาง รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ ที่ระดับความสูง 0.80 เมตร ซึ่งเป็นระดับหายใจ ผลการวิจัยพบว่า ห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษาผู้ใช้งานมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง การติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าของผู้ป่วยจะช่วยให้ประสิทธิภาพการระบายอากาศที่ดีขึ้น การติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าควรอยู่ในด้านที่ต้องการให้สะอาด และช่องปล่อยลมออกควรอยู่ในด้านที่ไม่มีบุคลากรทำงานอยู่ ช่องปล่อยลมเข้าไม่ควรอยู่ด้านเดียวกันกับช่องปล่อยลมออก และสามารถขยายผลการศึกษาในห้องที่มีหลายเตียงตรวจต่อไป

***คำสำคัญ**: การควบคุมการติดเชื้อทางอากาศ, การระบายอากาศ, ห้องตรวจทันตกรรม, การคำนวณพลศาสตร์ของไหล*

Abstract

The dental examination room is a place at risk of airborne pathogen contamination. The objectives of this research are to evaluate the ventilation effectiveness of the dental examination room, to review the location of air conditioning units and to determine how to increase the ventilation effectiveness with a ventilating fan, a fresh air inlet, and a ventilating outlet to limit contamination in the dental examination room. The Computational Fluid Dynamics modeling is a reliable method to study positions of fresh air inlets and vented air outlets on the walls. The method takes into consideration the airflow direction, airflow pattern and age of air at the height of 0.80 meter where the breathing level. The research found the dental health care personnel to be at risk of infection. The installations of the fresh air inlets on the wall on the side of the patient's head and vented air outlets on the side of the patient's feet will help direct the airflow from a cleaner area to a less clean area before being released outside. Therefore, the installation of air inlets should be located where hygiene is required, and the installation of the outlets should be located where there is no DHCP positioned. The research can be developed further in the dental examination room where there are several dental chairs in a common area.

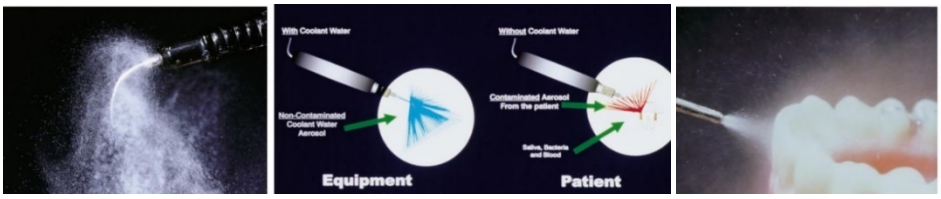
***keywords**: Airborne infection control, Ventilation, Dental examination room, Computational Fluid Dynamics*

บทนำ

สภาวะในช่องปากประกอบด้วยของเหลวที่ปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียและไวรัสหลายชนิดและมีคราบจุลินทรีย์บนฟัน ช่องปากยังต่อกับโพรงจมูกและช่องคอ ทำให้ภายในช่องปากสามารถพบเชื้อโรคที่พบในโพรงจมูก คอ และระบบทางเดินหายใจ (Ampornaramveth, 2017) เมื่อเกิดการ ไอ จาม จากผู้ป่วย หรือการทำหัตถการทางทันตกรรมที่มีการใช้เครื่องมือเชิงกล ดังตาราง 1 ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายละอองของสารคัดหลั่งที่ปนเปื้อนไปด้วยเชื้อโรค (Sebastianiและคณะ, 2017) ทั้งละอองกระเด็น และละอองลอย ดังภาพที่ 1 ได้มากกว่าการให้การรักษาโรคทั่วไป (HarrelและMolinari, 2004) โดยเฉพาะเชื้อที่เป็นอันตรายอย่างเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดวัณโรค สามารถลอยฟุ้งในอากาศได้นานก่อนที่จะตกลงสู่พื้นผิวสิ่งแวดล้อมและถูกสูดดมเข้าสู่ร่างกาย หากผู้ป่วยวัณโรคที่มีระยะแฝงได้รับเชื้อแล้วจะไม่มีอาการแสดงให้เห็น แต่เชื้อแบคทีเรียยังอยู่ในร่างกายเมื่อถึงระยะแสดงอาการ เชื้อได้รับการกระตุ้นจึงเกิดอาการปรากฏให้เห็นชัดเจน เชื้อโรคในห้องตรวจทันตกรรมนั้นจะกระจายตัวในอากาศ เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เมื่อมีผู้สูดเอาเชื้อวัณโรคเข้าไปในร่างกายจึงเกิดการติดเชื้อ (สำนักวัณโรค, 2559) จำเป็นต้องให้การรักษาผู้ป่วยที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อในห้องพิเศษที่มีระบบป้องกันการแพร่เชื้อที่ติดต่อทางอากาศ นอกจากนี้น้ำลายและสารคัดหลั่งจากช่องจมูกและคอยังปนเปื้อนด้วยเชื้อก่อโรคอื่นอย่างไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคไข้หวัดใหญ่ ไวรัสซาร์ส และกรณีผู้ป่วยด้วยโรคไวรัสของระบบทางเดินหายใจโอกาสแพร่เชื้อจึงมีได้ตลอดเวลาแม้ไม่ได้ทำหัตถการใด ๆ (Harte, 2010) ดังนั้นการทำหัตการทางทันตกรรมจึงควรได้รับการตรวจประเมินการระบายอากาศเพื่อลดอนุภาคเชื้อโรคไม่ให้แพร่กระจายไปสู่ผู้ใช้งาน

ตาราง 1 อัตราการผลิตเชื้อและร้อยละของอนุภาคละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอนที่เกิดจากหัตถการ (ที่มา : Ampornaramveth, 2017)

หัตถการ	อัตราการผลิตเชื้อ (CFU/min)	ร้อยละของอนุภาคละออง ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน
การตรวจช่องปาก	3	-
ขูดหินน้ำลาย	1	-
ล้างฟันด้วยการฉีดน้ำ	10	-
ขัดฟันด้วยผงพิวมิส	42	43
การกรอฟันด้วยหัวกรอช้า (ไม่มีน้ำ)	58	80
การเป่าฟันด้วยลม	72	65
การกรอฟันด้วยหัวกรอเร็วที่มีน้ำหล่อเย็น	1,000	95
การขัดวัสดุอุดฟันด้วยหัวขัดบริเทิลบรัช	2,300	55



ภาพ 1 แหล่งกำเนิดลอองลอยที่มองเห็นได้ระหว่างการรักษาทันตกรรมจากน้ำหล่อเย็นและจากผู้ป่วย (ที่มา : Harrel และ Molinari, 2004)

ปัญหาการคัดกรองผู้ป่วยก่อนการรักษาของทันตบุคลากร (Dental health care personnel; DHCP) ไม่ได้ให้การประเมินทางการแพทย์เบื้องต้นกับผู้ป่วยที่เป็นวัณโรคแต่มีเพียงการตรวจคัดกรองผู้ป่วยที่มีอาการบ่งชี้ว่าเป็นวัณโรคก่อนการรักษาทันตกรรม (Jensen และคณะ, 2005) ทำให้การทำหัตถการทางทันตกรรมมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ และถึงแม้การรักษาจะมีความเสี่ยง แต่ผู้ป่วยที่สงสัยว่าเป็นวัณโรคอาจต้องการรักษาทันตกรรม จึงควรได้รับการระบุอย่างทันท่วงทีเพื่อนำมาใช้ในการประเมินการรักษาทางการแพทย์ คลินิกทันตกรรมจึงควรมีการประเมินความเสี่ยงของการเป็นวัณโรคในเบื้องต้น (Clevelandและคณะ, 2009) เพื่อป้องกันผู้ป่วยคนอื่น และทันตบุคลากร ซึ่งนักศึกษาทันตแพทย์มีความเสี่ยงในการได้รับเชื้อวัณโรคจากการทำงานทันตกรรมเช่นเดียวกับทันตบุคลากร การจัดการสภาพพื้นที่ทำทันตกรรมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง (Lambertiและคณะ, 2017) โดยสามารถแบ่งผู้ใช้งานห้องตรวจทันตกรรมออกเป็น กลุ่มผู้ป่วย กลุ่มทันตบุคลากร ได้แก่ ทันตแพทย์ ผู้ช่วยทันตแพทย์และเจ้าหน้าที่ การจัดการพื้นที่ใช้สอย ประกอบด้วยเก้าอี้ทำฟัน

เก้าอี้ทันตแพทย์ เก้าอี้ผู้ช่วยทันตแพทย์ เคาน์เตอร์วางเครื่องมือและอ่างล้างมือ ลักษณะการทำงานของทันตแพทย์อยู่ด้านขวามือ ผู้ช่วยทันตแพทย์อยู่ด้านซ้ายมือของผู้ป่วย ซึ่งมีรูปแบบและตำแหน่งตายตัว จากหลักฐานงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ การติดเชื้อของผู้ป่วยเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมในอาคาร ระยะเวลาการใช้งาน และการระบายอากาศ แม้ไม่ได้ทำการผ่าตัดก็ตาม (Petti, 2016) การจำลองสถานการณ์ในห้องตรวจทันตกรรมให้ละอองแบคทีเรียถูกปล่อยมาจากช่องปากของผู้ป่วยบนเก้าอี้ทันตกรรม ละอองลอยสามารถแพร่กระจายได้ทั้งในแนวระนาบ และแนวดิ่ง ทำให้ทันตแพทย์ที่ทำการรักษาผู้ป่วยมีโอกาสได้รับละอองลอย และละอองอยู่ในอากาศเป็นเวลาถึง 20 นาที (Chuangและคณะ, 2014) จึงทำให้ทันตแพทย์ หรือผู้ที่อยู่ใกล้ชิดมีโอกาสติดเชื้อระหว่างกันได้ (Merteและคณะ, 2014)

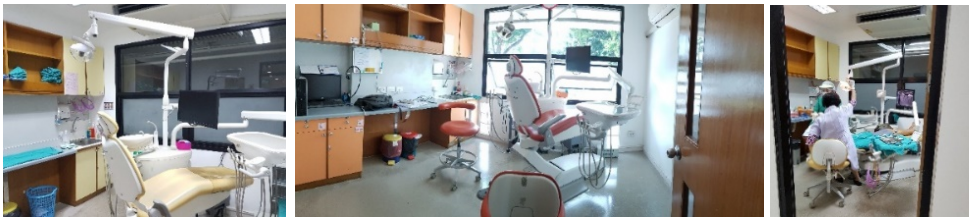
จากการทบทวนวรรณกรรมและการสำรวจเบื้องต้นพบว่า ห้องตรวจทันตกรรมในปัจจุบันมีการคัดกรองผู้ป่วยเฉพาะผู้ป่วยที่แสดงอาการชัดเจน ทำให้ผู้ป่วยที่มีเชื้อแฝงหรือยังไม่แสดงอาการเมื่อเกิดการไอ จาม หรือการทำหัตถการทางทันตกรรมเกิดละอองเชื้อโรคขนาดเล็ก ถูกสูดดมเข้าสู่ร่างกายผู้ใช้งานภายในห้อง และห้องตรวจทันตกรรมไม่ได้รับการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ จึงเกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ ทั้งนี้หน่วยงานศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (Centers for Disease Control and Prevention ; CDC) การบริหารความปลอดภัยและสุขภาพของผู้ประกอบวิชาชีพ (Occupational Safety and Health Administration) และสมาคมวิศวกรปรับอากาศและทำความเย็นของอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers ; ASHRAE) ได้กำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำที่ 12 Air Change per Hour ; ACH เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม และเสนอแนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ ในการควบคุมการติดเชื้อด้วยตำแหน่งช่องปล่อยลมที่เหมาะสม

วิธีการวิจัย

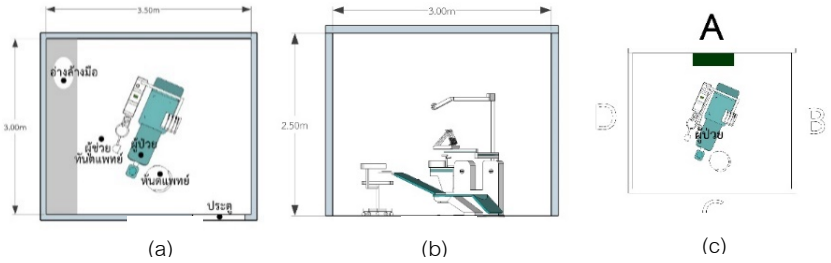
งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นงานวิจัยแบบจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic : CFD) โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation แบ่งขั้นตอนวิจัย ดังนี้

1. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการให้การรักษาทางทันตกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบัน การจัดการพื้นที่ใช้สอยในห้องตรวจทันตกรรม จนทราบสาเหตุการเกิดละอองฟุ้งกระจาย และความเสี่ยงในการติดเชื้อขณะให้การรักษาทันตกรรมของทันตบุคลากรแล้ว ได้ทำการศึกษางานวิจัยเพื่อการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศในคลินิกทันตกรรม และแนวทางการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ มาตรฐานการระบายอากาศ โดยการศึกษาข้อมูลเพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ แนวทางในการออกแบบวิธีการวิจัย และตัวแปรในงานวิจัยต่อไป

2. การเก็บข้อมูลกรณีศึกษาห้องตรวจทันตกรรมแบบห้องเดี่ยว ดังภาพที่ 2 พบว่าห้องตรวจมีขนาด กว้าง 3.00 เมตร ยาว 3.50 เมตร สูง 2.50 เมตร มีเคาน์เตอร์วางเครื่องมือและอ่างล้างมืออยู่ซ้ายมือของเตียงตรวจผู้ป่วย ทันตแพทย์อยู่ด้านขวามือ ผู้ช่วยทันตแพทย์อยู่ด้านซ้ายมือของผู้ป่วย ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) บนผนังขนาด 12,000 BTU ฝั่งปลายเท้าผู้ป่วย วัดความเร็วลมที่หน้าช่องปล่อยลมได้ 6.00 เมตรต่อวินาที ดังภาพที่ 3



ภาพ 2 การจัดวางพื้นที่ใช้สอยห้องตรวจทันตกรรม(ห้องเดี่ยว)

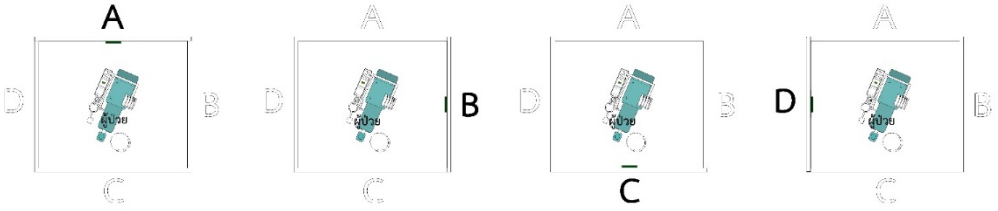


(a) (b) (c)

ภาพ 3 (a), (b) ห้องตรวจ 3.00 x 3.50 x 2.50 เมตร และ (C) ตำแหน่งเครื่องปรับอากาศปลายเท้าผู้ป่วย

3. การกำหนดตัวแปรที่จะใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วยตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม

1) ตัวแปรต้น แบ่งออกเป็นตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศจากการสำรวจห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษามีปริมาตร 26.25 ลูกบาศก์เมตร พบว่าใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ติดตั้งที่ตำแหน่งบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย งานวิจัยจึงศึกษาตำแหน่งติดตั้งเพิ่มเติมที่ผนังด้านขวากับด้านศีรษะของผู้ป่วย ร่วมกับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของพัดลมดูดอากาศ มอก.710-2535 และการศึกษาตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้าขนาด 0.40 x 0.40 เมตร ความเร็วลมหน้าช่องจ่ายลม 0.70 เมตรต่อวินาที บนผนังของห้องตรวจ ด้านปลายเท้า(ผนัง A), ด้านขวา(ผนังB), ด้านศีรษะ(ผนังC) และด้านซ้ายมือของผู้ป่วย(ผนังD) ร่วมกับการติดตั้งช่องปล่อยลมออก ขนาด 0.20x0.20 เมตร ความเร็วลมหน้าช่องปล่อยลม 3.40 เมตรต่อวินาที ที่ผนังด้านปลายเท้า(ผนัง A), ด้านขวา(ผนังB), ด้านศีรษะ(ผนังC) และด้านซ้ายมือของผู้ป่วย(ผนังD) สูง 0.80 เมตร จากระดับพื้นห้อง ดังภาพที่ 4



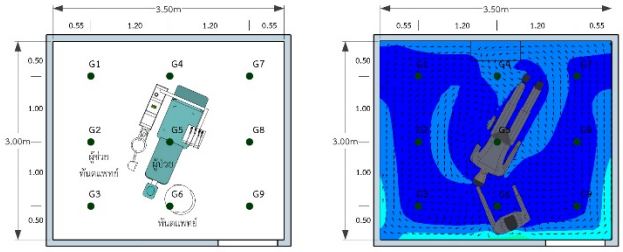
ภาพ 4 ช่องปล่อยลมด้านปลายเท้า(ผนัง A), ด้านขวา(ผนังB), ด้านศีรษะ(ผนังC) และด้านซ้ายมือของผู้ป่วย(ผนังD) ตามลำดับ

2) ตัวแปรตาม ประกอบด้วย ปัจจัยทิศทางการไหลของอากาศ เพื่อบ่งบอกทิศทางการไหลของเชื้อโรค ปัจจัยรูปแบบการไหลของอากาศ อากาศภายนอกที่เข้ามายังพื้นที่ และเชื้อโรคที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นถูกระบายออกอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยอายุอากาศ จากอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH คือ การแลกเปลี่ยนอากาศ 12 รอบใน 60 นาที อายุอากาศจึงไม่ควรเกิน 5 นาที หรือ 300 วินาที บริเวณที่มีอายุอากาศมากส่งผลเสียต่อผู้ใช้งานในห้องตรวจ

3) ตัวแปรควบคุม ติดตั้งเครื่องปรับอากาศหรือช่องปล่อยลมเข้าที่ระดับความสูง 2.00 เมตร และพัดลมดูดอากาศหรือช่องปล่อยลมออกที่ระดับความสูง 0.80 เมตร จากระดับพื้นห้องถึงกึ่งกลางพัดลม ซึ่งเป็นความสูงระดับหายใจของผู้ป่วยและทันตแพทย์ขณะทำหัตถการทางทันตกรรม

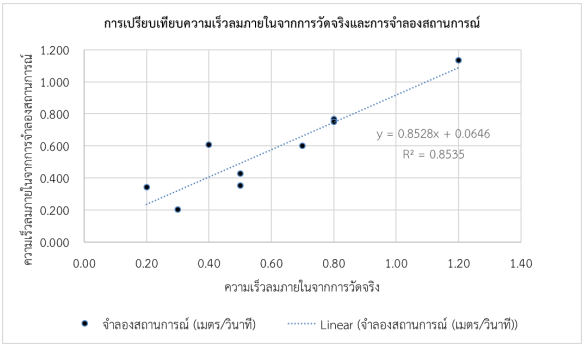
4. การเลือกเครื่องมือและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ โดยการนำค่าความเร็วลมที่วัดได้จากการสำรวจจริงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบจำลองพลศาสตร์ของไหล ซึ่งจากการทบทวนวรรณพบว่าการเลือกใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาประยุกต์ใช้กับระบบสมการเครื่องกล โดยมีกฎพื้นฐานทางฟิสิกส์ทำนายค่าขององค์ประกอบต่างๆ (ณิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย, 2559) ประหยัดค่าใช้จ่าย แสดงผลได้รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย ราคาถูกกว่าการวัดและคำนวณ (Méndezและคณะ, 2008) ช่วยแสดงผลรูปแบบการไหลและการกระจายตัวของอนุภาคสารปนเปื้อนในพื้นที่เก็บข้อมูลได้ (Al Assaadและคณะ, 2018)

การเก็บข้อมูลจากห้องตรวจทันตกรรมติดตั้งระบบปรับอากาศ ประกอบด้วยข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลมห้อง โดยกำหนดตำแหน่งที่เก็บข้อมูลในระดับความสูงที่ 0.80 เมตร ซึ่งเป็นระดับการหายใจของผู้ป่วยขณะรับการรักษาและเป็นระดับการทำงานของทันตแพทย์ ด้วยเครื่อง Hot wire anemometer ยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-47 ในตำแหน่ง ดังภาพที่ 5 เปรียบเทียบกับแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow simulation ในการทดสอบความถูกต้องค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) มีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 คือ 0.8535 จึงสรุปว่ามีความน่าเชื่อถือ



(d) (e)

ภาพ 5 (d) ตำแหน่งการเก็บข้อมูลความเร็วลมด้วยเครื่องมือวัดความเร็วลม (e) การจำลองพลศาสตร์ของไหลในโปรแกรม



ภาพ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ของการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือกับการจำลองพลศาสตร์ของไหล

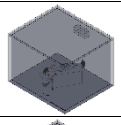
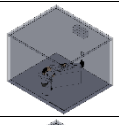
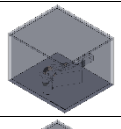
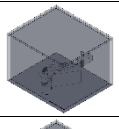
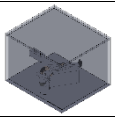
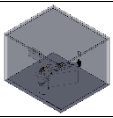
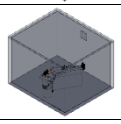
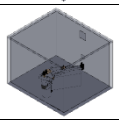
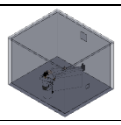
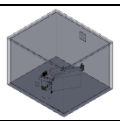
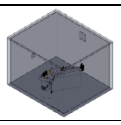
5. การกำหนดรูปแบบการศึกษาออกแบบตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

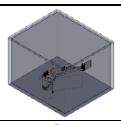
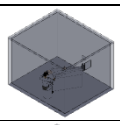
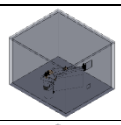
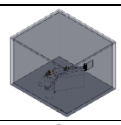
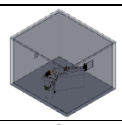
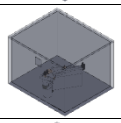
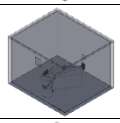
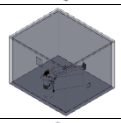
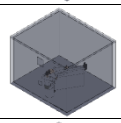
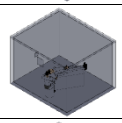
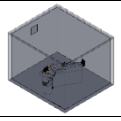
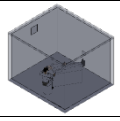
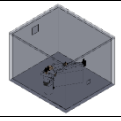
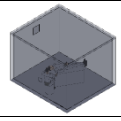
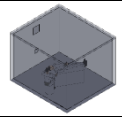
ส่วนที่ 1 การจำลองการระบายอากาศ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วยตามกรณีศึกษา และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งบนผนังด้านขวา และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ

ส่วนที่ 2 การจำลองการระบายอากาศ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ บนผนังด้านปลายเท้า ด้านขวา และด้านศีรษะของผู้ป่วย ร่วมกับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย ศึกษาผลกระทบของการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ร่วมกับการเพิ่มพัดลมระบายอากาศ เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ

ส่วนที่ 3 การจำลองการระบายอากาศ ติดตั้งช่องลมปล่อยเข้า ช่องปล่อยลมออกบนผนัง เพื่อเสนอแนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ ดังตารางที่ 2

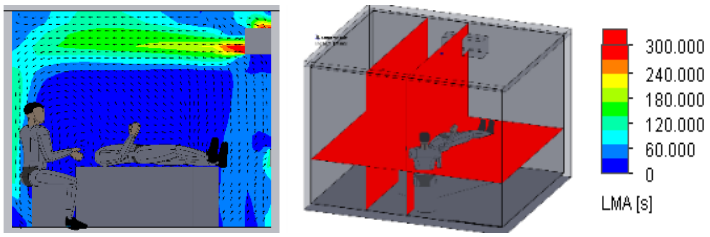
ตาราง 2 สรุปรูปแบบการจำลองสถานการณ์

แบบจำลองตำแหน่งการติดตั้ง		ช่องปล่อยลมออกติดตั้งบนผนัง				
		ไม่ติดตั้ง	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)	ด้านขวาผู้ป่วย (ผนัง B)	ด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C)	ด้านซ้ายผู้ป่วย (ผนัง D)
เครื่องปรับอากาศ	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)					
	ด้านขวาผู้ป่วย (ผนัง B)					
	ด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C)					
ช่องปล่อยลมเข้าติดตั้งบน	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)					

ผนัง	ด้านขวา ผู้ป่วย (ผนัง B)					
	ด้านศีรษะ ผู้ป่วย (ผนัง C)					
	ด้านซ้าย ผู้ป่วย (ผนัง D)					

6 การเก็บข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ และการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อใช้ในการสรุปผลงานวิจัย ดังนี้

6.1 ข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศ และรูปแบบการไหลของอากาศ เป็นการเก็บข้อมูลจากลูกศร ภาพสี และแถบสี แสดงทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศที่เข้ามายังพื้นที่ห้องตรวจก่อนเชื้อโรคที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นถูกระบายออกไป ดังภาพที่ 7



ภาพ 7 ลูกศร ภาพสี และแถบสี ในห้องตรวจทันตกรรม

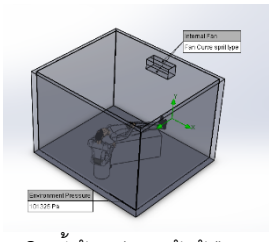
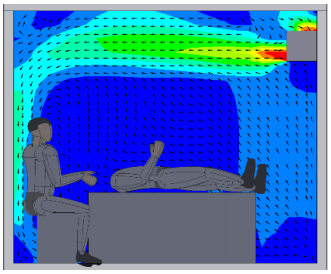
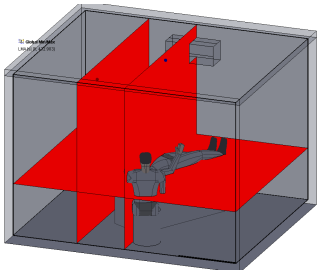
6.2 ข้อมูลอายุอากาศ เป็นการเก็บข้อมูลจากภาพสี และแถบสี ในแนวราบและแนวดิ่ง บริเวณที่มีอายุอากาศมากถือเป็นพื้นที่ที่มีการระบายอากาศได้น้อย จะมีค่าเข้าใกล้สีแดง ส่งผลเสียต่อผู้ใช้งาน มีหน่วยเป็น วินาที ดังภาพที่ 7

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยศึกษาการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม แบ่งการรายงานผลออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สถานการณ์การระบายอากาศห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษา ติดตั้งเครื่องปรับอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วย กับการเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งบนผนังด้านขวา และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย พบว่าการติดตั้งที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย ทิศทางการไหลของอากาศไหลจากเครื่องปรับอากาศมายังทันตบุคลากรก่อนจะไหลไปสู่ผู้ป่วย อากาศบางส่วนเกิดการหมุนวนของอากาศ ทำให้อากาศที่ปนเปื้อนไปด้วยเชื้อโรคจากผู้ป่วยไหลกลับมาสู่ทันตบุคลากร โดยไม่สามารถระบายอากาศออกจากในห้องตรวจได้ และมีอายุอากาศเกิน 300 วินาที การติดตั้งที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย มีทิศทางการไหลของเชื้อโรคผ่านไปยังทันตบุคลากร และอายุอากาศเกิน 300 วินาที และการติดตั้งที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย อายุอากาศไม่เกิน 300 วินาที แต่กลับมีทิศทางการไหลของอากาศผ่านทันตบุคลากร เป็นผลให้การติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังห้องผู้ใช้งานมีความเสี่ยงติดเชื้อสูงทุกกรณี ดังตารางที่ 3

ตาราง 3 แบบจำลองทิศทางการไหลของอากาศและอายุอากาศในสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย

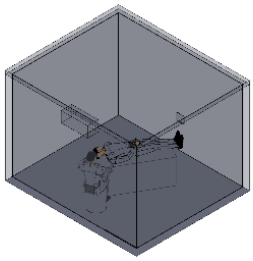
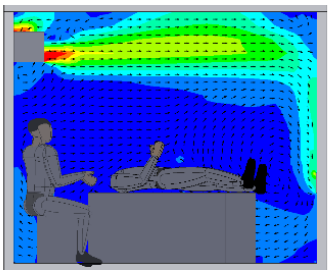
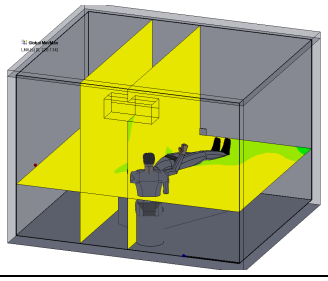
แบบจำลอง	ทิศทางการไหลของอากาศ	อายุอากาศ
 ติดตั้งด้านปลายเท้าผู้ป่วย		

ส่วนที่ 2 ผลการจำลองสถานการณ์การระบายอากาศ จากเครื่องปรับอากาศติดตั้งที่ผนังด้านปลายเท้า ผนังด้านขวา และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย ร่วมกับการใช้พัดลมระบายอากาศติดตั้งที่ผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย พบว่าสถานการณ์ที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศด้านศีรษะร่วมกับติดตั้งพัดลมระบายอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วย เป็นสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อต่ำกว่ารูปแบบอื่น ดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตาราง 4 ผลแบบจำลองติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังห้องตรวจทันตกรรม ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ

ตำแหน่งติดตั้ง		ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ			ความเสี่ยงในการติดเชื้อ (สูง,ต่ำ)
เครื่องปรับอากาศบนผนัง	พัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้า	ทิศทางและรูปแบบการไหลของเชื้อโรค	อายุอากาศ (วินาที)		
			สูงสุด	เฉลี่ย	
ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	428.88	425.31	สูง
	ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	216.85	208.84	สูง
ด้านขวาผู้ป่วย	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	457.45	455.63	สูง
	ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	235.66	232.67	สูง
ด้านศีรษะผู้ป่วย	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	297.50	295.35	สูง
	ติดตั้ง	ไม่ผ่านทันตบุคลากร	217.54	209.76	ต่ำ

ตาราง 5 แบบจำลองสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะร่วมกับติดตั้งพัดลมระบายอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วย

แบบจำลอง	ทิศทางการไหลของอากาศ	อายุอากาศ
		

ส่วนที่ 3 ผลการจำลองสถานการณ์การระบายอากาศ จากการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก บนผนัง พบว่าสถานการณ์ที่ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านขวาร่วมกับช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย และการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้านศีรษะผู้ป่วยร่วมกับช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าหรือด้านขวาของผู้ป่วย เป็นสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อต่ำกว่ารูปแบบอื่น ดังตารางที่ 6

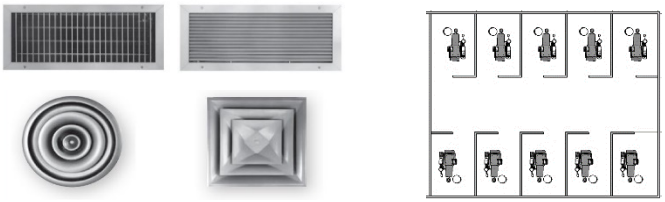
ตาราง 6 ผลแบบจำลองติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า และช่องปล่อยลมออกบนผนัง

ตำแหน่งติดตั้ง		ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ				ความเสี่ยงในการติดเชื้อ (สูง,ต่ำ)
ช่องปล่อยลมเข้า	ช่องปล่อยลมออกบนผนัง	ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศและเชื้อโรค	อายุอากาศ (วินาที)		อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)	
			สูงสุด	เฉลี่ย		
ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	251.35	223.41	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	230.41	202.49	12	สูง
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	197.74	176.37	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	236.09	217.46	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	248.86	218.93	12	สูง
ด้านขวาผู้ป่วย (ผนัง B)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	218.67	192.14	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ไม่ผ่านทันตบุคลากร	213.87	183.64	12	ต่ำ
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	203.19	164.67	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	250.02	214.02	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	237.69	205.45	12	สูง
ด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	237.77	222.23	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ไม่ผ่านทันตบุคลากร	223.55	217.08	12	ต่ำ
	ด้านขวาผู้ป่วย	ไม่ผ่านทันตบุคลากร	241.89	208.84	12	ต่ำ
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	213.13	195.78	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	223.15	202.37	12	สูง
ด้านซ้ายผู้ป่วย (ผนัง D)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	279.01	237.64	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	222.44	189.74	12	สูง
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	277.49	234.94	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	201.65	174.80	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	206.97	180.19	12	สูง

การจำลองสถานการณ์ศึกษาตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ทำให้สามารถประเมินการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม เข้าใจปัญหาการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในแต่ละตำแหน่ง โดยพิจารณาจากทิศทางการไหล รูปแบบการไหล และอายุอากาศ ซึ่งจากการประเมินพบว่า การติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าด้านขวา และด้านศีรษะของผู้ป่วยมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูงทุกกรณี การเพิ่มพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย ช่วยลดอายุอากาศที่ตกค้างในห้อง ทำให้การระบายอากาศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อลงได้ โดยรูปแบบการติดตั้งเครื่องปรับอากาศด้านปลายเท้า ด้านศีรษะ และด้านขวาของผู้ป่วย ร่วมกับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วย ให้ค่าอายุอากาศจากน้อยไปมากตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ ซึ่งควรไหลจากพื้นที่สะอาดมากไปยังพื้นที่สะอาดน้อย คือจากทันตบุคลากรไปยังผู้ป่วยนั้น สถานการณ์การติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วยร่วมกับการติดตั้งพัดลมดูดอากาศด้านปลายเท้าของผู้ป่วย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศและลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้มากกว่าสถานการณ์อื่น การพิจารณาตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ ควรพิจารณาทั้งในแนวราบและแนวระดับ เพื่อให้มีความความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก บนผนังเป็นรูปแบบที่ช่วยให้เกิดการเติมอากาศเข้ามาในบริเวณห้องตรวจ ซึ่งสถานการณ์ที่ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านขวาร่วมกับช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย และการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้านศีรษะผู้ป่วยร่วมกับช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าหรือด้านขวาของผู้ป่วย จะช่วยลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ เป็นแนวทางในการเลือกใช้ตามความเหมาะสมของห้องตรวจทันตกรรมได้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทำหัตถการทางทันตกรรมมีตำแหน่งการรักษาที่ตายตัว โดยทันตแพทย์อยู่ด้านขวามือ ผู้ช่วยทันตแพทย์อยู่ด้านซ้ายมือของผู้ป่วย และเตียงผู้ป่วยทันตกรรมอยู่กลางห้อง เมื่อเกิดอนุภาคเชื้อโรคภายในห้องตรวจซึ่งมีขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า การจำลองสถานการณ์ในห้องตรวจจะทำให้เข้าใจความเสี่ยงของการติดเชื้อโรคจากอนุภาคละอองที่ลอยอยู่ในอากาศ โดยพบว่าการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว มีค่าอายุอากาศสูง ผู้ใช้งานมีความเสี่ยงในการติดเชื้อ เพราะอากาศไม่สามารถไหลออกสู่ภายนอกได้ มีเพียงการรั่วของอากาศผ่านทางประตูในปริมาณที่น้อยมาก การเพิ่มพัดลมระบายอากาศ จะช่วยลดอายุอากาศที่ตกค้างในห้องลงได้และตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่มีทิศทางการไหลจากทันตแพทย์ไปยังผู้ป่วย ร่วมกับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศในทิศตรงกันข้ามมีประสิทธิภาพช่วยลดความเสี่ยงในการติดเชื้อแก่ผู้ใช้งานลงได้ หรือหากออกแบบให้ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า และช่องปล่อยลมออกในพื้นที่ห้องตรวจจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดความเสี่ยงของการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรมห้องเดี่ยว ซึ่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าควรติดตั้งคนละด้านกับช่องปล่อยลมออกเพราะหากติดตั้งที่ผนังด้านเดียวกันจะทำให้อากาศถูกดูดออกก่อนมีการไหลเวียนภายในห้อง ในการติดตั้งช่องปล่อยลมออกไม่ควรติดตั้งด้านเดียวกับทันตบุคลากร เพราะจะทำให้เชื้อโรคในอากาศไหลออกผ่านทางทันตบุคลากรไปด้วย



(f) (g)

ภาพ 8 (f) หน้ากากช่องจ่ายลมรูปแบบต่างๆ (g) ห้องตรวจทันตกรรมที่มีหลายเตียงตรวจในพื้นที่เดียวกัน

สำหรับการประยุกต์ใช้งานตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้าภายในห้อง ระยะการจ่ายลม ความเร็วลมแรกเริ่มจะค่อยๆ ลดลงตามความดันที่ลดลงของอากาศ และระยะการกระจายลม ดังนั้นการศึกษาเลือกใช้หน้ากากช่องลมรูปแบบต่างๆ ดังภาพที่ 8(f) มาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น อาจได้ผลการศึกษาที่แตกต่างกัน การใช้งานจริงจำเป็นต้องคำนึงปัจจัยการเปิดปิดประตูซึ่งไม่สามารถควบคุมการใช้งานได้ตลอดเวลาอีกด้วย นอกจากนี้งานวิจัยยังสามารถขยายผลการศึกษาต่อในห้องตรวจทันตกรรมรวมที่มีหลายเตียงตรวจในพื้นที่เดียวกัน หรืออาจมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ช่องจ่ายลม หลายตำแหน่งในพื้นที่เดียวกันได้ ดังภาพที่ 8(g) และยังสามารถเพิ่มเติมเรื่องอุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในงานวิจัยต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

Al Assaad, D., Habchi, C., Ghali, K., & Ghaddar, N. (2018). Effectiveness of intermittent personalized ventilation in protecting occupant from indoor particles. Building and Environment, 128, 22-32.

Ampornaramveth, R. (2017, January - March). Air Quality in Dental Clinic. J DENT ASSOC THAI, 67(1).

Atkinson, J., Chartier, Y., Silvia, C. L. P., Jensen, P., Li, Y., & Seto, W. H. (Eds.). (2009). Natural ventilation for infection control in health-care settings. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

Chuang, C. Y., Cheng, H. C., Yang, S., Fang, W., Hung, P. C., & Chuang, S. Y. (2014). Investigation of the spreading characteristics of bacterial aerosol contamination during dental scaling treatment. Journal of Dental Sciences, 9(3), 294-296.

Cleveland, J. L., Robison, V. A., & Panlilio, A. L. (2009). Tuberculosis epidemiology, diagnosis and infection control recommendations for dental settings: an update on the Centers for Disease Control and Prevention guidelines. The Journal of the American Dental Association, 140(9), 1092-1099.

Harrel, S. K., & Molinari, J. (2004). Aerosols and splatter in dentistry: a brief review of the literature and infection control implications. The Journal of the American Dental Association, 135(4), 429-437.

Harte, J. A. (2010). Standard and transmission-based precautions: an update for dentistry. The Journal of the American Dental Association, 141(5), 572-581.

Jensen, P. A., Lambert, L. A., Iademarco, M. F., Ridzon, R., & Centers for Disease Control and Prevention. (2005). Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in healthcare settings, 2005.

Lamberti, M., Muoio, M. R., Westermann, C., Nienhaus, A., Arnese, A., Ribeiro Sobrinho, A. P., ... & De Rosa, A. (2017). Prevalence and associated risk factors of latent tuberculosis infection among undergraduate and postgraduate dental students: A retrospective study. Archives of environmental & occupational health, 72(2), 99-105.

Lee, E., Khan, J. A., Feigley, C. E., Ahmed, M. R., & Hussey, J. R. (2007). An investigation of air inlet types in mixing ventilation. Building and environment, 42(3), 1089-1098.

Méndez, C., San José, J., Villafruela, J., & Castro, F. (2008). Optimization of a hospital room by means of CFD for more efficient ventilation. *Energy and Buildings, 40*(5), 849-854.

Merte, J. L., Kroll, C. M., Collins, A. S., & Melnick, A. L. (2014). An epidemiologic investigation of occupational transmission of Mycobacterium tuberculosis infection to dental health care personnel: infection prevention and control implications. The Journal of the American Dental Association, 145(5), 464-471.

Miller, R. L., & Micik, R. E. (1978). Air pollution and its control in the dental office. Dental Clinics of North America, 22(3), 453.

Sebastiani, F. R., Dym, H., & Kirpalani, T. (2017). Infection Control in the Dental Office. *Dental Clinics,* 61(2), 435-457.

Sehulster, L., Chinn, R. Y., Arduino, M., Carpenter, J., Donlan, R., Ashford, D., . . . Whitney, C. (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. *Morbidity and mortality weekly report recommendations and reports RR,* 52(10).

Petti, S. (2016). Tuberculosis: Occupational risk among dental healthcare workers and risk for infection among dental patients. A meta-narrative review. Journal of dentistry, 49, 1-8.

Yongson, O., Badruddin, I. A., Zainal, Z. A., & Narayana, P. A. (2007). Airflow analysis in an air conditioning room. Building and environment, 42(3), 1531-1537

ณิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย. (2559). ประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกวัณโรค กรณีศึกษาศูนย์บริการสาธารณสุขในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์. (2555). แนวทางการออกแบบคลินิกทันตกรรม. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฉบับที่ 61, 43-58.

สำนักวัณโรค. (2552). คู่มืออบรม แนวทางมาตรฐานการดำเนินงานควบคุมวัณโรค สำหรับคลินิกวัณโรค. กรุงเทพมหานคร: สำนักวัณโรค กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข.

สำนักวัณโรค. (2559). คู่มือ เรียนรู้ เข้าใจวัณโรค ด้วยตัวเอง สำหรับ อสม. กรุงเทพมหานคร: สำนักวัณโรค กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข.