

ประสิทธิภาพการระบายอากาศเพื่อควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจพันธุกรรม



นางสาวธัญจิรา เตชะสนธิชัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ventilation effectiveness for airborne infection control in dental examination room



Miss Tanjira Techasontichai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Architecture Program in Architecture

Department of Architecture

Faculty of Architecture

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

5973559825 : MAJOR ARCHITECTURE

KEYWORDS: AIRBORNE INFECTION CONTROL / VENTILATION / DENTAL EXAMINATION ROOM / COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

TANJIRA TECHASONTICHAJ: Ventilation effectiveness for airborne infection control in dental examination room. ADVISOR: ASST. PROF. VORAPAT INKAROJRIT, Ph.D., 145 pp.

The dental examination room is a place at risk of airborne pathogen contamination. Dental treatment offers greater opportunities for creating splatters and aerosols that spread pathogens from patients and tools into the air than other kinds of medical examinations. An inspection of a dental examination room found that the ventilation system was not suitable. The objectives of this research are to evaluate the ventilation effectiveness, 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. Computational Fluid Dynamics modeling is a reliable method for studying the positions of fresh air inlets and vented air outlets. The method takes into consideration the airflow direction, airflow pattern and age of air at the height of 0.80 meter. The research found the dental health care personnel (DHCP) to be at risk of infection. Updating or modifying the air outlets will help the age of air; however, a point of concern in this study is that the door operation is uncontrolled. Installation of fresh air inlets on the wall nearest the patient's head, and vented air outlets on the side nearest the patient's feet will help improve ventilation effectiveness. The air inlets should be located wherever hygiene is required, and the outlets should be located where no DHCP are positioned. Additionally, the air inlets should not be on the same side as the air outlets. Lastly, all key indicators should be considered prior to the installations. This research proposes criteria for improvement of ventilation effectiveness in order to limit the risks of contamination, using the design guidelines to improve the positions of air conditioning, air inlets and air outlets properly. The research can be developed further to include situations where there are several dental chairs in a common area.

Department: Architecture

Student's Signature

Field of Study: Architecture

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.วรภัทร์ อิงค์โรจน์ฤทธิ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิดในการทำงานวิจัย ตลอดจนการพิจารณางานวิจัยให้มีความถูกต้อง ครบถ้วนจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รศ.พรรณชลัท สุริโยธิน และ รศ.ดร.อรรจน์ เศรษฐบุตุร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.ธาริณี รามสูตร กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณทันตแพทย์หญิงศศิธร สุธนรัชช์ และทันตบุคลากรทุกท่าน สำหรับความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคุณพลวัฒน์ ไพโรไพศาลกิจ สำหรับการให้ความรู้ คำแนะนำ และความอนุเคราะห์การใช้งานโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่คอยสนับสนุน เป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ	1
สารบัญตาราง.....	5
บทที่ 1 บทนำ	7
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	7
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	9
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	9
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา.....	10
1.4.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	10
1.4.2 การสำรวจภาคสนาม	10
1.4.3 การออกแบบการศึกษาและการเก็บข้อมูล	10
1.4.4 การวิเคราะห์ผลและอภิปรายผลการศึกษา.....	11
1.4.5 สรุปผลและเสนอแนะแนวทางการออกแบบ	11
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 การให้การรักษาทางทันตกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบัน.....	13
2.2 การควบคุมการติดเชื้อทางอากาศในคลินิกทันตกรรม	19
2.3 การระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม.....	22
2.3.1. อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ventilation rate).....	23

2.3.2 อายุอากาศ (age of air).....	23
2.3.3 ทิศทางการไหลของอากาศ (airflow direction).....	24
2.3.4 รูปแบบการไหลของอากาศ (airflow pattern)	25
2.4 สรุปการทบทวนวรรณกรรม.....	36
2.4.1 มาตรฐานและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ	36
2.4.2 ประเด็นสำคัญที่พบจากการทบทวนวรรณกรรม	37
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการศึกษา.....	38
3.1 การเก็บข้อมูลพื้นที่กรณีศึกษา.....	39
3.2 การกำหนดตัวแปรที่จะใช้ในการศึกษา.....	40
3.2.1 ตัวแปรต้น.....	40
3.2.2 ตัวแปรตาม.....	43
3.2.3 ตัวแปรควบคุม.....	44
3.3 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ.....	44
3.3.1 เก็บข้อมูลจากห้องตรวจพันธุกรรมติดตั้งระบบปรับอากาศ	45
3.3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของอากาศด้วยโปรแกรม	45
3.3.3 การเปรียบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองสถานการณ์กับการเก็บข้อมูลกรณีศึกษา... ..	46
3.4 รูปแบบการศึกษา.....	47
3.4.1 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 1	47
3.4.2 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 2	48
3.4.3 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 3	48
3.4.4 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 4	49
3.4.5 สรุปรูปแบบการศึกษา	57
3.5 การจำลองด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล	58

3.6 การเก็บข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลและการวิเคราะห์ข้อมูล	60
3.6.1 ข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศ ข้อมูลรูปแบบการไหลของอากาศ.....	60
3.6.2 ข้อมูลอายุอากาศ.....	62
3.7 การสรุปผลและเสนอแนะข้อมูล	62
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	63
4.1 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานก่อนการปรับปรุง	63
4.1.1 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้า.....	64
4.1.2 อายุอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้า.....	64
4.2 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานหลังการปรับปรุง	65
4.2.1 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลมระบายอากาศ	65
4.2.2 อายุอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ร่วมกับพัดลมระบายอากาศ.....	66
4.3 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมทดลองปรับปรุง ช่องปล่อยลมเข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออก	67
4.3.1 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนผนัง.....	67
4.3.2 อายุอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนผนัง	70
4.3.3 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนฝ้าเพดาน.....	72
4.3.4 อายุอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนฝ้าเพดาน.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะแนวทางการออกแบบ	77
5.1 การศึกษาการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดี่ยวกรณีศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ	78

5.2 การศึกษาการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดี่ยว หลังการประเมิน ประสิทธิภาพการระบายอากาศและการขยายผลการประเมิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ ระบายอากาศ	78
5.3 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม และการเสนอแนะ แนวทางการควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม	79
5.3.1 ปัจจัยด้านตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และพัดลมระบายอากาศ.....	80
5.3.2 ปัจจัยด้านตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า และติดตั้งช่องปล่อยลมออก	80
5.3.3 การเสนอแนะแนวทางการควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม.....	81
5.4 ข้อเสนอแนะ	83
รายการอ้างอิง	85
ภาคผนวก ก ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานก่อนการ ปรับปรุง	89
ภาคผนวก ข ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานหลังการ ปรับปรุง	94
ภาคผนวก ค ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมทดลองปรับปรุงช่อง ปล่อยลมเข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออก.....	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	145

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1.1 การรักษาในห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษา	7
ภาพที่ 1.2 กรอบความคิดในการวิจัย	11
ภาพที่ 1.3 แผนผังระเบียบวิธีการศึกษา	12
ภาพที่ 2.1 กลไกการเกิดและการสร้างละอองของระบบทางเดินหายใจ.....	13
ภาพที่ 2.2 เส้นทางการเกิดละออง ส่งผลต่อการติดเชื้อในอากาศ.....	14
ภาพที่ 2.3 แหล่งกำเนิดละอองที่มองเห็นได้ของการรักษาทันตกรรมจากน้ำหล่อเย็นและจากผู้ป่วย	15
ภาพที่ 2.4 ขนาดของอนุภาคละอองในการแทรกซึมเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ.....	16
ภาพที่ 2.5 แผนภูมิการแพร่กระจายเชื้อไวรัสจากคนสู่คน ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาแต่ไม่หายและไม่เสียชีวิตสามารถแพร่เชื้อต่อให้ผู้อื่นไปได้เรื่อยๆ.....	16
ภาพที่ 2.6 การจัดพื้นที่แต่ละส่วนตามการใช้สอย.....	17
ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างขนาดยูนิตทำฟันและระยะพื้นที่ใช้สอย หน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	18
ภาพที่ 2.8 ภาพถ่ายพื้นที่ใช้สอยภายในคลินิกทันตกรรมกรณีศึกษา	18
ภาพที่ 2.9 สถานที่เก็บตัวอย่างของละอองแบคทีเรียช่วงการรักษาในห้องตรวจเดี่ยวทันตกรรม	19
ภาพที่ 2.10 วงจรการติดเชื้อโรค	20
ภาพที่ 2.11 แนวความคิดของอายุอากาศ	23
ภาพที่ 2.12 ทิศทางการไหลและรูปแบบการไหลของอากาศที่มีความเหมาะสมในห้องตรวจ.....	24
ภาพที่ 2.13 การเคลื่อนที่ของอากาศเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ และความดันอากาศ	25
ภาพที่ 2.14 การเคลื่อนที่ของอากาศ.....	25
ภาพที่ 2.15 ระยะการจ่ายลม (throw), ระยะการกระจายลม (spread), ระยะความดันลดลง (drop).....	27
ภาพที่ 2.16 หัวจ่ายลมแบบกลม แบบเหลี่ยม แบบตะแกรง และหัวจ่ายลมกลับ	27
ภาพที่ 2.17 พัดลมใบพัดติดผนัง และพัดลมระบายอากาศแบบแขวน ติดฝ้าเพดาน	28

ภาพที่ 2.18 รูปแบบห้องพัก: (a) ระบบพิกัดห้อง และ (b) ติดตั้งด้านหลังผู้ใช้งาน (c) ติดตั้งริมห้องด้านข้างผู้ใช้งาน (d) ติดตั้งกลางห้องด้านข้างผู้ใช้งาน	30
ภาพที่ 2.19 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางสถิติเพื่อความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง และ ทิศทางความเร็วลมขณะอากาศไหลผ่านผู้ใช้งานในห้องพัก.....	30
ภาพที่ 2.20 การทดลองช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังและฝ้าเพดานเพื่อดูรูปแบบการไหลของอากาศ	31
ภาพที่ 2.21 รูปแบบการนำอากาศเข้าและออกจากการทบทวนวรรณกรรมการระบายอากาศ.....	31
ภาพที่ 2.22 รูปแบบการระบายอากาศแบบข้ามฟาก และตำแหน่งเก็บข้อมูล	32
ภาพที่ 2.23 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านช่องเปิด.....	32
ภาพที่ 2.24 โมเดลจำลองการไหลของอากาศ ติดตั้งบนฝ้าเพดาน และติดตั้งบนผนัง	33
ภาพที่ 2.25 ห้องผ่าตัดมีการควบคุมทิศทางกการไหลของอากาศ	33
ภาพที่ 2.26 แบบจำลองห้องผ่าตัด.....	34
ภาพที่ 2.27 แพลนแสดงอายุอากาศ (วินาที) ที่ระดับความสูง 0.90 เมตร ในห้องพัก.....	35
ภาพที่ 2.28 การแสดงผลในแบบจำลอง และการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของอากาศในห้อง ผ่าตัด.....	35
ภาพที่ 2.29 แพลนระดับการหายใจและรูปตัดขวางของความเร็วลมเฉลี่ยจากการทดลอง CFD ในระดับสีต่างๆ.....	36
ภาพที่ 3.1 การจัดวางพื้นที่ใช้สอยห้องตรวจทันตกรรม (ห้องเดียว).....	39
ภาพที่ 3.2 ห้องตรวจทันตกรรม กว้าง 3.00 เมตร ยาว 3.50 เมตร สูง 2.50 เมตร.....	39
ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ บนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวา ของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C).....	40
ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนัง ด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B), ผนังด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C) และผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) ...	41
ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E), ฝ้า เพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G)	41
ภาพที่ 3.6 ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนัง ด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B), ผนังด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C), ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D).....	43

ภาพที่ 3.7 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมในห้องตรวจ และ เครื่องมือวัดความเร็วลม.....	45
ภาพที่ 3.8 ความเร็วลมที่เกิดขึ้นจากการจำลองพลศาสตร์ของไหลในโปรแกรม.....	46
ภาพที่ 3.9 กราฟเปรียบเทียบความเร็วลมที่วัดได้จากห้องตรวจทันตกรรมกับการจำลองผ่านโปรแกรม.....	47
ภาพที่ 3.10 การแสดงผลด้วยลูกศร เส้นสีขาวต่อเนื่อง ภาพสี แดงสี และจุดอนุภาคสี.....	58
ภาพที่ 3.11 กราฟความคลาดเคลื่อนของความเร็วลมที่เกิดขึ้นในโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล	60
ภาพที่ 3.12 ค่าระดับสี และลูกศร แสดงความเร็วลมของตำแหน่งต่างๆในห้องตรวจ	61
ภาพที่ 3.13 เส้นสีขาวต่อเนื่อง แสดงความเร็วลมและรูปแบบการหมุนวนของอากาศในห้องตรวจ..	61
ภาพที่ 3.14 อนุภาคเชื้อโรคที่ลอยตัวในอากาศ	61
ภาพที่ 3.15 ภาพสีอายุอากาศที่เกิดขึ้นภายในห้องตรวจทันตกรรม	62
ภาพที่ 4.1 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ , ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ.....	65
ภาพที่ 4.2 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง, ไม่ติดตั้งช่องปล่อยลมออก.....	67
ภาพที่ 4.3 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย	68
ภาพที่ 4.4 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านขวาผู้ป่วย	69
ภาพที่ 4.5 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านศีรษะผู้ป่วย	69
ภาพที่ 4.6 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านซ้ายผู้ป่วย.....	70
ภาพที่ 4.7 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ไม่ติดตั้งช่องปล่อยลมออก	72

ภาพที่ 4.8 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ย ในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย	73
ภาพที่ 4.9 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ย ในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ช่องปล่อยลมออกด้านขวาผู้ป่วย.....	73
ภาพที่ 4.10 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ย ในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ช่องปล่อยลมออกด้านศีรษะผู้ป่วย.....	74
ภาพที่ 4.11 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ย ในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ช่องปล่อยลมออกด้านซ้ายผู้ป่วย	75
ภาพที่ 5.1 อากาศไหลไปสู่ช่องลมปล่อยออกโดยไหลผ่านจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์	79
ภาพที่ 5.2 ตำแหน่งผู้ใช้งานในห้องตรวจทันตกรรม	80



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 อัตราการผลิตเชื้อและร้อยละของอนุภาคละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ที่เกิดจากหัตถการทางทันตกรรม.....	15
ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบอัตราแลกเปลี่ยนอากาศชั้นต่ำ (ACH) ของเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ ...	21
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของพัดลม มอก.710-2535.....	29
ตารางที่ 3.1 สรุปรายละเอียดของตัวแปร.....	44
ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่วัดได้ในห้องตรวจทันตกรรมกับการจำลองผ่าน โปรแกรม.....	46
ตารางที่ 3.3 รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A).....	47
ตารางที่ 3.4 รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้าน ศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C).....	48
ตารางที่ 3.5 รูปแบบการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนัง ด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) ร่วมกับพัดลมระบายอากาศบน ผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A).....	49
ตารางที่ 3.6 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) ร่วมกับ ช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน	50
ตารางที่ 3.7 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) ร่วมกับ ช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน	51
ตารางที่ 3.8 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) ร่วมกับ ช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน	52
ตารางที่ 3.9 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) ร่วมกับ ช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน	53
ตารางที่ 3.10 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน	54
ตารางที่ 3.11 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน	55

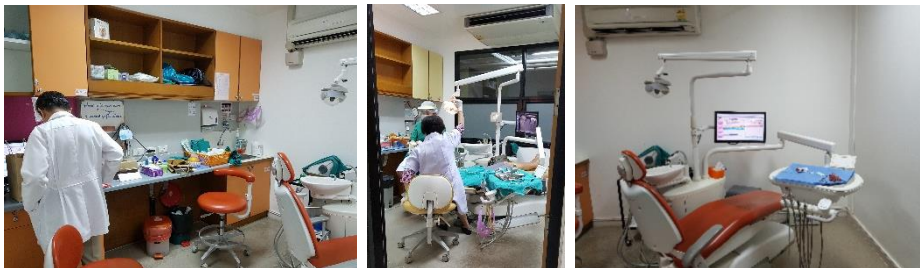
ตารางที่ 3.12 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน	56
ตารางที่ 3.13 สรุปรูปแบบการจำลองสถานการณ์.....	57
ตารางที่ 3.14 การตั้งค่าข้อมูลในโปรแกรม SolidWorks Flow simulation	59
ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองห้องตรวจทันตกรรมก่อนปรับปรุง ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนัง ด้านปลายเท้า.....	64
ตารางที่ 4.2 ผลแบบจำลองสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังห้องตรวจ ทันตกรรม	66
ตารางที่ 4.3 ผลแบบจำลองสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก บนผนัง	71
ตารางที่ 4.4 ผลแบบจำลองสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน ช่องปล่อยลมออกบน ผนัง.....	76
ตารางที่ 5.1 แนวทางการเลือกติดตั้ง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังห้องตรวจ ทันตกรรม	81
ตารางที่ 5.2 แนวทางการเลือกติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก บนผนังห้องตรวจ ทันตกรรม	82

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาวะในช่องปากประกอบด้วยของเหลวที่ปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียและไวรัสหลายชนิดและมีคราบจุลินทรีย์บนฟัน (dental plaque) ช่องปากยังต่อกับโพรงจมูก (oronasal) และช่องคอ (pharynx) ทำให้ภายในช่องปากสามารถพบเชื้อโรคที่พบในโพรงจมูก คอ และระบบทางเดินหายใจ (Ampornaramveth, 2017) เมื่อเกิดการไอ จาม จากผู้ป่วย หรือการทำหัตถการทางทันตกรรมที่มีการใช้เครื่องมือเชิงกล ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายละอองของสารคัดหลั่งที่ปนเปื้อนไปด้วยเชื้อโรค (Sebastiani, Dym และ Kirpalani, 2017) ทั้งละอองกระเด็น (splatter) และละอองลอย (aerosol) ได้มากกว่าการให้การรักษารอคั่วทั่วไป (Harrel และ Molinari, 2004) โดยเฉพาะเชื้อที่เป็นอันตรายอย่าง Mycobacterium tuberculosis ที่ก่อให้เกิดวัณโรค สามารถลอยฟุ้งในอากาศได้นานก่อนที่จะตกลงสู่พื้นผิวสิ่งแวดล้อมและถูกสูดดมเข้าสู่ร่างกาย หากผู้ป่วยวัณโรคที่มีระยะแฝงได้รับเชื้อแล้วยังคงไม่มีอาการแสดงให้เห็น แต่เชื้อแบคทีเรียยังอยู่ในร่างกายเมื่อถึงระยะแสดงอาการ เชื้อได้รับการกระตุ้นจึงเกิดอาการปรากฏให้เห็นชัดเจน เชื้อโรคในห้องตรวจทันตกรรมนั้นจะกระจายตัวในอากาศเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เมื่อมีผู้สูดเอาเชื้อวัณโรคเข้าไปในร่างกายจึงเกิดการติดเชื้อ (สำนักวิจัยโรค, 2559) จึงจำเป็นต้องให้การรักษานักศึกษาที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อในห้องพิเศษที่มีระบบป้องกันการแพร่เชื้อที่ติดต่อทางอากาศ (airborne precautions) นอกจากนี้ น้ำลายและสารคัดหลั่งจากช่องจมูกและคอก็ยังปนเปื้อนด้วยเชื้อก่อโรคอื่นอย่างไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคไข้หวัดใหญ่ ไวรัสซาร์ส และกรณีผู้ป่วยด้วยโรคไวรัสของระบบทางเดินหายใจ โอกาสแพร่เชื้อจึงมีได้ตลอดเวลาแม้ไม่ได้ทำหัตถการใดๆ (Harte, 2010) ดังนั้นการทำหัตถการทางทันตกรรมจึงควรได้รับการตรวจประเมินการระบายอากาศเพื่อลดอนุภาคเชื้อโรคไม่ให้แพร่กระจายไปสู่ผู้ใช้งาน



ภาพที่ 1.1 การรักษาในห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษา

ปัญหาการคัดกรองผู้ป่วยก่อนการรักษาของทันตบุคลากร (dental health care personnel ; DHCP) ไม่ได้ให้การประเมินทางการแพทย์เบื้องต้นกับผู้ป่วยที่เป็นวัณโรคแฝงแต่มีเพียงการตรวจคัดกรองผู้ป่วยที่มีอาการบ่งชี้ว่าเป็นวัณโรคปรากฏชัดเจนก่อนการรักษาทันตกรรม (Jensen และคณะ, 2005) ทำให้การทำหัตถการทางทันตกรรมมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ และถึงแม้การรักษาจะมีความเสี่ยง แต่ผู้ป่วยที่สงสัยว่าเป็นวัณโรคอาจต้องการรักษาทันตกรรม จึงควรได้รับการระบุอย่างทั่วถึงเพื่อนำมาใช้ในการประเมินการรักษาทางการแพทย์ ห้องตรวจทันตกรรมจึงควรมีการประเมินความเสี่ยงของการติดเชื้อในเบื้องต้น (Cleveland, Robison และ Panlilio, 2009) เพื่อป้องกันผู้ป่วยคนอื่นและทันตบุคลากร ได้รับเชื้อโรคนั้นไปด้วย รวมไปถึงนักศึกษาทันตแพทย์ก็มีความเสี่ยงในการได้รับเชื้อวัณโรคจากการทำงานทันตกรรมเช่นเดียวกับทันตบุคลากร ดังนั้นการจัดการสภาพพื้นที่ทำงานทันตกรรม เพื่อควบคุมการแพร่กระจายของเชื้อโรคจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง (Lamberti และคณะ, 2017) โดยสามารถแบ่งผู้ใช้งานห้องตรวจทันตกรรมออกเป็น กลุ่มผู้ป่วย คือ ผู้มารับบริการทันตกรรม และกลุ่มทันตบุคลากร คือ ผู้ให้บริการทันตกรรม ได้แก่ ทันตแพทย์ ผู้ช่วยทันตแพทย์และเจ้าหน้าที่ การจัดพื้นที่ใช้สอยในห้องตรวจทันตกรรม ประกอบด้วยเก้าอี้ทำฟัน เก้าอี้ทันตแพทย์ เก้าอี้ผู้ช่วยทันตแพทย์ เคาน์เตอร์วางเครื่องมือและอ่างล้างมือ ลักษณะการทำงานของทันตแพทย์อยู่ด้านขวามือและผู้ช่วยทันตแพทย์อยู่ด้านซ้ายมือของผู้ป่วย ซึ่งมีรูปแบบและตำแหน่งตายตัว จากหลักฐานงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ การติดเชื้อของผู้ป่วยเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมในอาคาร ระยะเวลาการใช้งาน และการระบายอากาศ แม้ไม่ได้ทำการผ่าตัดก็ตาม (Petti, 2016) การจำลองการทดลองในห้องตรวจทันตกรรมให้ละอองแบคทีเรียถูกปล่อยมาจากผู้ป่วยบนเก้าอี้ทันตกรรม ละอองลอยสามารถแพร่กระจายได้ในแนวระนาบระยะทาง 100 เซนติเมตร และระยะทางแนวตั้ง 50 เซนติเมตร จากช่องปากของผู้ป่วย ทำให้ทันตแพทย์ที่ทำการรักษาด้านขวาของผู้ป่วยมีโอกาสได้รับละอองลอย และละอองอยู่ในอากาศเป็นเวลาถึง 20 นาที (Chuang และคณะ, 2014) จึงส่งผลให้ทันตแพทย์ หรือผู้ป่วย ที่อยู่ใกล้ชิดกับผู้ป่วยวัณโรคมีโอกาสในการติดเชื้อระหว่างกันได้ (Merte และคณะ, 2014)

จากการทบทวนวรรณกรรมและการสำรวจเบื้องต้นพบว่า ห้องตรวจทันตกรรมในปัจจุบันมีการคัดกรองผู้ป่วยเฉพาะผู้ป่วยที่แสดงอาการชัดเจน ทำให้ผู้ป่วยที่มีเชื้อแฝงหรือยังไม่แสดงอาการเมื่อเกิดการไอ จาม หรือการทำหัตถการทางทันตกรรม เกิดเป็นละอองเชื้อโรคขนาดเล็กและถูกสูดดมเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้งานภายในห้องตรวจทันตกรรม ประกอบกับห้องตรวจทันตกรรมนั้นไม่ได้รับการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ จึงเกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของทันตบุคลากรและผู้ป่วย ทั้งนี้การควบคุมโรคติดเชื้อทางอากาศได้มีหน่วยงานศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (Centers for Disease Control and Prevention ; CDC) สำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ (Occupational Safety and Health Administration ; OSHA) และสมาคมวิศวกรปรับอากาศและทำความเย็นของอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating, and Air

Conditioning Engineers ; ASHRAE) กำหนดอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำที่ 12 Air Change per Hour ; ACH เพื่อเป็นแนวทางการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมในการควบคุมการติดเชื้อ ซึ่งควรได้รับการออกแบบและตรวจประเมินให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ และคำนึงถึงองค์ประกอบของการระบายอากาศ ประเด็นอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาการตกค้างของเชื้อโรคในอากาศ มีอายุของอากาศที่จะเป็นปัจจัยประเมินความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม เมื่อมีอายุอากาศตกค้างอยู่นานไม่สามารถระบายออกจากห้องไปได้ ประเด็นทิศทางการไหลของอากาศ จากการที่ในอากาศมีการปนเปื้อนของเชื้อโรคขนาดเล็กที่ลอยอยู่ด้วย เมื่อมีการกำหนดตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออกจากห้องมีผลให้ทิศทางการไหลของอากาศมีโอกาสเคลื่อนที่ผ่านผู้ใช้งานในห้องตรวจและทำให้ผู้ใช้งานเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคได้โดยตรง และประเด็นรูปแบบการไหลของอากาศ จากช่องปล่อยลม ทำให้อากาศที่มีเชื้อโรคเกิดการไหลเวียนของอากาศรูปแบบราบเรียบ แปรปรวน และหมุนวนอยู่ในอากาศ ก่อนที่อากาศจะถูกระบายออกจากห้องตรวจ การศึกษาตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออกนี้ จะทำให้มีแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการระบายอากาศ ลดความเสี่ยงในการติดเชื้อของผู้ใช้งานภายในห้องตรวจทันตกรรมให้ได้มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การศึกษามีวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

- 1.2.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมที่มีการใช้งานตามมาตรฐานการระบายอากาศ
- 1.2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมในการควบคุมการติดเชื้อ โดยศึกษาตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออกที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ศึกษาห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดียว ที่มีการใช้งานจริงด้วยการสำรวจภาคสนามและเก็บข้อมูลเบื้องต้นมาจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศ
- 1.3.2 ศึกษาการระบายอากาศที่ระดับความสูง 0.80 เมตร ซึ่งเป็นระดับการหายใจของทันตแพทย์และผู้ป่วยขณะทำการรักษาทันตกรรม
- 1.3.3 ศึกษาการระบายอากาศระหว่างเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก และพัดลมระบายอากาศ โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ตามขนาดห้องและการจัดผังเฟอร์นิเจอร์เท่านั้น

1.3.4 ศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากปัจจัยของการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยว ไม่รวมอุณหภูมิ ความดัน ความชื้น และการระบายอากาศที่อยู่ภายนอก ห้องตรวจทันตกรรม

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

การศึกษามีการดำเนินงาน แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

1.4.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.4.1.1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาทางทันตกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบัน การจัดการพื้นที่ใช้สอยในห้องตรวจทันตกรรม สาเหตุการเกิดละอองฟุ้งกระจาย และความเสี่ยงในการติดเชื้อขณะให้การรักษาทันตกรรมของทันตบุคลากร

1.4.1.2 การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศในห้องตรวจทันตกรรม

1.4.1.3 การระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศที่เหมาะสม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

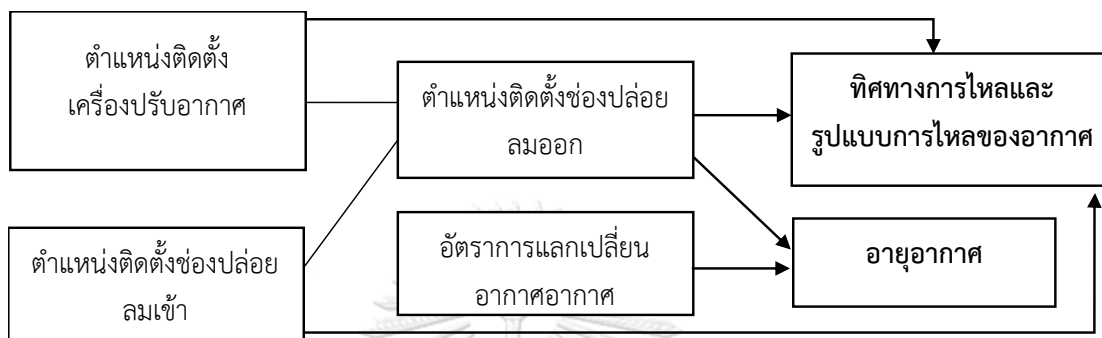
1.4.2 การสำรวจภาคสนาม

สำรวจห้องตรวจทันตกรรม ข้อมูลรูปแบบการรักษาทันตกรรม การจัดการพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งของเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก และข้อมูลลม เพื่อศึกษาสถานการณ์และผลกระทบของการเคลื่อนที่ของอากาศในห้องตรวจทันตกรรมปัจจุบัน โดยลงไปในห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษา เพื่อศึกษาการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ สอบถามผู้ใช้งานอาคาร ทั้งทันตบุคลากร และการเข้ารับการรักษาของผู้ป่วย จากนั้นแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจออกมาเป็นประเด็นย่อยเพื่อคัดเลือกประเด็นปัญหาที่สำคัญจริง และตรงตามวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยมาดำเนินการต่อ

1.4.3 การออกแบบการศึกษาและการเก็บข้อมูล

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงการจำลองสถานการณ์ (Simulation research) โดยจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic : CFD) ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องตรวจทันตกรรม โดยกำหนดตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยออกเป็น ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม ด้วยข้อมูลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ประเด็นปัญหาที่พบและข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม การเลือกเครื่องมือและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ โดยนำผลที่ได้จากการสำรวจจริงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล การกำหนดรูปแบบการศึกษา ออกแบบงานวิจัยให้ตรงตามวัตถุประสงค์

ของงานวิจัย การจำลองด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล การแสดงผล การตั้งค่าข้อมูลในโปรแกรม การเก็บข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก ที่ส่งผลต่อทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อใช้ในการสรุปผลงานวิจัย



ภาพที่ 1.2 กรอบความคิดในการวิจัย

1.4.4 การวิเคราะห์ผลและอภิปรายผลการศึกษา

จากผลจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศ ศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ อธิบายออกมาเป็นภาพจำลองสองมิติ และสามมิติ เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมของการไหลของอากาศ อายุอากาศ ในพื้นที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ จากสถานการณ์ต่างๆ ในห้องตรวจทันตกรรม

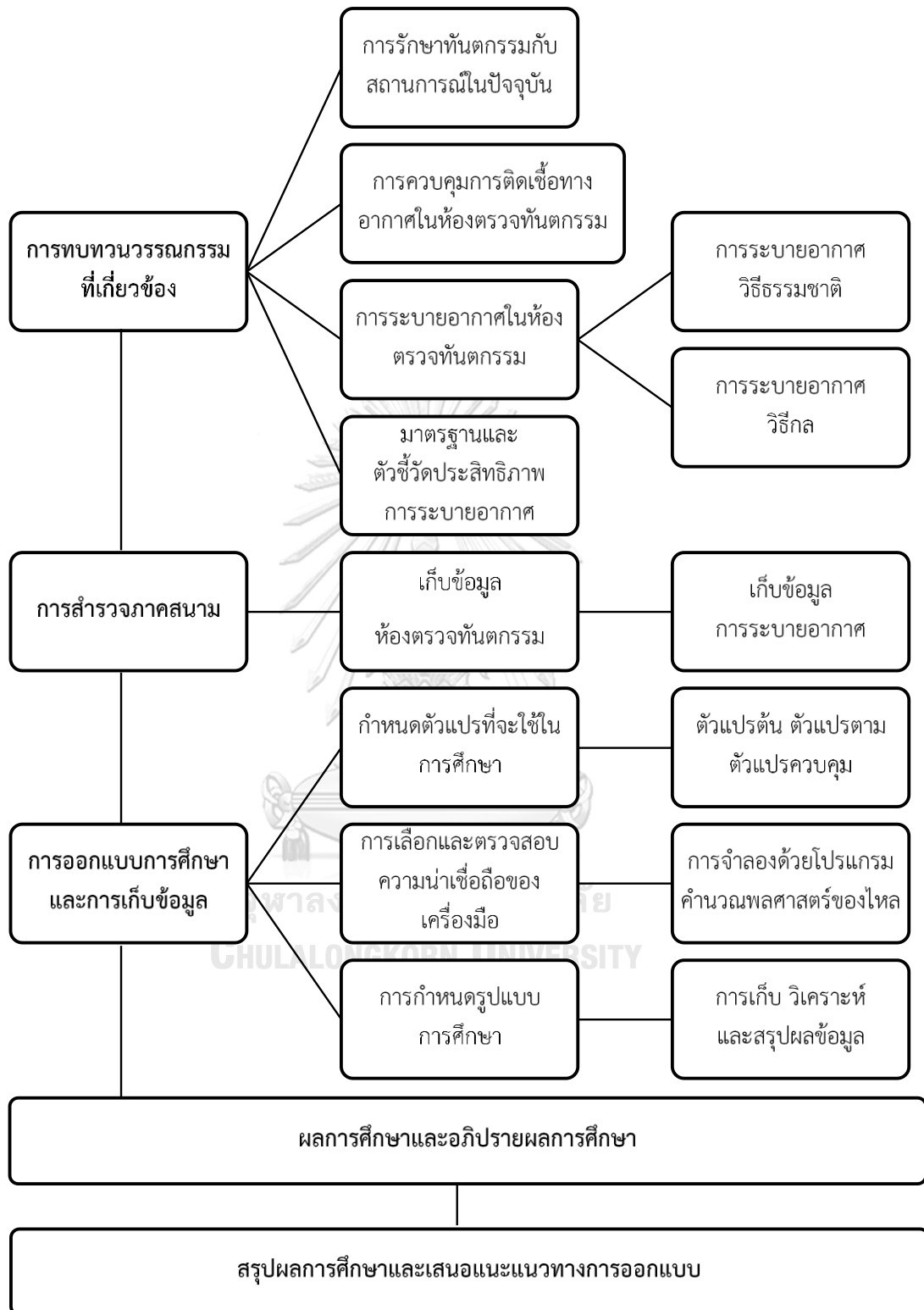
1.4.5 สรุปผลและเสนอแนะแนวทางการออกแบบ

สรุปผลข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือด้วยภาพเปรียบเทียบ การสรุปผลทางสถิติ เทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้จากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรมต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ห้องตรวจทันตกรรมที่มีการใช้งาน ได้รับการประเมินการระบายอากาศตามมาตรฐานการระบายอากาศ และมีแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายอากาศ เพื่อควบคุมการติดเชื้อ

1.5.2 มีแนวทางในการออกแบบหรือปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออกที่เหมาะสม



ภาพที่ 1.3 แผนผังระเบียบวิธีการศึกษา

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยชิ้นนี้รวบรวมข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของข้อมูลออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการรักษาทางทันตกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบัน การจัดการฟันที่ใส่สอยในคลินิกทันตกรรม สาเหตุการเกิดละอองฟุ้งกระจาย และความเสี่ยงในการติดเชื้อขณะให้การรักษาทันตกรรมของทันตบุคลากร

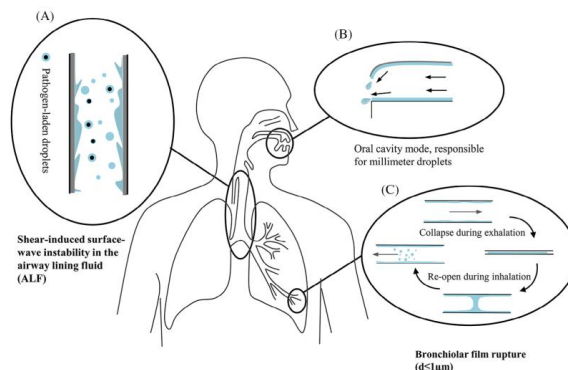
ส่วนที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับการควบคุมการติดเชื้อทางอากาศในห้องตรวจทันตกรรม

ส่วนที่ 3 การระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม รูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศ ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศที่เหมาะสม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยการศึกษาข้อมูลทั้งหมดเพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ ในการนำมาใช้เป็นแนวทางสำหรับออกแบบวิธีการวิจัย ตัวแปรในงานวิจัยเพื่อทำการวิจัยต่อไป ดังนี้

2.1 การให้การรักษาทันตกรรมและสถานการณ์ในปัจจุบัน

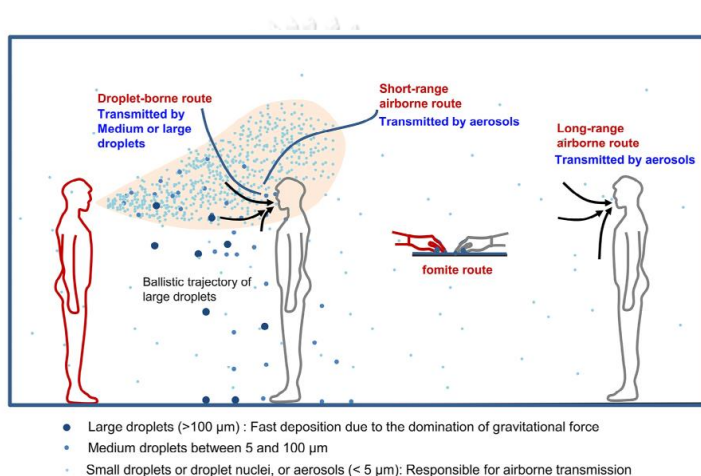
สภาวะในช่องปากประกอบด้วยของเหลวที่ปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียและไวรัสมากมายหลายชนิดและมีคราบจุลินทรีย์บนฟัน (dental plaque) ช่องปากยังต่อกับโพรงจมูก (oronasal) และช่องคอ (pharynx) ทำให้ภายในช่องปากสามารถพบเชื้อโรคที่พบในโพรงจมูก คอ และระบบทางเดินหายใจ (Ampornaramveth, 2017; Wei และ Li, 2016)



ภาพที่ 2.1 กลไกการเกิดและการสร้างละอองของระบบทางเดินหายใจ

(ที่มา : Wei และ Li, 2016)

เมื่อมีการทำหัตถการทางทันตกรรมที่ก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของละอองจึงก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของสารคัดหลั่งที่ปนเปื้อนไปด้วยเชื้อจากแหล่งต่างๆเหล่านี้ได้โดยเฉพาะเชื้อที่เป็นอันตรายภายในช่องปาก เนื่องจากการรักษาทางทันตกรรมก่อให้เกิดละอองกระเด็น (splatter) และละอองลอย (aerosol) ได้มากกว่าการให้การรักษาโรคทั่วไป การกระเด็นของละอองถือว่าการก่อให้เกิดความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อออกมาจากผู้ป่วยจากการ ไอ จาม หรือหัตถการทางทันตกรรม เสมหะหรือน้ำลาย ละอองกระเด็นเริ่มระเหยและมีขนาดเล็กลงเกิดเป็นอนุภาคละอองลอยอยู่ในอากาศได้นานและอาจกลับมาฟุ้งกระจายได้อีกครั้งหลังจากตกลงสู่พื้นผิวแล้วนำไปสู่โรคติดต่อในคลินิกทันตกรรม



ภาพที่ 2.2 เส้นทางการเกิดละออง ส่งผลต่อการติดเชื้อในอากาศ

(ที่มา : Wei และ Li, 2016)

การใช้เครื่องมือทางทันตกรรมก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของเลือด น้ำลาย และอนุภาคที่เกิดจากบริเวณที่ทำหัตถการร่วมกับน้ำที่ถูกฉีดพ่นออกจากระบบของยูนิตทำฟัน (Miller และ Micik, 1978) โดยจำเป็นต้องให้การรักษาผู้ป่วยที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อต้องกระทำในห้องพิเศษที่มีระบบป้องกันการแพร่เชื้อที่ติดต่อทางอากาศ (airborne precautions) น้ำลายและสารคัดหลั่งจากช่องจมูกและคอยังปนเปื้อนด้วยเชื้อก่อโรค (Sebastiani และคณะ, 2017) และผู้ป่วยด้วยโรคไวรัสของระบบทางเดินหายใจ อาจมีการปะปนของไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคไข้หวัดใหญ่ ไวรัสซาร์ส (SARS) ไวรัสตับอักเสบ ไวรัสก่อให้เกิดวัณโรค โอกาสแพร่เชื้อจึงมีได้ตลอดเวลาแม้ไม่ได้ทำหัตถการใดๆ (Harte, 2010) สำหรับหัตถการทางทันตกรรมส่วนใหญ่มีการใช้เครื่องมือเชิงกล (mechanical instrumentation) มักก่อให้เกิดละอองฟุ้งกระจายบริเวณที่ทำหัตถกรรม (Harrel และ Molinari, 2004) ซึ่งมีทั้งที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าและไม่สามารถมองเห็นได้ ดังนั้นจึงควรจำกัดละอองเหล่านั้นไม่ให้แพร่กระจายออกไป

ตารางที่ 2.1 อัตราการผลิตเชื้อและร้อยละของอนุภาคละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน
ที่เกิดจากหัตถการทางทันตกรรม
(ที่มา : Ampornaramveth, 2017)

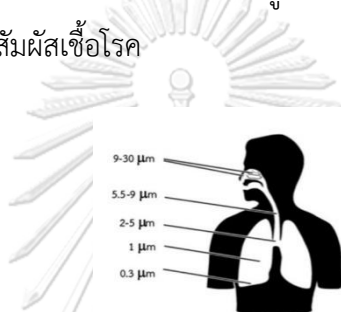
หัตถการ	อัตราการผลิตเชื้อ (CFU/min)	ร้อยละของอนุภาคละออง ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน
การตรวจช่องปาก	3	-
ดูดหินน้ำลาย	1	-
ล้างฟันด้วยการฉีดน้ำ	10	-
ขัดฟันด้วยผงฟิวมิส	42	43
การกรอฟันด้วยหัวกรอช้า (ไม่มีน้ำ)	58	80
การเป่าฟันด้วยลม	72	65
การกรอฟันด้วยหัวกรอเร็วที่มีน้ำหล่อเย็น	1,000	95
การขัดวัสดุอุดฟันด้วยหัวขัดบริเทลบรัช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



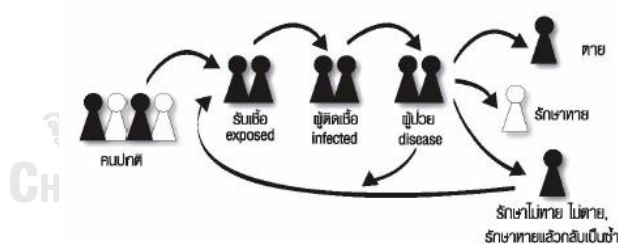
ภาพที่ 2.3 แหล่งกำเนิดละอองที่มองเห็นได้ของการรักษาทันตกรรมจากน้ำหล่อเย็นและจากผู้ป่วย
(ที่มา : Harrel และ Molinari, 2004)

อนุภาคละอองสามารถลอยฟุ้งในอากาศได้นานก่อนที่จะตกลงสู่พื้นผิวสิ่งแวดล้อมและสามารถถูกสูดดมเข้าสู่ร่างกายได้โดยเฉพาะละออง ขนาดเล็กพอที่จะถูกสูดดมสู่ถุงลมปอดได้ โดยเฉพาะวัณโรคถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2425 โดยโรเบิร์ต คอค นายแพทย์ชาวเยอรมัน วัณโรคเป็นโรคติดเชื้อเรื้อรังที่เกิดจากแบคทีเรีย Mycobacterium Tuberculosis กระจายตัวในอากาศ ในรูปของละอองเสมหะ มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ละอองเสมหะที่มีขนาดใหญ่จะตกลงสู่พื้น แต่ละอองขนาดเล็กยังคงลอยตัวในอากาศเป็นระยะเวลาหลายชั่วโมง เมื่อมีผู้สูดเอาเชื้อวัณโรคเข้าไปในร่างกายจึงเกิดการติดเชื้อ ส่วนใหญ่จะเกิดการอักเสบบริเวณปอด เรียกว่า วัณโรคปอด แต่ก็สามารถเกิดได้กับทุกอวัยวะทุกส่วนของร่างกาย โดยเมื่อผู้ป่วยได้รับเชื้อแล้ว เชื้อจะพัฒนาไปอย่างช้าๆ อาจต้องใช้เวลาเป็น

สัปดาห์ ไปจนถึงหลายปีกว่าจะแสดงอาการให้เห็น (สำนักวัณโรค, 2559) ซึ่งก่อให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคระหว่างต้นตบุคลากรและผู้ป่วยที่มารับการรักษา การควบคุมคุณภาพอากาศในลักษณะการฟุ้งกระจายที่เกิดขึ้นขณะทำหัตถการทางทันตกรรม การตรวจวัดปริมาณเชื้อในอากาศ ระดับการปนเปื้อนของเชื้อในอากาศบริเวณต่างๆ จึงมีความจำเป็นในการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อ การจัดการกับอากาศในห้องตรวจทันตกรรมที่ถูกรักษาจะช่วยสร้างสิ่งแวดล้อมที่ปลอดภัยในการทำงานแก่ทันตบุคลากรและผู้ป่วยที่มารับบริการทันตกรรม การระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรมเป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยควบคุมการติดเชื้อทางอากาศให้อากาศมีคุณภาพดีเพียงพอสำหรับผู้ใช้งาน และปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอาคาร สถานที่ที่มีความทึบ คับแคบ การถ่ายเทอากาศที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยที่มีผลต่อการติดเชื้อวัณโรคยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณเชื้อที่ลอยอยู่ในอากาศ และระยะเวลาในการสัมผัสเชื้อโรค



ภาพที่ 2.4 ขนาดของอนุภาคละอองในการแทรกซึมเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ
(ที่มา : Ampornaramveth, 2017)

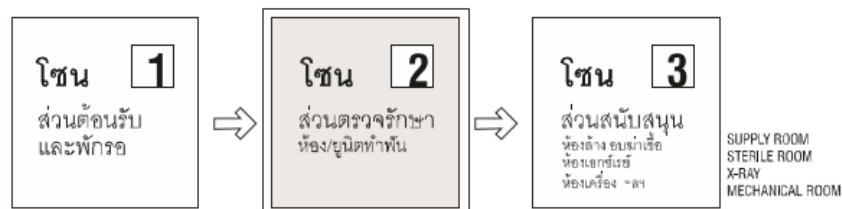


ภาพที่ 2.5 แผนภูมิการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคจากคนสู่คน ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาแต่ไม่หายและไม่เสียชีวิตสามารถแพร่เชื้อต่อให้ผู้อื่นไปได้เรื่อยๆ
(ที่มา : สำนักวัณโรค, 2552)

อาการวัณโรคจะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะแฝง (Latent Tuberculosis) เมื่อผู้ป่วยได้รับเชื้อแล้วจะไม่มีอาการแสดงให้เห็น เนื่องจากเชื้อไม่ได้รับการกระตุ้น แต่เชื้อแบคทีเรียยังอยู่ในร่างกาย และระยะแสดงอาการ (Active Tuberculosis) เป็นระยะที่เชื้อได้รับการกระตุ้นจนเกิดอาการปรากฏให้เห็นชัดเจน มีอาการไอเรื้อรัง ไอเป็นเลือด มีไข้ หนาวสั่น รู้สึกเจ็บเวลาหายใจอ่อนเพลีย น้ำหนักลด และความอยากอาหารลดลง หากมีอาการเหล่านี้ควรไปพบแพทย์เพื่อตรวจหา

เชื้อวัณโรค การรักษาวัณโรคสามารถทำได้โดยการรับประทานยาต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอตามแพทย์สั่ง ควบคู่กับการดูแลสุขภาพ ใช้ผ้าปิดปากและจมูก ทำให้มีอัตราการติดเชื้อวัณโรคที่ลดลงแต่กลับพบผู้ป่วยบางรายไม่สามารถรักษาด้วยยาตามปกติ เพราะมีอาการดื้อยา (Multidrug-resistant tuberculosis ; MDR TB) ต้องมีการรักษายาวนานขึ้น จึงควรมีการจัดให้อยู่ในสถานที่ที่มีอากาศถ่ายเทสะดวก มีการระบายอากาศเหมาะสม ระหว่างการรักษาทันตกรรมจะมีการผลิตละอองลอย และละอองที่ปนเปื้อนแบคทีเรียและเลือด และเนื่องจากทันตบุคลากร (Dental health care personnel; DHCP) ไม่ได้ให้การประเมินทางการแพทย์เบื้องต้นกับผู้ป่วยที่เป็นโรควัณโรคแต่มีเพียงการตรวจคัดกรองผู้ป่วยที่มีอาการบ่งชี้ว่าเป็นวัณโรคก่อนการรักษาทันตกรรมเท่านั้น (Jensen และคณะ, 2005) การรักษาทันตกรรมจึงมีความเสี่ยง และถึงแม้การรักษาจะมีความเสี่ยง แต่ผู้ป่วยที่สงสัยว่าเป็นวัณโรคอาจต้องการรักษาทันตกรรม จึงควรได้รับการระบุดังต่อไปนี้เพื่อนำมาใช้ในการประเมินการรักษาทางการแพทย์ คลินิกทันตกรรมทั้งหมดควรมีการประเมินความเสี่ยงของการเป็นวัณโรคในเบื้องต้นโดยไม่คำนึงถึงประเภทความเสี่ยงที่จะพบกับคนที่เป็นโรค ส่วนรูปแบบการรักษา ก็จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับผู้ป่วย (Cleveland และคณะ, 2009) เพื่อป้องกันผู้ป่วยคนอื่น และทันตบุคลากรได้ สำหรับนักศึกษาทันตแพทย์เองก็มีความเสี่ยงด้านอาชีพเช่นเดียวกับทันตบุคลากร เพราะหลังจากนักเรียนได้รับการทดสอบผิวหนัง (Tuberculin skin test; TST) พบนักเรียนทันตกรรมมีความเสี่ยงในการได้รับเชื้อวัณโรคจากการทำงานทันตกรรม นักศึกษาทันตแพทย์ควรได้รับการตรวจคัดกรองเพื่อจับ วัณโรคแฝง (Latent tuberculosis infection; LTBI) ดังนั้นการจัดพื้นที่ทำงานทันตกรรม เพื่อลดการแพร่กระจายของเชื้อโรคจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง (Lamberti และคณะ, 2017)

ในคลินิกทันตกรรม แบ่งพื้นที่ใช้งานออกเป็น 3 โซนหลัก คือ ส่วนต้อนรับ ส่วนตรวจรักษา และส่วนสนับสนุน แต่ละพื้นที่มีความสำคัญแตกต่างกัน (ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์, 2555) โดยแบ่งผู้ใช้งานออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ป่วย ได้แก่ ผู้ที่มารับบริการทางทันตกรรม และกลุ่มทันตบุคลากร ได้แก่ ทันตแพทย์ ผู้ช่วยทันตแพทย์และเจ้าหน้าที่ ผู้ให้บริการทันตกรรม

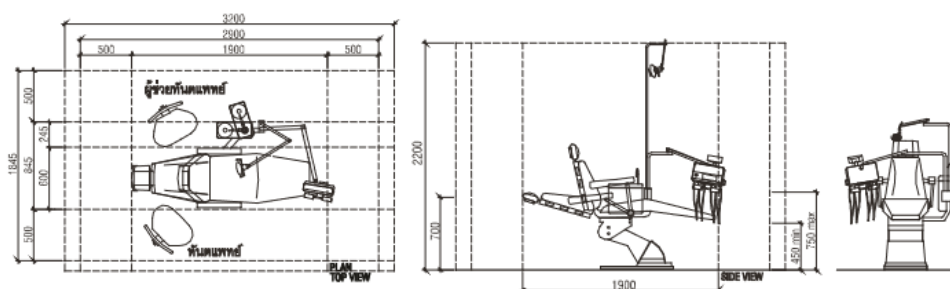


ภาพที่ 2.6 การจัดพื้นที่แต่ละส่วนตามการใช้สอย

(ที่มา : ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์, 2555)

โซน 1 ส่วนต้อนรับและพักรอ (reception and waiting zone) เพื่อให้บริการติดต่อ สอบถาม เก็บบันทึกประวัติ ทำการนัดหมายคนไข้ ง่ายยา

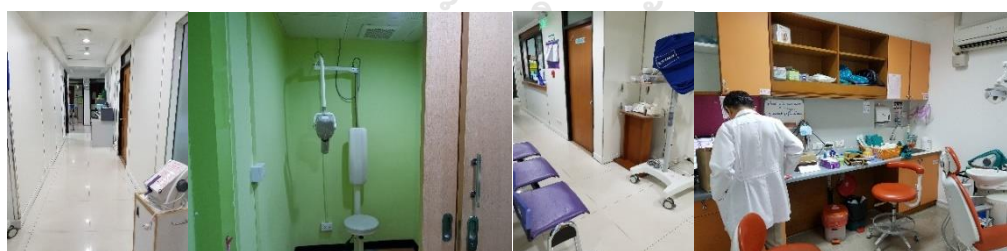
โซน 2 ส่วนตรวจรักษาและห้องทำฟัน (treatment zone and dental unit) เป็นบริเวณ สำหรับยูนิตทำฟัน ประกอบด้วยเก้าอี้ทำฟัน เก้าอี้ทันตแพทย์ เก้าอี้ผู้ช่วยทันตแพทย์ เคาน์เตอร์วาง เครื่องมือและอ่างล้างมือ ลักษณะการทำงานของทันตแพทย์อยู่ด้านขวามือ ผู้ช่วยทันตแพทย์อยู่ด้าน ซ้ายมือของผู้ป่วย มีรูปแบบและตำแหน่งตายตัว ระยะเวลาสำหรับการปฏิบัติงาน



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างขนาดยูนิตทำฟันและระยะพื้นที่ใช้สอย หน่วยเป็นมิลลิเมตร

(ที่มา : ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์, 2555)

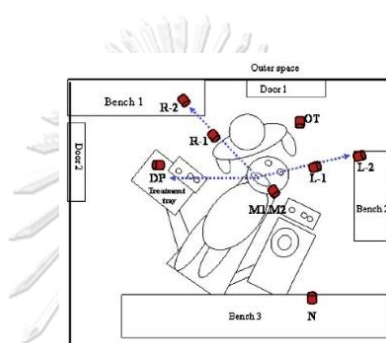
โซน 3 ส่วนสนับสนุน (supporting zone) ได้แก่ ห้องล้างเครื่องมือ (sterilization) ห้อง เตรียมและเก็บอุปกรณ์ทำฟัน (supply room) ตู้อบฆ่าเชื้อเครื่องมือ (autoclave) ห้องเอกซเรย์ ห้องพักเจ้าหน้าที่ ห้องเก็บของ



ภาพที่ 2.8 ภาพถ่ายพื้นที่ใช้สอยภายในคลินิกทันตกรรมกรณีศึกษา

โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เน้นไปที่ส่วนตรวจรักษาและห้องทำฟัน ซึ่งเป็นโซนที่กลุ่มผู้ป่วย และ กลุ่มทันตบุคลากร มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง เนื่องจากมีการทำหัตถการทางทันตกรรมที่ต้องใช้ ระยะเวลาานาน รูปแบบการรักษาที่ตายตัว บนยูนิตทำฟัน ซึ่งได้รับการยืนยันจากงานวิจัยศึกษา ลักษณะการแพร่กระจายของการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในอากาศระหว่างการรักษาทาง ทันตกรรม ด้วยการจำลองการทดลองในห้องตรวจทันตกรรม ให้ละอองแบคทีเรียถูกปล่อยมาจาก

ผู้ป่วยบนเก้าอี้ทันตกรรม ผลการทดลองพบว่าการปนเปื้อนแบคทีเรียในละอองลอยสามารถแพร่กระจายได้ในแนวระนาบระยะห่าง 100 เซนติเมตร และระยะทางแนวระดับ 50 เซนติเมตร จากช่องปากของผู้ป่วย ทันตแพทย์ที่ทำการรักษาด้านขวาของผู้ป่วยมีโอกาสได้รับละอองลอย และจากการเคลื่อนไหวของแพทย์นี้เองมีผลให้ละอองลอยอยู่ในอากาศเป็นเวลาถึง 20 นาที ดังนั้นปัจจัยด้านการรักษาทางทันตกรรม เก้าอี้ตรวจ และการระบายอากาศในห้องตรวจเป็นสิ่งที่ควรศึกษาต่อในอนาคต (Chuang และคณะ, 2014) โดยสารปนเปื้อนที่ถูกปล่อยมาอยู่ในการอากาศนอกจากการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งานจะมีผลแล้ว ยังขึ้นอยู่กับกระแสลม (airflow) การระบายอากาศ (ventilation) ในพื้นที่บริเวณหายใจ (breathing zone) ของผู้ใช้งานอีกด้วย (Bivolarova และคณะ, 2017)



ภาพที่ 2.9 สถานที่เก็บตัวอย่างของละอองแบคทีเรียช่วงการรักษาในห้องตรวจเดี่ยวทันตกรรม
(ที่มา : Chuang และคณะ, 2014)

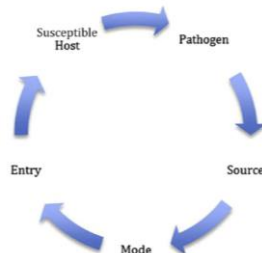
2.2 การควบคุมการติดเชื้อทางอากาศในคลินิกทันตกรรม

การป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคในคลินิกทันตกรรม (Kohn และคณะ, 2003; Schulster และคณะ, 2003) ใช้หลักการ 3 ประการ คือ

ประการแรก การบริหารจัดการด้านนโยบาย (Administrative Controls) เป็นการประเมินความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อหรือติดเชื้อทางอากาศของพื้นที่ต่างๆในคลินิกทันตกรรม ลดความเสี่ยงของการสัมผัสของทันตกรรมบุคลากรและผู้ป่วยที่เป็นวัณโรค การจำแนกบุคลากรตามความเสี่ยงเพื่อวางแผนปฏิบัติตามความเหมาะสม โดยจะทำการประเมินความเสี่ยง พัฒนานโยบายการควบคุมเชื้อวัณโรค แยกผู้ป่วยที่สงสัยว่าเป็นวัณโรคหรือได้รับการยืนยันทางการแพทย์ว่าเป็นวัณโรคแก่ผู้ป่วย โดยเฉพาะ มีที่นั่งรอแยกต่างหาก ไม่ควรให้ผู้ป่วยที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ ผ่านบริเวณที่จัดเตรียมสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ทันตบุคลากรได้รับการศึกษาเกี่ยวกับอาการวัณโรค เพื่อพิจารณาให้บริการผู้ป่วยอย่างฉับไว ลดความเสี่ยงที่บุคลากร และผู้ป่วย ในการสัมผัสโรค และการให้ความรู้ถึงความเสี่ยงของการป่วยเป็นวัณโรค อาการสงสัยวัณโรค การป้องกันการรับเชื้อวัณโรคจากผู้อื่น

ประการที่สอง การควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Controls) ทั้งทางกายภาพและทางกล (physical or mechanical) เพื่อขจัดหรือยับยั้งวัณโรค โดยควบคุมแหล่งที่มาของการติดเชื้อให้เจือจางและกำจัดอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อ และควบคุมการไหลของอากาศ อาศัยหลักการระบายอากาศจากบริเวณที่มีผู้ป่วยวัณโรค หรือโรคติดต่อ ระบบทางเดินหายใจต่างๆ ให้ระบายอากาศออกทางหน้าต่างสู่ภายนอกอาคารได้สะดวก การใช้อุปกรณ์ระบายอากาศ มีพัดลมระบายอากาศหรือใช้อุปกรณ์ดูดอากาศออกภายนอก การกำหนดทิศทางของลมมีความสำคัญ เพื่อให้อากาศที่มีเชื้อปนเปื้อนถูกดูดออกห่างจากผู้อื่น โดยพิจารณาอากาศบริสุทธิ์ควรผ่านจากต้นตอบุคลากรที่ปฏิบัติงานไปยังผู้ป่วยแล้วออกสู่ภายนอก และบริเวณที่อากาศเข้าควรอยู่ห่างจากบริเวณดูดอากาศออก เพื่อหลีกเลี่ยงการไหลกลับของอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อวัณโรค หรือ การใช้อุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีซับซ้อนและค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นอย่างการใช้การกรองอากาศ High Efficiency Particulate Air (HEPA) Filter เพื่อเอาละออง (particles) ที่มีเชื้อโรคออกไปหรือฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต

ประการที่สามการป้องกันระบบทางเดินหายใจ (Respiratory Protection Controls) ต้นตอบุคลากรที่ใกล้ชิดกับผู้ป่วยอาจได้รับเชื้อโรคจากผู้ป่วยได้ จึงต้องใช้เครื่องป้องกันร่างกายด้วยหน้ากาก เป็นการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อจากผู้ป่วยวัณโรคได้ (P. A. Jensen และคณะ, 2005; Schulster และคณะ, 2003) รูปแบบการติดเชื้อทางพันธุกรรมมีโอกาสเกิดเนื่องจากหลายสาเหตุ ทั้งเกิดจากการสัมผัสโดยตรงกับเลือด น้ำลาย ฟันหรือวัสดุอื่นๆ ที่อาจติดเชือบนพื้นผิวสัมผัสของวัสดุเกิดจากการติดต่อทางอ้อมกับวัตถุที่ปนเปื้อน เช่น เครื่องมืออุปกรณ์การทำงาน หรือพื้นผิวด้านสิ่งแวดล้อม เกิดจากการสัมผัสโดยตรงกับเยื่อเมือกเยื่อผิวหนังหรือจมูกที่มีเชื้อโรค หรือเกิดจากการสูดดมเชื้อโรคในอากาศที่สามารถลอยในอากาศได้นานช่วงเวลาหนึ่ง การติดเชื้อจากสาเหตุใดก็ตามจะต้องอาศัยเชื้อโรค (pathogen) ที่ก่อให้เกิดโรคเพียงพอจึงก่อให้เกิดโรคมะแหล่งที่มา (source) เช่น จากเลือดช่วยให้เชื้อโรคสามารถอยู่รอดได้และรูปแบบการรับเชื้อ (mode) จากแหล่งกำเนิดเชื้อ มีทางเข้า (entrance) ที่จะทำให้เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายได้ และผู้ป่วยอ่อนแอ (host) มีภูมิคุ้มกันต่ำ จึงมีโอกาสติดเชื้อได้ (Sebastiani และคณะ, 2017)



ภาพที่ 2.10 วงจรการติดเชื้อโรค

(ที่มา : Sebastiani และคณะ, 2017)

การติดเชื้อในคลินิกทันตกรรมผู้ป่วยที่มีเชื้อสามารถส่งผ่านไปสู่ทันตบุคลากร ผู้ทำงานในคลินิก ทันตกรรม และผู้ป่วยปกติที่มีมารับบริการรักษาทันตกรรมได้ ดังนั้นทุกคนที่อยู่บริเวณที่มีผู้ป่วยติดเชื้อจึงมีความเสี่ยง การป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งจากงานวิจัยได้ระบุว่าทันตแพทย์ บุคลากรในคลินิกทันตกรรม ผู้ป่วย ที่ใกล้ชิดกับผู้ป่วยวัณโรคเป็นระยะเวลาหนึ่งมีโอกาสในการติดเชื้อระหว่างกันได้ (Merte และคณะ, 2014) จากหลักฐานงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์การติดเชื้อของผู้ป่วยในคลินิกทันตกรรมนั้นยังเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมในอาคาร ในด้านจำนวนผู้ใช้งาน ระยะเวลาการใช้งาน และการระบายอากาศ แม้ไม่ได้ทำการผ่าตัดก็ตาม (Petti, 2016)

การควบคุมการติดเชื้อในอากาศได้มีหน่วยงานกำหนดเกณฑ์มาตรฐานกำหนดอัตราแลกเปลี่ยนขั้นต่ำของการระบายอากาศ ของสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศและทำความเย็นของอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers ; ASHRAE) ศูนย์ป้องกันและควบคุมโรค (Centers for Disease Control and Prevention ; CDC) สำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ (Occupational Safety and Health Administration ; OSHA) สถาบันสถาปนิกอเมริกัน (The American Institute of Architects ; AIA) สถาบันบาราศนราตุร กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบอัตราแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำ (ACH) ของเกณฑ์มาตรฐานต่างๆ

เกณฑ์มาตรฐาน	อัตราการนำเข้าอากาศภายนอก (ACH)	อัตราแลกเปลี่ยนอากาศขั้นต่ำ (ACH)
ASHRAE 170 - 2013	2	> 12
CDC (2003)	2	Prefer ≥ 12 , Minimum >6 for facilities existing pre-1994; > 12 for post 1994 new & renovated
CAL/OSHA (1996)	2	≥ 12
AIA (2006)	2	≥ 12
สถาบันบาราศนราตุร กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (2550)	2	≥ 12

นอกจากนี้กฎกระทรวง ฉบับที่ 33 สำหรับอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่พิเศษ กฎกระทรวง ฉบับที่ 39 เกี่ยวกับการระบายอากาศ ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 และมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.031001-59) ระบุให้อัตรา

การนำเข้าอากาศภายนอกชั้นต่ำ 2 ACH ซึ่งแนวคิดเรื่องการแยกผู้ป่วยติดเชื้อ ย้อนกลับไปสมัยมีโรคเรื้อรัง มีคำแนะนำสำหรับผู้ป่วยโรคติดเชื้อให้อยู่ในสถานที่แยกต่างหากที่รู้จักในฐานะโรงพยาบาลโรคติดเชื้อ ต่อมาโรงพยาบาลโรคติดเชื้อปิดตัวลง ผู้ป่วยถูกย้ายไปโรงพยาบาลทั่วไป ความจำเป็นในการแยกผู้ป่วยติดเชื้อของโรงพยาบาลทั่วไปเหล่านี้จึงกลายเป็นประเด็นสำคัญ ตั้งแต่นั้นมามีระบบพัฒนาข้อควรระวังมาตรฐานเพื่อหลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับเลือดและของเหลวในร่างกาย ข้อควรระวังน้ำมูกน้ำลายและข้อควรระวังในอากาศ กับผู้ป่วยติดเชื้อ ฟลอเรนซ์ในดิงเกลสสังเกตเห็นว่าโรคติดเชื้อหลายชนิดแพร่กระจายโดยตรงเมื่อผู้ป่วยอยู่ใกล้กัน ดังนั้นการแยกโรคจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง (Atkinson และคณะ, 2009) การศึกษาพบว่าโรคติดต่อทางอากาศ อย่างวัณโรค ผู้ป่วยที่อยู่ในห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อปลอดภัยกว่าห้องพักรวม (Zimring, Joseph และ Choudhary, 2004) ความดันลบในห้องพักรักษาจะช่วยป้องกันผู้ป่วยที่มีการติดเชื้อออกจากคนอื่น หรือความดันเป็นบวกเพื่อปกป้องผู้ป่วยภูมิคุ้มกันบกพร่องจากเชื้อโรคในอากาศในห้องพักรักษาที่อยู่บริเวณใกล้เคียง (Joseph, 2006)

แนวทางการจัดแบ่งพื้นที่ใช้สอยกับการป้องกันการติดเชื้อ ห้องแยกโรค ต้องจัดแบ่งให้เป็นพื้นที่ปิด มีการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้อง ควรให้อากาศเคลื่อนจากบริเวณที่สะอาดไปยังบริเวณที่สกปรกหรือสะอาดน้อยกว่า โดยให้อากาศเคลื่อนผ่านจากตัวบุคลากรผู้ให้การรักษาไปยังแหล่งกำเนิดเชื้อหรือผู้ป่วยแล้วจึงไปยังช่องทางที่อากาศออก บุคลากรผู้ให้การรักษาต้องไม่อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดเชื้อและช่องทางที่อากาศออก หรือจัดให้อากาศเข้าด้านที่ตรงข้ามกับผู้ป่วยและให้อากาศออกจากห้องด้านเดียวกับผู้ป่วย แต่ถ้าอากาศที่เข้ามามีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ก็ควรให้อากาศผ่านเข้ามาใกล้กับฝ้าเพดาน และออกบริเวณที่ใกล้กับพื้น แต่ทั้งนี้ควรระวังมิให้มีเฟอร์นิเจอร์หรืออุปกรณ์ใดขวางทางออกที่อยู่ด้านล่าง ในกรณีที่มีการเคลื่อนตัวของอากาศที่ไม่ดีพอ หรือมีอากาศนิ่งอยู่กับที่ หรืออากาศที่ผ่านเข้ามาเคลื่อนตัวลัดออกไปทางช่องระบายอากาศทันที จะทำให้การปนเปื้อนมีการสะสมตัวมากขึ้นเรื่อยๆ ก็ควรใช้พัดลมดูดเหนือฝ้าเพดาน หรือวางไว้ในห้องเข้าช่วยเพื่อให้มีการผสมกันของอากาศที่มีอยู่เดิมกับอากาศที่เคลื่อนเข้ามาใหม่ที่มากพอ หรือแก้ไขโดยทำช่องอากาศเข้าและช่องอากาศออกเพิ่มขึ้นอีก และสำหรับผู้ป่วยโรคติดต่อแพร่เชื้อ ควรกำหนดให้ห้องตรวจมีความดันอากาศในห้องเป็นลบ และภายในห้องต้องไม่ปิดกั้นหรือขวางการไหลของระบบเติมอากาศ โดยให้อากาศไหลผ่านจากด้านสะอาดไปด้านปนเปื้อนและมีระบบเติมหรือปรับอากาศ ระบบดูดอากาศเป็นของตัวเอง (กองแบบแผน, 2559)

2.3 การระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม

การระบายอากาศจากคู่มือการออกแบบอาคารสถานบริการสุขภาพและสภาพแวดล้อม ทันตกรรม ได้แบ่งการระบายอากาศออกเป็น 2 วิธี คือ การระบายอากาศวิธีธรรมชาติ และการระบายอากาศโดยวิธีกล (กองแบบแผน, 2559) โดยการระบายอากาศเป็นการควบคุมการไหลและคุณภาพ

อากาศเพื่อลดการสัมผัสกับเชื้อโรคในอากาศ การเลือกใช้แต่ละวิธีนั้นขึ้นอยู่กับด้านสภาวะที่ตั้ง (local condition) ที่ตั้งอาคาร (building site) ทิศทางการวางอาคาร (layout) ด้านการออกแบบอาคาร การใช้งาน (function) การกั้นห้องภายใน (internal distribution space) และด้านการวิเคราะห์การ ออกแบบช่องเปิด ตำแหน่ง รูปแบบ ขนาด การควบคุมการเปิด (Atkinson และคณะ, 2009) การ ระบายอากาศ มีองค์ประกอบ 3 ประการ คือ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ ทิศทางการไหลของอากาศ และรูปแบบการไหลของอากาศ

2.3.1. อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ventilation rate)

ปริมาณอากาศภายนอกที่ไหลเข้าสู่พื้นที่ หมายถึง ปริมาณอากาศทั้งหมดภายในห้องที่ถูก แทนที่ด้วยอากาศที่เข้ามาใหม่ภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง โดยจากมาตรฐานการป้องกันและควบคุมการ ติดเชื้อได้กำหนดให้มีอัตราแลกเปลี่ยนอากาศไม่ต่ำกว่า 12 air change per hour ; ACH คือ 12 รอบใน 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที

สูตรคำนวณการหาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ Inkarojrit (2010)

$$ACH = (0.8 \times V_{\text{air}} \times A_{\text{inlet}} \times 3600) / \text{Volumn} \quad (1)$$

เมื่อ ACH = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในห้อง เป็นจำนวนเท่าของปริมาตรห้องในหนึ่งชั่วโมง

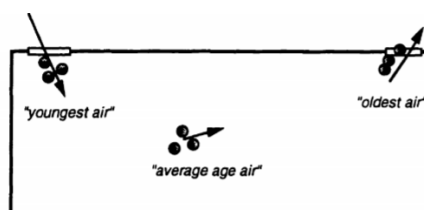
V_{air} = ความเร็วลมช่องอากาศเข้าเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)

A_{inlet} = พื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศเข้า (ตารางเมตร)

Volume = ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

2.3.2 อายุอากาศ (age of air)

การออกแบบให้เกิดการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้อง ทำให้อากาศใหม่ผสมกับอากาศเดิม ภายในห้องให้มากที่สุด ไม่ให้เกิดจุดอับภายในห้องนั้น จำเป็นต้องวิเคราะห์อายุอากาศ (age of air; AGE) ซึ่งหมายถึงระยะเวลาที่อากาศภายนอกเข้ามาแทนที่อากาศในบริเวณที่ศึกษา โดยอายุของ อากาศสูงสุดภายในห้องที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับมาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่อชั่วโมงที่กำหนด (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2551)



ภาพที่ 2.11 แนวความคิดของอายุอากาศ

(Auger, 1996)

การคำนวณอายุเฉลี่ยของอากาศ (Local mean ages of air) เป็นการคำนวณเวลาของอากาศที่เดินทางจากช่องปล่อยลมเข้าสู่พื้นที่ที่ทำการรักษาในห้องที่มีการระบายอากาศ (Caoc และคณะ, 2014)

$$\tau_p = \frac{1}{c(0)} \int_0^\infty C_p(t) dt \quad (2)$$

เมื่อ τ_p = อายุเฉลี่ยของอากาศของตำแหน่งที่ศึกษา (วินาที)

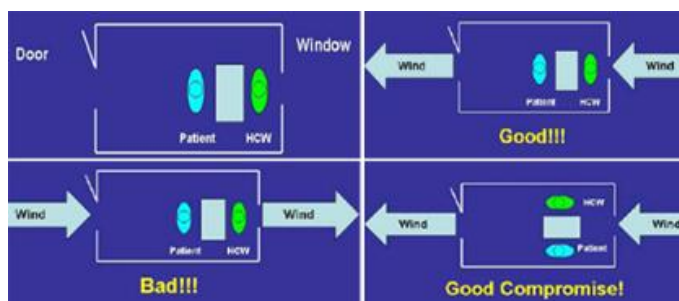
$C(0)$ = ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนตั้งต้น

$C_p(t)$ = ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในตำแหน่งที่ศึกษา ที่ระยะเวลา t

อายุเฉลี่ยของอากาศในตำแหน่งที่ศึกษาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในวินาทีแรกกับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในตำแหน่งที่ศึกษาในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจากการที่มาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศเท่ากับ 12 รอบต่อชั่วโมง อายุอากาศที่จะอยู่ภายในห้องย่อมเท่ากับ 5 นาที หากมีอายุอากาศหยุดนิ่งอยู่ ณ จุดใดจุดหนึ่งนานเกินกว่า 5 นาที หรือ 300 วินาที ย่อมถือว่าจุดนั้น คือ จุดอับ ควรจัดเครื่องเรือนเครื่องใช้ภายในห้องอย่าให้มีสิ่งกีดขวางลม หัวจ่ายลมภายในห้อง (สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์, 2551)

2.3.3 ทิศทางการไหลของอากาศ (airflow direction)

ทิศทางการไหลของอากาศโดยรวมในอาคาร ซึ่งไหลจากส่วนสะอาดไปยังบริเวณที่สกปรกหรือสะอาดน้อยกว่า ผู้ป่วยที่มีโรคติดเชื้อสามารถส่งผ่านโรคต่อบุคลากรทางการแพทย์ได้ เมื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศและการไหลเวียนของอากาศเพื่อควบคุมการติดเชื้อจึงต้องคำนึงถึงตำแหน่งของหน้าต่าง ประตู คนไข้ และ บุคลากรทางการแพทย์ โดยให้มีทิศทางการไหลจากช่องเปิดผ่านบุคลากรทางการแพทย์ (Health care worker ; HCW) ไปสู่ผู้ป่วย (patient) ก่อนจะไหลออกจากห้องผ่านทางช่องเปิดอีกด้านของผนัง โดยไม่ไหลย้อนกลับมาทางเดิม จึงมีรูปแบบการไหลของอากาศที่เกิดประสิทธิภาพ (W. W. Jensen และคณะ, 1999)

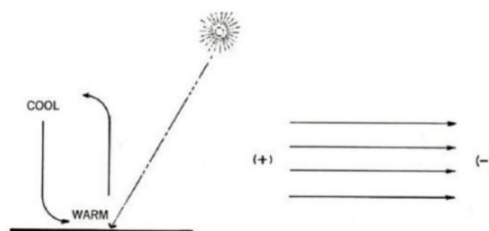


ภาพที่ 2.12 ทิศทางการไหลและรูปแบบการไหลของอากาศที่มีความเหมาะสมในห้องตรวจ

(ที่มา : Jensen และคณะ, 1999)

2.3.4 รูปแบบการไหลของอากาศ (airflow pattern)

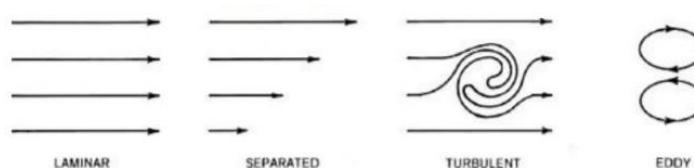
รูปแบบการไหลของอากาศ หรือ การกระจายตัวของอากาศ (air distribution) คือ การไหลของอากาศภายนอกที่เข้ามายังพื้นที่ และเชื้อโรคที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นถูกระบายออก อย่างมีประสิทธิภาพ (Lechner, 2014)



ภาพที่ 2.13 การเคลื่อนที่ของอากาศเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ และความดันอากาศ
(ที่มา : Lechner, 2014)

สำหรับการระบายอากาศธรรมชาติจะเป็นการอาศัยแรงขับเคลื่อนจากธรรมชาติ มีต้นทุนต่ำ การดำเนินการและการบำรุงรักษาทำได้ง่าย การระบายอากาศวิธีธรรมชาติเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงกว่ามีความหนาแน่นของอากาศน้อยกว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้ความดันอากาศต่างกัน อากาศจะไหลจากที่ที่อุณหภูมิต่ำไปยังอุณหภูมิที่สูงกว่า หรือเกิดจากความแตกต่างของความดันอากาศจากพื้นที่กดอากาศสูงไปยังพื้นที่ที่มีความกดอากาศต่ำ ทำให้อากาศไหลผ่านเข้าและออกทางช่องเปิดอาคาร โดยการเคลื่อนที่ของอากาศ แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ (Lechner, 2014)

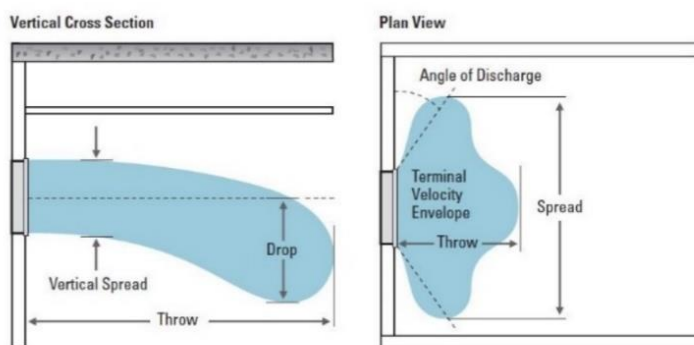
1. การเคลื่อนที่แบบราบเรียบ (Laminar) เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศแบบเป็นเส้นตรงราบเรียบเสมอกัน ไม่ผ่านสิ่งกีดขวาง ความเร็วสม่ำเสมอ
2. การเคลื่อนที่แบบแยกชั้น (Separated) เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านวัตถุ ต้นไม้ สิ่งก่อสร้าง พื้นดิน จนเกิดแรงเสียดทานที่ผิววัตถุ ทำให้ความเร็วลมต่ำลงเมื่อเข้าไปใกล้พื้นดิน
3. การเคลื่อนที่แบบแปรปรวน (Turbulent) เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านวัตถุต่างๆ เกิดความเร็วไม่คงที่ อนุภาคอากาศเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ มักพบในสภาพแวดล้อมทั่วไป
4. การเคลื่อนที่ที่หมุนวน (Eddy) เป็นการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีความเร็วลมต่ำเข้าสู่พื้นที่แล้วเกิดการหมุนวนอยู่ที่เดิมในความเร็วลมต่ำมากจนไม่เกิดการระบายอากาศออกได้ในบริเวณนั้น



ภาพที่ 2.14 การเคลื่อนที่ของอากาศ
(ที่มา : Lechner, 2014)

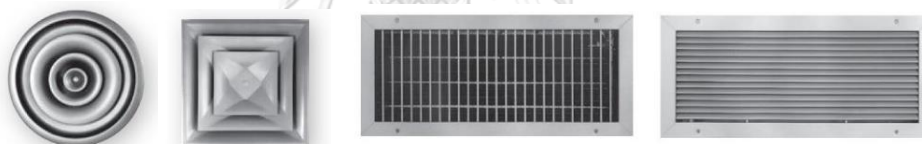
สำหรับการระบายอากาศด้วยวิธีกล ช่วยในการควบคุมสภาพแวดล้อมได้ เหมาะกับทุกสภาพอากาศ แต่มีราคาแพง บางชนิดมีเสียงดัง ในการออกแบบทั้งระบบปรับอากาศและระบายอากาศของแผนกทันตกรรม ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น คุณภาพของอากาศ ความดันอากาศ ทิศทางการไหลของอากาศ การหมุนเวียนอากาศ และการควบคุมการแพร่เชื้อโรคในพื้นที่ปฏิบัติงานนั้น คู่มือการออกแบบอาคารและสภาพแวดล้อมสถานบริการสุขภาพ อาคารทันตกรรม ได้กำหนดรายละเอียดไว้คือ พื้นที่ตรวจรักษาพยาบาลผู้ป่วย ห้องตรวจ รักษาฟัน แนะนำให้ใช้เครื่องปรับอากาศที่สามารถติดผนังแบบแขวนได้ฝ้าเพดานหรือแบบติดผนังที่สามารถซ่อมบำรุงได้สะดวก มีแผงกรองอากาศอย่างน้อยระดับ pre filter ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 25-30 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 25 องศาเซลเซียส มีการเติมอากาศบริสุทธิ์และมีการดูดอากาศภายในพื้นที่ปฏิบัติงานออกสู่ภายนอก โดยควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากที่สะอาดมากไปยังสะอาดน้อย และสำหรับพื้นที่รักษาควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรค ห้องทำฟันสำหรับโรคติดต่อ ห้องผ่าฟัน แนะนำให้เลือกเครื่องปรับอากาศที่สามารถติดตั้งเหนือฝ้าเพดานแบบที่ต่อท่อส่งลมเย็น จ่ายลมเย็นผ่านหัวจ่ายลมที่ฝ้าเพดานและลมกลับติดตั้งที่ฝ้าเพดานพร้อมช่องสำหรับไว้ซ่อมบำรุงระบบปรับอากาศ มีแผงกรองอากาศอย่างน้อยระดับ pre filter และ ระดับ medium filter ที่สามารถกรองฝุ่นได้ไม่น้อยกว่า 85 - 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ประมาณ 21-24 องศาเซลเซียส และสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ปริมาณ 50 ± 10 % มีการเติมอากาศบริสุทธิ์และมีการดูดอากาศภายในพื้นที่ปฏิบัติงานออกสู่ภายนอก โดยมีการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศจากที่สะอาดมากไปยังสะอาดน้อย ความดันของพื้นที่ควบคุมการแพร่กระจายเชื้อมีความดันเป็นลบ

สภาวิศวกร (Council of Engineers) แบ่งระบบปรับอากาศที่นิยมใช้งานในประเทศไทย ออกเป็นระบบหลักๆ คือ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type) , ระบบปรับอากาศแบบแปรเปลี่ยนอัตราการไหลของสารทำความเย็น ระบายความร้อนด้วยอากาศ (air cooled variable refrigerant flow ; VRF) ,ระบบปรับอากาศแบบแพคเกจจ (package unit) , ระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็น (central water chiller system) ในการออกแบบการปรับอากาศระบายอากาศมีเรื่องหัวจ่ายลมเย็นเป็นส่วนที่อยู่ปลายทางของระบบจ่ายลมซึ่งในการเลือกใช้งานจะต้องพิจารณาในแง่ความสวยงาม ความเหมาะสมกับรูปแบบการตกแต่งภายใน และความถูกต้องทางวิศวกรรม (สุชาติ ศิริ ทวารจันทร์, 2544) แบ่งหัวจ่ายลมออกเป็น 3 กลุ่ม คือ



ภาพที่ 2.15 ระยะการจ่ายลม (throw), ระยะการกระจายลม (spread), ระยะความดันลดลง (drop)
(ที่มา : Price Industries Ltd., 2011)

กลุ่มที่หนึ่ง คือ หัวจ่ายลมที่ฝ้าเพดาน เป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด มีหลายรูปแบบ ได้แก่ หัวจ่ายแบบกลม (round ceiling diffuser), แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสธรรมดา (square ceiling diffuser) เป็นต้น ส่วนใหญ่จะมีใบปรับลมกระจายออกในแนวราบหรือทำมุมกับฝ้าเพดาน ซึ่งจะได้ระยะการจ่ายลม (throw) มากขึ้น



ภาพที่ 2.16 หัวจ่ายลมแบบกลม แบบเหลี่ยม แบบตะแกรง และหัวจ่ายลมกลับ
(ที่มา : Price Industries Ltd., 2011)

กลุ่มที่สอง คือ หัวจ่ายลมแบบผนังติดข้าง หัวจ่ายลมแบบนี้มีใบปรับลมทั้งในแนวราบ (ปรับบนล่าง) และแนวตั้ง (ปรับซ้ายขวา) ได้แก่ หัวจ่ายลมแบบ supply air register ส่วนใหญ่ติดตั้งในผนังระดับห่างจากฝ้าเพดานไม่เกิน 1 ฟุต เพื่อให้อากาศจากหัวจ่ายเกาะเสียดฝ้าเพดาน ซึ่งจะได้ระยะการจ่ายลม (throw) ที่ไกลขึ้น การจ่ายลมโดยใช้หัวจ่ายติดผนังนี้ มักใช้กับบริเวณที่มีข้อจำกัดในเรื่องเนื้อที่เดินท่อลมในฝ้าเพดาน ไม่สามารถเดินท่อลมไปจ่ายลมโดยหัวจ่ายลมแบบติดตั้งที่ฝ้าเพดานได้ทั่วบริเวณ จึงต้องลดระดับฝ้าเพดานลงบางส่วน เพื่อให้สามารถเดินท่อลมไปจ่ายลมด้านข้างยังพื้นที่ใช้งานได้

กลุ่มที่สาม คือ หัวจ่ายลมแบบจ่ายลมจากพื้น มักใช้กับห้องที่มีพื้นยก (raise floor) ในอาคารสำนักงาน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงการจัดวางผังใหม่ ก็ย้ายตำแหน่งหัวจ่ายที่พื้นเท่านั้นไม่ต้องรื้อถอนฝ้าเพดาน

การใช้การระบายอากาศอย่างพัดลมระบายอากาศหรือพัดลมดูดอากาศ จากงานวิจัยของ กิติคุณ ยกทรัพย์ (2558) พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ ช่วยให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายในอาคารได้ดีขึ้น ทั้งในรูปแบบพัดลมใบพัดและระบบท่ออากาศ ซึ่งพัดลมระบายอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ แบบติดผนังไม่ต่อท่อระบายอากาศ โดยติดพัดลมไว้กับผนัง แบบติดกระจก ไม่ต่อท่อระบายอากาศ แบบฝังฝ้าไม่ต่อท่อระบายอากาศ และแบบต่อท่อฝังฝ้า สามารถต่อท่อระบายอากาศได้ ใช้ระบายอากาศในพื้นที่อับลม ที่ไม่สามารถระบายอากาศออกผนังได้ โดยวิธีการติดพัดลมไว้กับเพดานแล้วต่อท่อส่งลมออกไปข้างนอกราอาคาร โดยการเลือกใช้พัดลมควรพิจารณาทิศทางการไหลของอากาศ ซึ่งควรติดตั้งพัดลมระบายอากาศด้านที่รับการไหลเข้าของอากาศภายในอาคาร ถ้าผนังสามารถดูดอากาศผ่านได้เลยให้ใช้แบบติดผนังหรือติดกระจก แต่ถ้าไม่สามารถระบายได้โดยตรงให้ใช้แบบฝังเพดาน ซึ่งการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณของห้อง คำนวณเลือกขนาดหรือรุ่นของพัดลมระบายอากาศตามขนาดอากาศภายในห้อง



ภาพที่ 2.17 พัดลมใบพัดติดผนัง และพัดลมระบายอากาศแบบแขวน ติดฝ้าเพดาน

(ที่มา : สำนักงานสนับสนุนบริการสุขภาพเขต 4 นนทบุรี, 2559)

พัดลมแต่ละประเภทจะมีค่ามาตรฐานอุตสาหกรรมเพื่อใช้กำหนดเป็นค่าพื้นฐานของพัดลม ซึ่งในการทดลองจะใช้ค่าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของพัดลมดูดอากาศ มอก.710-2535 การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณและอัตราการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม ดังตารางที่ 2.3

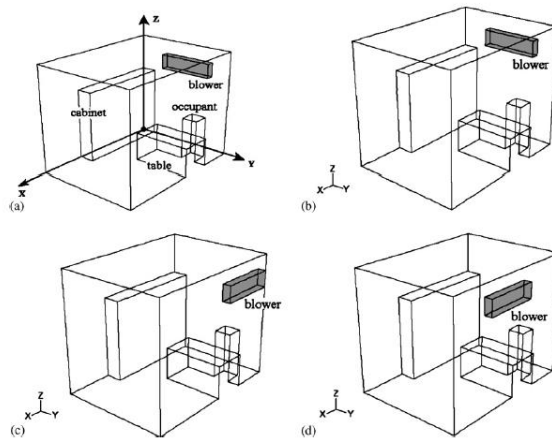
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของพัดลม มอก.710-2535

ขนาดใบพัด (นิ้ว)	อัตราการระบายอากาศ (ลบ.เมตร/ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้าเข้าสูงสุด (วัตต์)
6	270(216)	22
8	360(336)	33
10	600	40
12	900	46
16	1680	80
20	2700	120
<u>หมายเหตุ</u> - ค่าในวงเล็บใช้กับพัดลมติดกระจก - สำหรับพัดลมที่มี 2 ทิศทาง ค่าที่กำหนดในตารางเป็นค่าที่ดูออก		

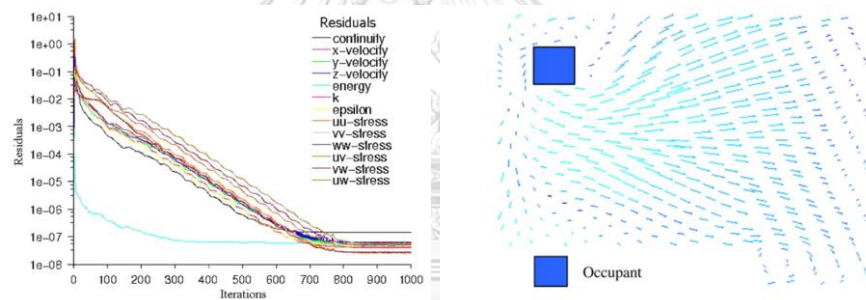
จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศพบว่า มีผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ตำแหน่งติดตั้งช่องลมปล่อยเข้าและออก เพื่อประเมินการระบายอากาศออกเป็นประเด็นดังต่อไปนี้

1. ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ

งานวิจัยของ Yongson และคณะ (2007) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ การศึกษาอุณหภูมิและความเร็ว เปรียบเทียบรูปแบบการไหลของอากาศเพื่อหาตำแหน่งที่มีความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้เกิดความสบายในห้องพัก ดังภาพที่ 2.18 โดยการใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD) และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์กราฟความคลาดเคลื่อนทางสถิติ เก็บข้อมูลความน่าเชื่อถือเมื่อกราฟเริ่มนอนเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 2.19 พบว่ารูปแบบที่อากาศไหลดีที่สุดคือ รูปแบบที่ช่วงความสบายอยู่ครอบคลุมผู้ใช้งานติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังห้องด้านข้างผู้ใช้งาน

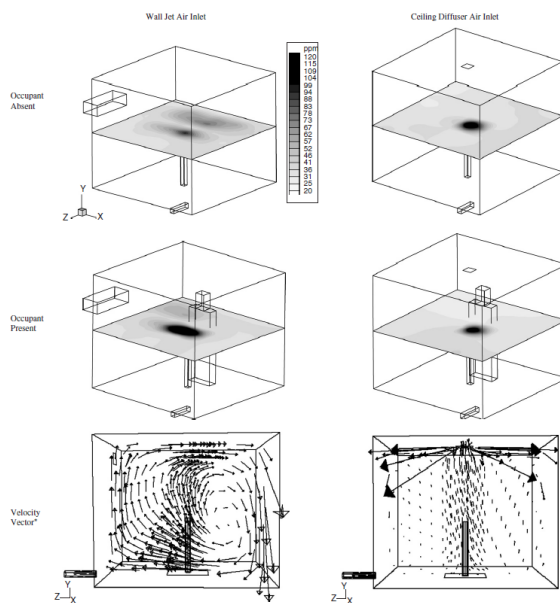


ภาพที่ 2.18 รูปแบบห้องพัก: (a) ระบบพีกัดห้อง และ (b) ติดตั้งด้านหลังผู้ใช้งาน
(c) ติดตั้งริมห้องด้านข้างผู้ใช้งาน (d) ติดตั้งกลางห้องด้านข้างผู้ใช้งาน
(ที่มา : Yongson และคณะ, 2007)



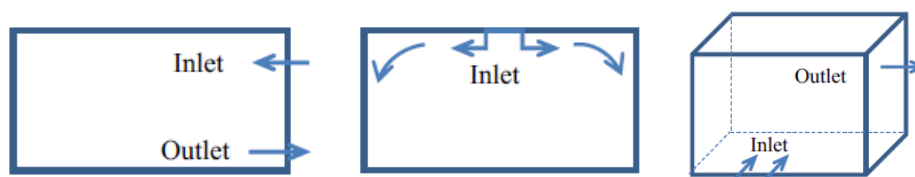
ภาพที่ 2.19 กราฟวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนทางสถิติเพื่อความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง และ
ทิศทางการไหลลมขณะอากาศไหลผ่านผู้ใช้งานในห้องพัก
(ที่มา : Yongson และคณะ, 2007)

นอกจากการศึกษารูปแบบการไหลของอากาศในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนัง
ในงานวิจัยของ Lee และคณะ (2007) ได้ทำการตรวจสอบรูปแบบการระบายอากาศ ด้วยการศึกษ
ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในห้องเพื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพและปริมาณช่องปล่อยลมเข้าทาง
ผนัง และทางเข้าของช่องปล่อยลมบนเพดาน (diffuser) ดังภาพที่ 2.20 พบว่ารูปแบบช่องปล่อยลม
จากฝ้าเพดาน เป็นรูปแบบที่ดีกว่าช่องปล่อยลมเข้าทางผนัง เพราะสามารถจำกัดพื้นที่อากาศเหนือ
ระดับหายใจก่อนที่จะผสมกับอากาศข้างเคียง ลดการหายใจอากาศปนเปื้อนลงได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์
ในการกำหนดตำแหน่งจำลองสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศในงานวิจัย



ภาพที่ 2.20 การทดลองช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังและฝ้าเพดานเพื่อดูรูปแบบการไหลของอากาศ
(ที่มา : Lee และคณะ, 2007)

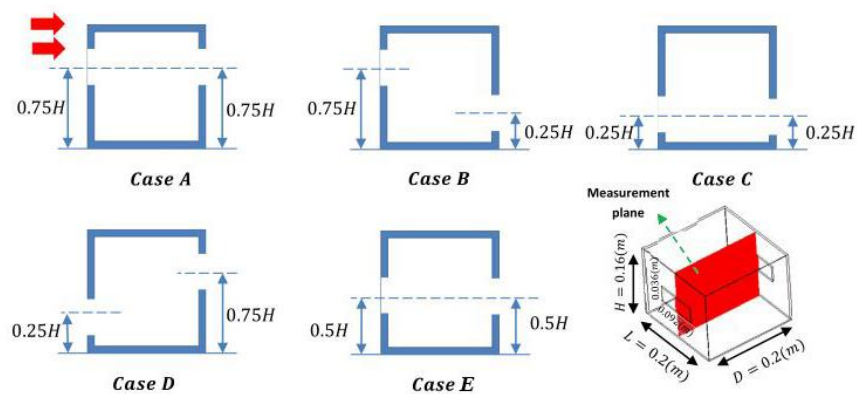
การประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศและการไหลเวียนอากาศที่ต่างกันในการศึกษาทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศจะเป็นประโยชน์กับผู้ออกแบบ สถาปนิก วิศวกร และเจ้าของอาคาร ซึ่งการเติมอากาศ การแทนที่ของอากาศบริสุทธิ์ จะใช้ความเร็วลมต่ำเมื่อวัดบริเวณผู้ใช้งานจะน้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที สำหรับงานวิจัยระบบการระบายอากาศด้วยการศึกษาตำแหน่งการไหลอากาศของช่องปล่อยลมเข้าด้านบน และช่องปล่อยลมออกด้านล่างถือเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดของการระบายอากาศวิธีกล ดังภาพที่ 2.21 มีวิธีการทดลองด้วยการสำรวจพื้นที่จริง การจำลองสถานการณ์และการคำนวณ (Cao และคณะ, 2014)



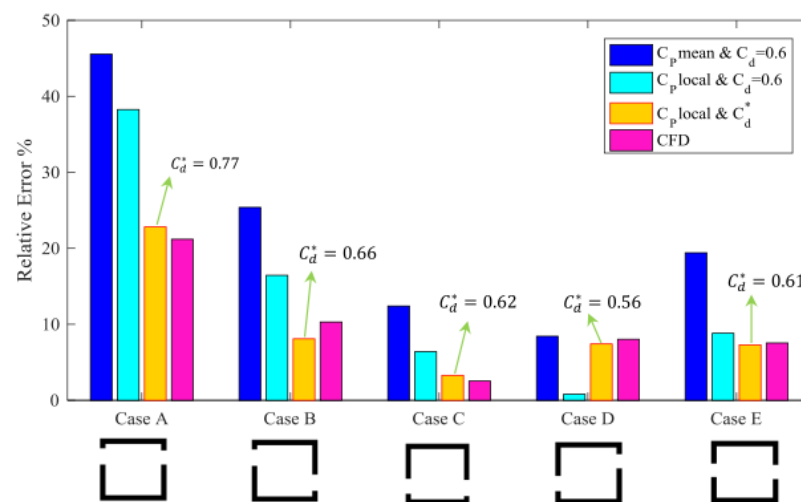
ภาพที่ 2.21 รูปแบบการนำอากาศเข้าและออกจากการทบทวนวรรณกรรมการระบายอากาศ
(ที่มา : Cao และคณะ, 2014)

ในแบบจำลองการไหลของอากาศ ตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds averaged Navier-Stokes ; RANS) ถูกนำมาใช้ศึกษาการระบายอากาศแบบข้ามฟาก (cross ventilation) ที่มีอากาศไหลเข้าและออกผ่านช่องเปิดที่ระดับสูงเกินครึ่งหนึ่งของความสูงในห้อง ดังภาพที่ 2.22 การไหลเวียนของอากาศ

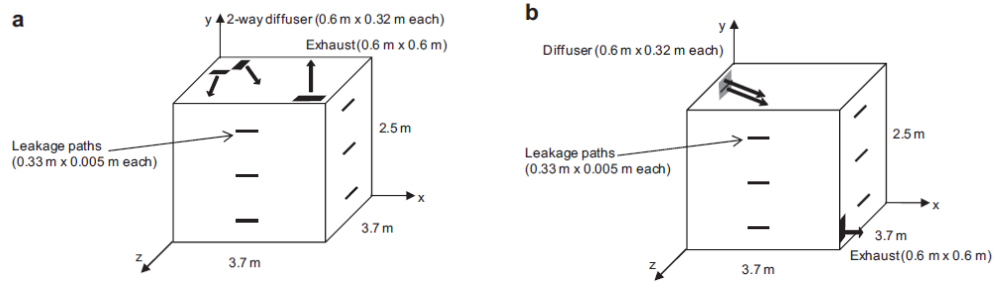
จะเกิดการแปรปรวนอยู่ตรงกลางของห้องใกล้กับระดับของช่องเปิด มีอัตราการไหลของอากาศและสัมประสิทธิ์การไหลสูงเมื่อเทียบกับกรณีอากาศไหลเข้าช่องเปิดที่อยู่สูงและไหลออกจากช่องเปิดที่อยู่ต่ำกว่า ดังภาพที่ 2.23 การไหลเวียนของอากาศจะเกิดการแปรปรวนภายในห้องเมื่ออากาศไหลไปกระทบผนังด้านตรงข้ามแล้วเปลี่ยนเส้นทางการไหลเพื่อไหลออกไปยังช่องเปิดที่ใกล้ที่สุด อัตราการไหลของอากาศ และสัมประสิทธิ์การไหลของอากาศต่ำเมื่ออากาศไหลจากช่องเปิดที่อยู่ระดับใกล้พื้นห้อง (Shirzadi, Mirzaei และNaghashzadegan, 2018)



ภาพที่ 2.22 รูปแบบการระบายอากาศแบบข้ามฟาก และตำแหน่งเก็บข้อมูล (ที่มา : Shirzadi และคณะ, 2018)



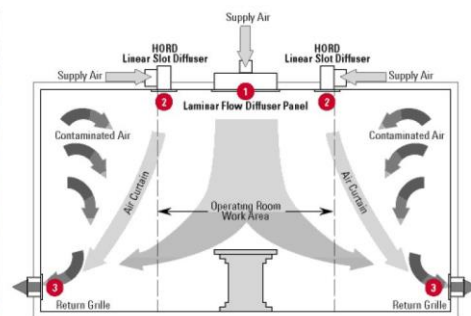
ภาพที่ 2.23 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านช่องเปิด (ที่มา : Shirzadi และคณะ, 2018)



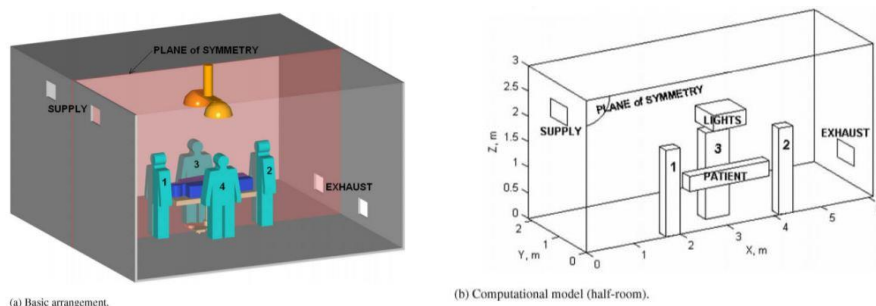
ภาพที่ 2.24 โมเดลจำลองการไหลของอากาศ ติดตั้งบนฝ้าเพดาน และติดตั้งบนผนัง
(ที่มา : Chen และ Wen, 2012)

นอกจากนี้การจำลองรูปแบบการไหลของอากาศยังถูกนำมาใช้เพื่อออกแบบระบบเซ็นเซอร์ภายในห้อง ดังภาพที่ 2.24 ที่มีการติดตั้งช่องจ่ายลมเข้า และช่องจ่ายลมออกติดตั้งบนผนังและติดตั้งบนฝ้าเพดานอีกด้วย (Chen และ Wen, 2012) สำหรับกรณีห้องผ่าตัดซึ่งเป็นห้องที่ต้องการการควบคุมคุณภาพอากาศที่พิเศษ ดังภาพที่ 2.25 ช่องจ่ายลมภายในห้องควรเป็นหัวจ่ายลมแบบทิศทางเดียว (unidirectional) ให้มีลักษณะการไหลของอากาศที่ราบเรียบ หรือมีการไหลแบบแปรปรวนให้น้อยที่สุด และควรจ่ายลมผ่านแผ่นกรองที่มีประสิทธิภาพสูง (High efficiency particulate air ; HEPA filter) จากฝ้าเพดานลงมายังตำแหน่งผู้ใช้งานภายในห้อง และไหลออกทางท่อลมกลับ (return air) (สำนักงานสนับสนุนบริการสุขภาพเขต 4 นนทบุรี, 2559) ซึ่งมีรูปแบบการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยออกของห้องผ่าตัด และตำแหน่งการรักษาของบุคลากรค่อนข้างตายตัว ดังภาพที่ 2.26 (Ho, Rosario และ Rahman, 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.25 ห้องผ่าตัดที่มีการควบคุมทิศทางของการไหลของอากาศ
(ที่มา : สำนักงานสนับสนุนบริการสุขภาพเขต 4 นนทบุรี, 2559)



ภาพที่ 2.26 แบบจำลองห้องผ่าตัด

(ที่มา : Ho และคณะ, 2009)

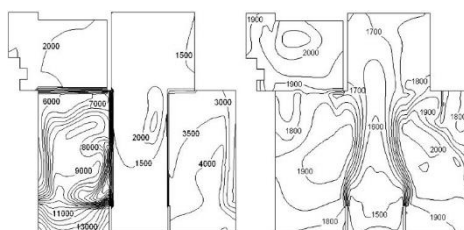
2. อัตราการระบายอากาศและอายุอากาศ

การจำลองการไหลของอากาศเมื่อประยุกต์ใช้ระบบกระจายอากาศ ด้วยระบบกระจายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัด และระบบท่ออากาศ ในห้องพักผู้ป่วยรวม ของ กิติคุณ ยกทรัพย์ (2558) พบว่าการใช้ระบบกระจายอากาศร่วมกับการระบายอากาศธรรมชาติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศได้ โดยสามารถเพิ่มค่า ACH และค่าความเร็วลม รวมทั้งลดอายุของอากาศในพื้นที่ ระบบระบายอากาศแบบพัดลมประเภทใบพัดสามารถเพิ่มความเร็วอากาศภายในพื้นที่ให้สูงขึ้น และระบบท่ออากาศสามารถลดอายุของอากาศได้ ส่วนการลดปริมาณของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศสามารถทำได้ด้วยการทำความสะอาดพัดลมและเครื่องปรับอากาศการเพิ่มพัดลมดูดอากาศออกสู่ภายนอกอาคารในบริเวณที่มีจำนวนเชื้อโรคหนาแน่น เพื่อให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวมีความดันเป็นลบเป็นวิธีการลดเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการรั่วซึมของอากาศปกติที่เกิดจากรอยต่อวัสดุและการเปิดประตูเข้าออกพื้นที่ไม่สามารถเจือจางปริมาณเชื้อที่สะสมภายในได้เพียงพอ แต่ตำแหน่งของพัดลมดูดอากาศที่ติดตั้งจะต้องพิจารณาให้เป็นพื้นที่ที่ไม่ใช่เขตปลอดเชื้อ และในกรณีที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศในระหว่างการตรวจรักษาควรมีการติดตั้งเครื่องกรองอากาศร่วมกับการใช้พัดลมดูดอากาศที่เพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศภายนอกกับภายในอาคารได้อย่างเพียงพอ (จตุพร พนมบัวเลิศ, ชานิยา เหมือนตาและชูพงษ์ ทองคำสมุทร, 2559) และการพิจารณาอายุอากาศนี้ยังถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศที่เหมาะสมที่สุดของระบบเซ็นเซอร์ในอาคาร (Chen และWen, 2012)

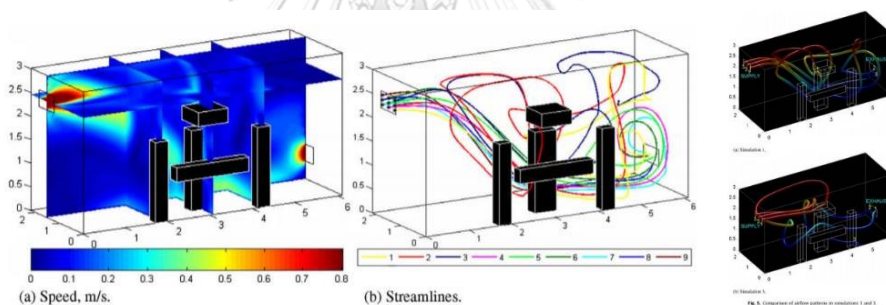
3. เครื่องมือและวิธีการวิจัย

การวิเคราะห์รูปแบบการไหลของอากาศในห้องพักผู้ป่วย ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องระยะของการระบายอากาศ ประเมินโดยการวิเคราะห์อายุอากาศและความเร็วภายในห้องพัก มีวิธีการศึกษาคือจากการวัด คำนวณ และการจำลองพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics; CFD)

ซึ่งการวัด คำนวณนั้นมีความซับซ้อน ใช้เวลานานและแพงมากหากศึกษารูปร่างต่างกันและความละเอียดของการแสดงผลไม่ดีเท่าการจำลองพลศาสตร์ของไหล ที่การปรับเปลี่ยนรูปร่างเล็กน้อยสามารถแสดงผลได้รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย ราคาถูกกว่าการวัดและคำนวณผลจากการจำลองสามารถแสดงให้เห็นตำแหน่งที่การระบายอากาศไปไม่ถึงทั่วถึง และช่วยให้กำหนดทางเลือกเพื่อให้ระบายอากาศได้อย่างถูกต้อง (Méndez และคณะ, 2008)

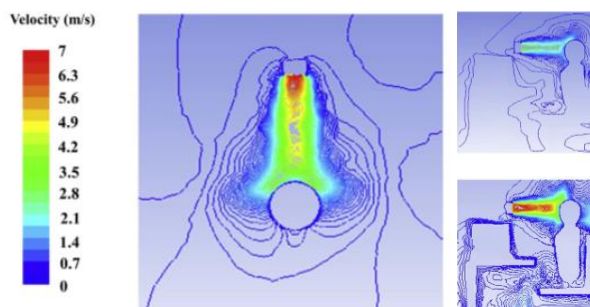


ภาพที่ 2.27 แพลนแสดงอายุอากาศ (วินาที) ที่ระดับความสูง 0.90 เมตร ในห้องพัก (Méndez และคณะ, 2008)



ภาพที่ 2.28 การแสดงผลในแบบจำลอง และการเปรียบเทียบรูปแบบการไหลของอากาศในห้องผ่าตัด (ที่มา : Ho และคณะ, 2009)

การพิจารณาการรูปแบบการไหลของอากาศด้วย CFD นี้ ยังถูกกล่าวถึงว่าเป็นการแสดงข้อมูลที่มีประสิทธิภาพที่สุดแทนการสร้างจริงในการกระจายลมบนผ้าเปดาน หรือผนังของห้องเพื่อดูการไหลของอากาศภายในห้อง (Chen และ Wen, 2012) และใช้เพื่อประเมินความเร็ว อุณหภูมิและอนุภาคที่มีความเข้มข้นในพื้นที่ใช้งาน ซึ่งช่วยควบคุมปัจจัยอากาศภายนอกไปยังบริเวณที่มีการหายใจแสดงผลการคาดการณ์รูปแบบการไหลและการกระจายตัวของอนุภาคในพื้นที่เก็บข้อมูลของการระบายอากาศที่ศึกษา การทำงานในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการกระจายตัวของสารปนเปื้อนกรณีผู้ติดเชื้อ วิธีนี้จะประโยชน์ต่อผู้ใช้งานได้ (Al Assaad และคณะ, 2018; Ho และคณะ, 2009)



ภาพที่ 2.29 แพลนระดับการหายใจและรูปตัดขวางของความเร็วลมเฉลี่ยจากการทดลอง CFD ในระดับสีต่างๆ

(ที่มา : Al Assaad และคณะ, 2018)

2.4 สรุปการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการศึกษา การเก็บข้อมูลและสรุปผลการวิจัย สามารถแบ่งประเด็นออกได้ ดังนี้

2.4.1 มาตรฐานและตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ

1. อัตราการระบายอากาศ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามาตรฐานการระบายอากาศของห้องตรวจอยู่ที่ 12 ACH หมายความว่าปริมาตรอากาศใหม่เข้ามาเพื่อเจือจางอากาศเก่า ซึ่งมีการสะสมของเชื้อโรค 12 รอบใน 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที

2. ทิศทางการไหลของอากาศและรูปแบบการไหลของอากาศ เพื่อป้องกันทิศทางการไหลของเชื้อโรค ว่ามีการไหลผ่านทิศทางใดและไหลผ่านผู้ใช้งานอาคารหรือไม่ และควรมีทิศทางการไหลจากแหล่งกำเนิดลมผ่านต้นตบุคคลากร ไปสู่ผู้ป่วย ก่อนจะไหลออกห้องจากห้องผ่านทางช่องปล่อยลมออกอีกด้านของผนัง โดยไม่ไหลย้อนกลับมาทางเดิม และอากาศภายนอกที่เข้ามายังพื้นที่ รวมถึงเชื้อโรคที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นถูกระบายออก

3. อายุอากาศ จากมาตรฐานของอัตราการระบายอากาศ ที่ 12 ACH คือ การระบายอากาศ 1 รอบในทุก 5 นาทีตาม หมายความว่า อายุอากาศไม่ควรเกิน 5 นาที หรือ 300 วินาที บริเวณที่มีอายุอากาศมากเป็นพื้นที่ที่มีการไหลผ่านของอากาศได้น้อยหรือพื้นที่อับลม ส่งผลเสียต่อผู้ใช้งานอาคาร

2.4.2 ประเด็นสำคัญที่พบจากการทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ประเด็นปัญหาการจัดการพื้นที่ในห้องตรวจทันตกรรมมีสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม และการทำหัตถการทางทันตกรรมก่อให้เกิดละอองขนาดเล็กปนมาในอากาศ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของทันตบุคลากร และผู้ป่วยที่รับการรักษาต่อจากผู้ป่วยรายอื่น ซึ่งในการออกแบบห้องตรวจปัจจัยด้านการระบายอากาศสามารถช่วยควบคุมการติดเชื้อ ลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นการออกแบบตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก จึงเป็นสิ่งที่ควรศึกษาอย่างยิ่ง
2. การควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม แม้มีการกำหนดมาตรฐานและคำแนะนำเบื้องต้นสำหรับผู้ใช้งานและการออกแบบอาคาร หากแต่ในการใช้งานจริง ห้องตรวจไม่ได้รับการตรวจประเมินการระบายอากาศในขั้นตอนการออกแบบ
3. ระบบปรับอากาศมีทั้งรูปแบบเครื่องปรับอากาศที่มีหัวจ่ายแบบแยกส่วน และรูปแบบท่อลม ซึ่งจะมีหน้ากอกช่องจ่ายลมที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาตำแหน่งช่องปล่อยลมที่เหมาะสม จึงได้ทำศึกษาในทั้งหัวจ่ายแบบแยกส่วนและหัวจ่ายของระบบท่อลมด้วย
4. การระบายอากาศที่เกิดขึ้นภายในห้องตรวจมีรูปแบบการไหลของอากาศที่ไม่ราบเรียบ บางรูปแบบอากาศมีการไหลแบบแปรปรวนภายในห้อง เนื่องจากขนาดห้อง และการใช้งานที่มีการเคลื่อนไหวภายในห้อง ซึ่งตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า และช่องปล่อยลมออก ส่งผลต่อการไหลเวียนอากาศ จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาจำลองการไหลของอากาศเพื่อคาดคะเนโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงของการติดเชื้อที่เกิดขึ้นเบื้องต้น และปรับปรุงปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศ ด้วยการวิเคราะห์เครื่องมือที่เหมาะสมต่อการวิจัย เพื่อให้ได้งานวิจัยที่มีความแม่นยำ และสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เพื่อควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม และเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศให้ดียิ่งขึ้น
5. อากาศไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การพิจารณาอากาศในสถานที่จริงเป็นวิธีที่ยากและมีการลงทุนสูง แต่การใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) ที่มีพื้นฐานมาจากการคำนวณตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds averaged Navier-Stokes ; RANS) เป็นวิธีที่ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา จึงมีการแนะนำให้ใช้งานอย่างแพร่หลาย มีความน่าเชื่อถือได้
6. ในการพิจารณาการไหลของอากาศ จะพบการพิจารณาจากปัจจัยทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ มาตรฐานการระบายอากาศ อายุอากาศ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้รวบรวมปัจจัยการพิจารณาต่างๆ ร่วมกัน เพื่อให้การลดปัญหาความเสี่ยงจากการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรมมีความถูกต้อง แม่นยำ รอบคอบมากที่สุด

บทที่ 3

ระเบียบวิธีการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นงานวิจัยเชิงการจำลองสถานการณ์ (Simulation research) โดยจำลองการไหลของอากาศด้วยโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic : CFD) โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องตรวจทันตกรรม และปัจจัยการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องตรวจ โดยการเปรียบเทียบทิศทางของการไหลของอากาศ (airflow direction) ลักษณะการไหลของอากาศ (airflow pattern) และอายุอากาศ (age of air) เพื่อตรวจสอบและพัฒนาารูปแบบการออกแบบปรับปรุงห้องตรวจทันตกรรมให้มีประสิทธิภาพการระบายอากาศป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาสามารถแบ่งออกงานวิจัยออกเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

ส่วนที่ 1 การสำรวจห้องตรวจทันตกรรม ข้อมูลรูปแบบการรักษาทันตกรรม การจัดการพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งของเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก และข้อมูลลม เพื่อศึกษาสถานการณ์และผลกระทบของการเคลื่อนที่ของอากาศในห้องตรวจทันตกรรมปัจจุบัน

ส่วนที่ 2 การกำหนดตัวแปรที่จะใช้ในงานวิจัย โดยกำหนดตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุม จากการทบทวนวรรณกรรมและการสำรวจห้องตรวจทันตกรรม

ส่วนที่ 3 การเลือกเครื่องมือและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ โดยนำผลที่ได้จากการสำรวจจริงเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล

ส่วนที่ 4 การกำหนดรูปแบบการศึกษา ออกแบบงานวิจัยให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ส่วนที่ 5 การจำลองด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล การแสดงผล การตั้งค่าข้อมูลในโปรแกรม

ส่วนที่ 6 การเก็บข้อมูลที่ได้จากการการจำลองสถานการณ์ต่างๆ และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการสรุปผลงานวิจัย

ส่วนที่ 7 การสรุปผลและเสนอแนะข้อมูล จากการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ และเสนอแนะแนวทางต่อไป

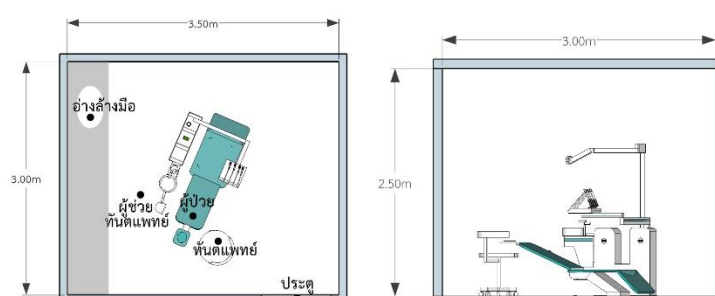
3.1 การเก็บข้อมูลพื้นที่กรณีศึกษา

การเก็บข้อมูลห้องตรวจทันตกรรม จากการเก็บข้อมูลรูปแบบการรักษาทันตกรรม การจัดการพื้นที่ใช้สอย ตำแหน่งของเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก และข้อมูลลมของกรณีศึกษา มีรายละเอียดของข้อมูลห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดียว ดังนี้

พื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อมากที่สุดคือ ห้องตรวจรักษา จากการเก็บข้อมูลห้องตรวจเดี่ยวพบว่าห้องตรวจมีขนาด กว้าง 3.00 เมตร ยาว 3.50 เมตร สูง 2.50 เมตร มีเคาน์เตอร์วางเครื่องมือและอ่างล้างมืออยู่ซ้ายมือของเตียงตรวจผู้ป่วย ลักษณะการทำงานของทันตแพทย์อยู่ด้านขวามือ ผู้ช่วยทันตแพทย์อยู่ด้านซ้ายมือของผู้ป่วย มีรูปแบบและตำแหน่งตายตัว ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง บนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย วัดความเร็วลมที่ตำแหน่งหน้ากากจ่ายลมได้ 4.50 – 6.00 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 3.1 การจัดวางพื้นที่ใช้สอยห้องตรวจทันตกรรม (ห้องเดี่ยว)



ภาพที่ 3.2 ห้องตรวจทันตกรรม กว้าง 3.00 เมตร ยาว 3.50 เมตร สูง 2.50 เมตร

จากการเก็บข้อมูลพื้นที่กรณีศึกษาด้วยการสำรวจพื้นที่จริง เก็บข้อมูลขนาดห้อง ความเร็วลม ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่องลมเข้า จึงรวบรวมข้อมูลทั้งหมด ร่วมกับประเด็นปัญหาที่สำรวจพบและการทบทวนวรรณกรรม เพื่อกำหนดตัวแปรในงานวิจัย

3.2 การกำหนดตัวแปรที่จะใช้ในการศึกษา

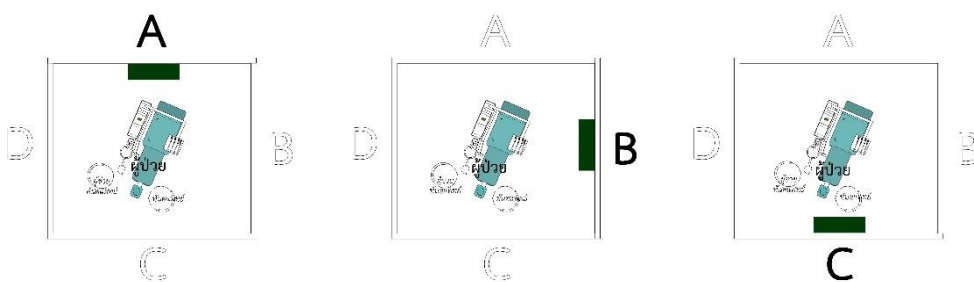
งานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดตัวแปรจากการทบทวนวรรณกรรมและการสำรวจข้อมูลห้องตรวจทันตกรรม ตามวัตถุประสงค์การวิจัย เพื่อหาตรวจสอบการระบายอากาศและเสนอแนวทางในการปรับปรุงห้องตรวจทันตกรรม รูปแบบผังมาตรฐานห้องตรวจเดี่ยวให้มีประสิทธิภาพการระบายอากาศ โดยการออกแบบสถานการณ์กำหนดตำแหน่งติดตั้งตำแหน่งจ่ายลมเข้า ตำแหน่งดูดลมกลับลมออก เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการระบายอากาศ และลดโอกาสการติดเชื้อที่เกิดขึ้น

3.2.1 ตัวแปรต้น

จากประเด็นปัญหาที่พบและการทบทวนวรรณกรรม แบ่งออกได้ ดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ แบบแยกส่วน (split type)

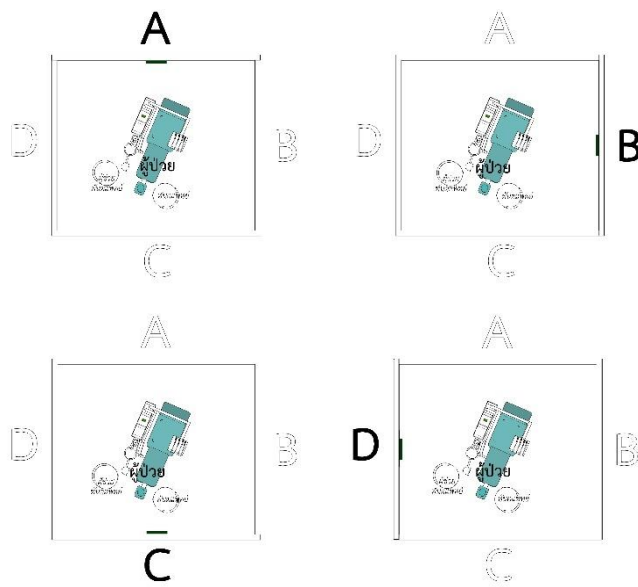
จากการสำรวจคลินิกทันตกรรมกรณีศึกษาพบว่าใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง ความเร็วลมเฉลี่ยวัดที่หน้ากากจ่ายลมได้ 6.00 เมตรต่อวินาที ในห้องตรวจตำแหน่งที่ติดตั้ง ได้แก่ ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) จึงเพิ่มสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นในห้องตรวจ



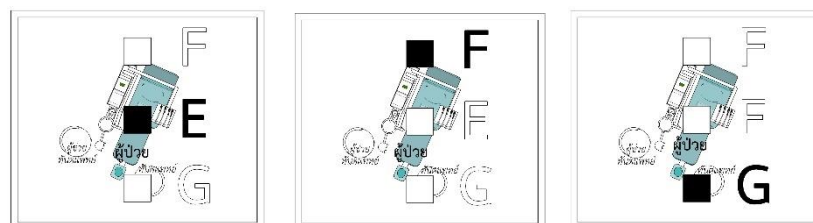
ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ บนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

ปัจจัยที่ 2 ตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า

ตำแหน่งติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าจากการสำรวจสถานที่และการทบทวนวรรณกรรม นอกเหนือจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นตัวจ่ายลมแล้ว ยังมีการติดตั้งท่อลมที่มีช่องปล่อยลมติดตั้งที่ตำแหน่งบนผนัง และฝ้าเพดาน จึงนำมากำหนดตำแหน่งในงานวิจัย ได้แก่ ตำแหน่งผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B), ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C), ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และ ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E), ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F), ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G)



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B), ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E), ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G)

การกำหนดค่าความเร็วลมช่องปล่อยลมเข้า และขนาดช่องปล่อยลมมีวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้
 การคำนวณปริมาตรห้องตรวจทันตกรรม = $3.00 \times 3.50 \times 2.50 = 26.25$ ลูกบาศก์เมตร
 จากมาตรฐานอัตราการระบายอากาศเพื่อควบคุมการติดเชื้อที่ 12 ACH หรือที่ 6 ACH
 อัตราการระบายอากาศที่ 12 ACH = $12 \times 26.25 = 315$ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
 อัตราการระบายอากาศที่ 6 ACH = $6 \times 26.25 = 157.5$ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
 สูตรคำนวณการหาอัตราการระบายอากาศ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Inkarojrit (2010)

$$\text{ACH} = (\text{A inlet} \times 0.8 \times V_{\text{air}} \times 3600) / \text{Volumn} \quad (1)$$

เมื่อ $\text{ACH} =$ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศในห้อง จำนวนเท่าของปริมาตรห้องในหนึ่งชั่วโมง
 $V_{\text{air}} =$ ความเร็วลมช่องอากาศเข้าเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)
 $\text{A inlet} =$ พื้นที่หน้าตัดของช่องอากาศเข้า (ตารางเมตร)
 $\text{Volume} =$ ปริมาตรห้อง (ลูกบาศก์เมตร)

$$\text{ดังนั้น } V_{\text{air}} = \text{ACH} \times \text{Volumn} / \text{A inlet} \times 0.8 \times 3600 \quad (2)$$

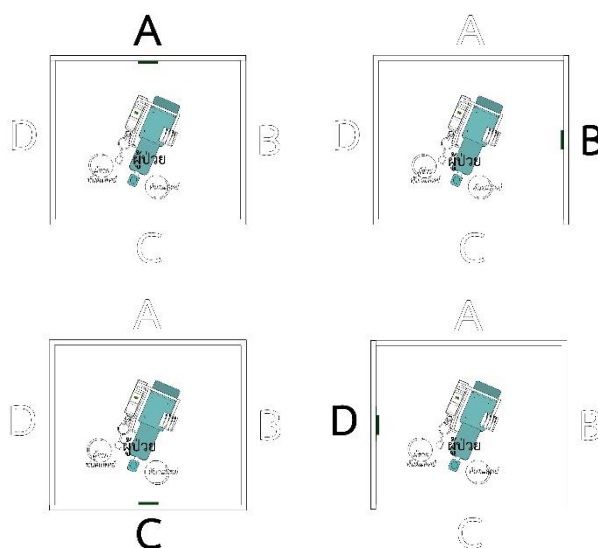
การควบคุมการติดเชื้อด้วยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH
 ที่ 12 ACH $V_{\text{air}} = 315 / (0.40 \times 0.40) \times 0.8 \times 3600 = 0.68 = 0.70$ เมตรต่อวินาที
 ความเร็วช่องปล่อยลมเข้า ขนาด 16×16 นิ้ว หรือ 0.40×0.40 เมตร คือ 0.70 เมตรต่อวินาที

การควบคุมการติดเชื้อด้วยอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH
 ที่ 6 ACH $V_{\text{air}} = 157.5 / (0.40 \times 0.40) \times 0.8 \times 3600 = 0.34$ เมตรต่อวินาที
 ความเร็วช่องปล่อยลมเข้า ขนาด 16×16 นิ้ว หรือ 0.40×0.40 เมตร คือ 0.34 เมตรต่อวินาที

ปัจจัยที่ 3 ตำแหน่งช่องปล่อยลมออก และพัดลมระบายอากาศ

ตำแหน่งติดตั้งพัดลมระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษา คือ ผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย ซึ่งเป็นด้านเดียวที่ไม่ติดสิ่งกีดขวางในห้องตรวจ โดยการกำหนดพัดลมระบายอากาศ ตามมอก.710-2535 เหมาะแก่การเลือกใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว มีอัตราการระบายอากาศที่ 360 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ตำแหน่งช่องปล่อยลมออกจากการสำรวจสถานที่และการทบทวนวรรณกรรม จึงนำมากำหนดตำแหน่งในงานวิจัย ได้แก่ ตำแหน่งผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B), ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C), ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) โดยกำหนดช่องปล่อยลมออก ขนาด 8×8 นิ้ว หรือ 0.20×0.20 เมตร ความเร็วลม 3.40 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 3.6 ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B), ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C), ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

3.2.2 ตัวแปรตาม

จากการทบทวนวรรณกรรมสรุปตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ ประกอบด้วย

ปัจจัยที่ 1 ทิศทางการไหลของอากาศ เพื่อบ่งบอกทิศทางการไหลของเชื้อโรค ว่ามีการไหลผ่านทิศทางใดและไหลผ่านผู้ใช้งานอาคารหรือไม่ ซึ่งควรมีทิศทางการไหลจากแหล่งกำเนิดลมผ่านทันตบุคลากรไปสู่ผู้ป่วยก่อนจะไหลออกจากห้องผ่านทางช่องปล่อยลมออก โดยไม่ไหลย้อนกลับมาทางเดิม

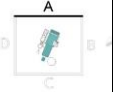
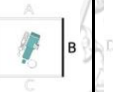
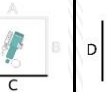




ปัจจัยที่ 2 รูปแบบการไหลของอากาศ อากาศภายนอกที่เข้ามายังพื้นที่ และเชื้อโรคที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นถูกระบายออกอย่างมีประสิทธิภาพ มีการไหลวน หรือความแปรปรวนน้อยที่สุด

ปัจจัยที่ 3 อายุอากาศ จากมาตรฐานของอัตราการระบายอากาศที่ 12 ACH คือ การระบายอากาศ 1 รอบในทุก 5 นาที หมายความว่า อายุอากาศไม่ควรเกิน 5 นาที หรือ 300 วินาที และอัตราการระบายอากาศ ที่ 6 ACH อายุอากาศไม่ควรเกิน 10 นาที หรือ 600 วินาที บริเวณที่มีอายุอากาศมากจัดเป็นพื้นที่ที่มีการไหลผ่านของอากาศได้น้อย ส่งผลเสียต่อผู้ใช้งานอาคาร

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

ห้องตรวจทันตกรรมมีการระบายอากาศด้วยวิธีกล ศึกษาอัตราการระบายอากาศ ที่ระดับความสูง 0.80 เมตร ซึ่งเป็นความสูงระดับหายใจของผู้ป่วยขณะรับการรักษา และทันตบุคลากรขณะทำการตรวจทันตกรรม ซึ่งมีมาตรฐานการระบายอากาศของห้องตรวจอยู่ที่ 12 ACH หมายความว่า ปริมาณอากาศใหม่เข้ามาเพื่อเจือจางอากาศเก่าที่มีการสะสมของเชื้อโรค 12 รอบใน 1 ชั่วโมง หรือ 60 นาที โดยติดตั้งเครื่องปรับอากาศหรือช่องปล่อยลมเข้า ที่ความสูงจากระดับพื้นห้องถึงกึ่งกลางช่องปล่อยลมเข้า 2.00 เมตร และติดตั้งพัดลมระบายอากาศหรือช่องปล่อยลมออก ที่ความสูงจากระดับพื้นห้องถึงกึ่งกลางช่องปล่อยลมออก 0.80 เมตร โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

ตารางที่ 3.1 สรุปรายละเอียดของตัวแปร

		ตัวแปร						
		ผนัง A	ผนัง B	ผนัง C	ผนัง D	ฝ้าเพดาน E	ฝ้าเพดาน F	ฝ้าเพดาน G
ตัวแปรต้น	ตำแหน่งติดตั้ง							
	Sprit type FAN							
	ช่องปล่อยลมเข้า							
	ช่องปล่อยลมออก							
ตัวแปรตาม	ทิศทางการไหล							
	รูปแบบการไหลของอากาศ							
	อายุอากาศ							
ตัวแปรควบคุม	ตำแหน่งกึ่งกลางช่องปล่อยลมเข้าถึงพื้นห้อง 2.00 เมตร							
	ตำแหน่งกึ่งกลางช่องปล่อยลมออกถึงพื้นห้อง 0.80 เมตร							

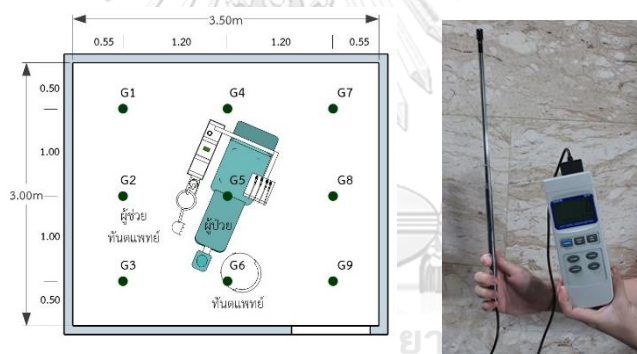
3.3 การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการหลายรูปแบบ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การเลือกใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาประยุกต์ใช้กับระบบสมการเชิงกล ซึ่งมีกฎพื้นฐานทางฟิสิกส์ทำนายค่าขององค์ประกอบต่างๆ ประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถแสดงผลได้รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย ราคาถูกกว่าการวัดและคำนวณ (Méndezและคณะ, 2008) ช่วยแสดงผลการคาดการณ์รูปแบบการไหลและการกระจาย

ตัวของอนุภาคในพื้นที่เก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการกระจายตัวของสารปนเปื้อนได้ (Al Assaad และคณะ, 2018) อีกทั้งยังมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเครื่องมือจะเป็นการป้องกันความคลาดเคลื่อนในการนำผลที่ได้จากการวัดความเร็วลมยังสถานที่จริงมาเทียบกับการจำลองพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow simulation ให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยการอ้างอิงวิธีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของ จิรายุ บุญตัน (2554) และ นิชาภัทร ดิเรกวัฒนชัย (2559) ดังต่อไปนี้

3.3.1 เก็บข้อมูลจากห้องตรวจทันตกรรมติดตั้งระบบปรับอากาศ

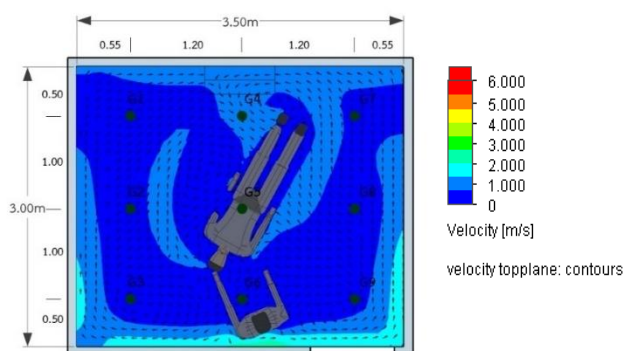
ประกอบด้วยข้อมูลความเร็วลม ทิศทางลมในห้องตรวจ โดยกำหนดตำแหน่งที่เก็บข้อมูล ในระดับความสูงที่ 0.80 เมตร ซึ่งเป็นระดับหายใจของผู้ป่วยขณะรับการรักษาและเป็นระดับการทำงานของทันตแพทย์ ด้วยเครื่อง Hot Wire Anemometer ยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-47 พบว่ามีความเร็วลมสูงสุด 1.20 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมต่ำสุด 0.20 เมตรต่อวินาที ความเร็วลมเฉลี่ย 0.34 เมตรต่อวินาที และความเร็วลมของหน้าช่องจ่ายลมเฉลี่ย คือ 6.00 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 3.7 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมในห้องตรวจ และเครื่องมือวัดความเร็วลม

3.3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของอากาศด้วยโปรแกรม

จำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow simulation 2016 โดยกำหนดค่าความเร็วลมช่องจ่ายลมที่วัดได้จริง คือ 6.00 เมตรต่อวินาที เพื่อหาความเร็วลมในตำแหน่งที่กำหนดไว้จำนวน 9 จุด วัดที่ระดับความสูงที่ 0.80 เมตร ซึ่งเป็นระดับการหายใจของผู้ป่วยขณะรับการรักษา และเป็นระดับการทำงานของทันตแพทย์



ภาพที่ 3.8 ความเร็วลมที่เกิดขึ้นจากการจำลองพลศาสตร์ของไหลในโปรแกรม

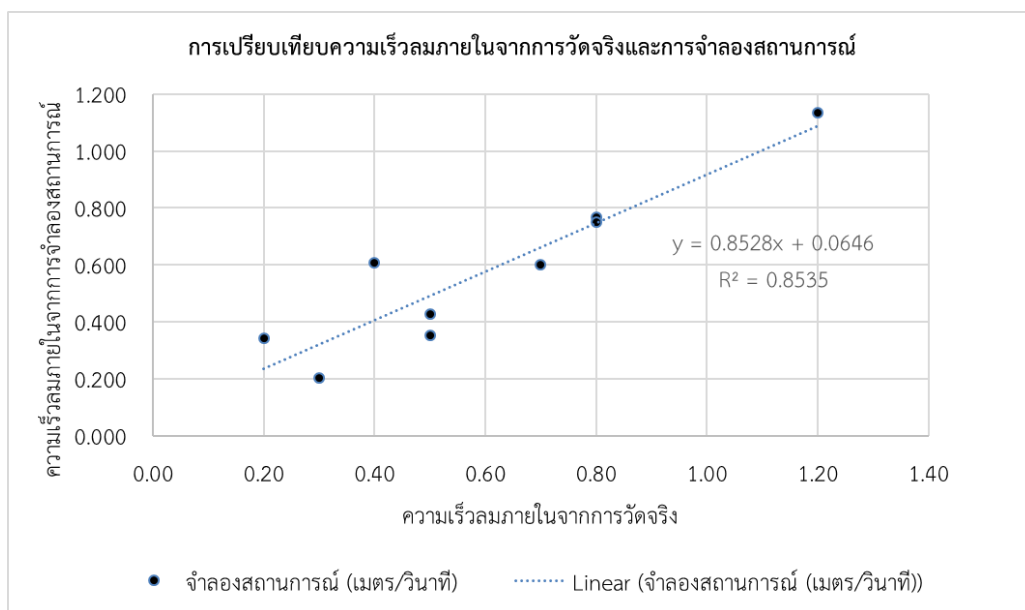
3.3.3 การเปรียบเทียบมาตรฐานของแบบจำลองสถานการณ์กับการเก็บข้อมูลกรณีศึกษา

การเปรียบเทียบข้อมูลความเร็วลมที่วัดได้จริงจากห้องตรวจทันตกรรม กับข้อมูลความเร็วลมของแบบจำลองสถานการณ์ความเร็วลมในโปรแกรม SolidWorks Flow simulation 2016

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบค่าความเร็วลมที่วัดได้ในห้องตรวจทันตกรรมกับการจำลองผ่านโปรแกรม

ตำแหน่ง	ความเร็วลมภายในห้องตรวจทันตกรรม		
	วัดจริง (เมตร/วินาที)	จำลองสถานการณ์ (เมตร/วินาที)	เปอร์เซ็นต์
G1	0.70	0.602	10%
G2	0.80	0.769	3%
G3	0.30	0.203	10%
G4	0.40	0.607	-21%
G5	0.80	0.750	5%
G6	0.50	0.354	15%
G7	1.20	1.135	6%
G8	0.50	0.426	7%
G9	0.20	0.341	-14%
ค่าเฉลี่ย	0.34	0.324	1%

ความเร็วลมการจำลองสถานการณ์ผ่านโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.324 เมตรต่อวินาที น้อยกว่าความเร็วลมที่วัดได้จากกรณีศึกษาซึ่งอยู่ที่ 0.34 เมตรต่อวินาที ในการทดสอบความถูกต้อง ค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 คือ 0.8535 จึงสรุปได้ว่ามีความน่าเชื่อถือได้ (validity)



ภาพที่ 3.9 กราฟเปรียบเทียบความเร็วลมที่วัดได้จากห้องตรวจทันตกรรมกับการจำลองผ่านโปรแกรม

3.4 รูปแบบการศึกษา

การออกแบบการทดลอง จากวัตถุประสงค์งานวิจัย สามารถแบ่งงานวิจัย ออกได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.4.1 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 1

การจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยว รูปแบบ และตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ ที่เลือกใช้ในพื้นที่กรณีศึกษา บนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) ร่วมกับการจัดพื้นที่ใช้สอยในห้องตรวจทันตกรรม โดยศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ และอายุอากาศ

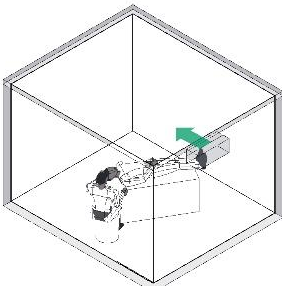
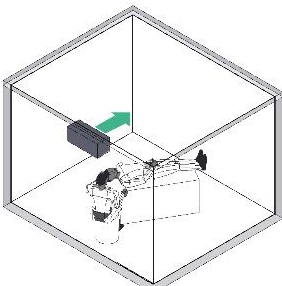
ตารางที่ 3.3 รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

<p>แบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
---	--

3.4.2 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 2

การศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ บนผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) ในห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยว ร่วมกับการจัดพื้นที่ใช้สอยในห้องตรวจ โดยศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ และอายุอากาศ

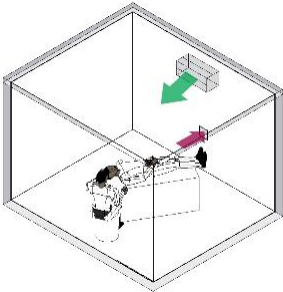
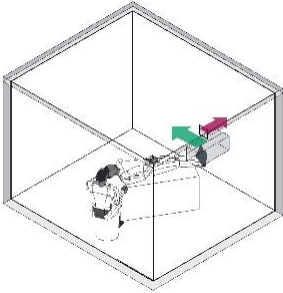
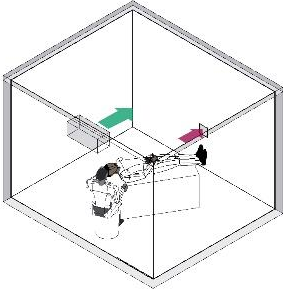
ตารางที่ 3.4 รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

<p>แบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบน ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบน ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	

3.4.3 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 3

การศึกษาผลกระทบของการเพิ่มพัดลมระบายอากาศ บนผนังตำแหน่งด้านปลายเท้าของผู้ป่วย ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ติดกับภายนอกอาคารกรณีศึกษา ร่วมกับตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศ บนผนังตำแหน่งด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) ตามลำดับ ในห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยว โดยศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศและอายุอากาศ

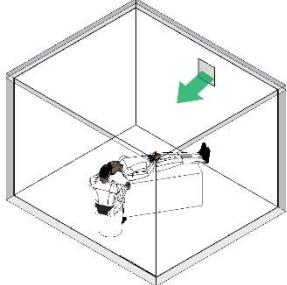
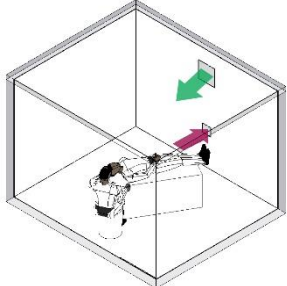
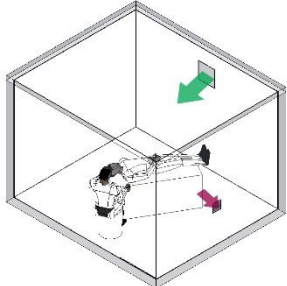
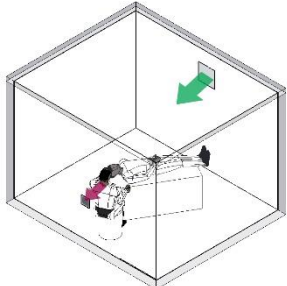
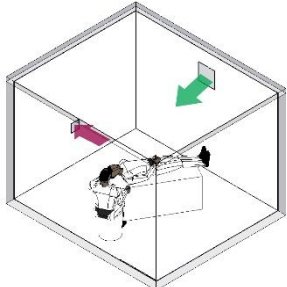
ตารางที่ 3.5 รูปแบบการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A), ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) ร่วมกับพัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A)

<p>แบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A) ร่วมกับพัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) ร่วมกับพัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) ร่วมกับพัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	

3.4.4 การจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 4

การศึกษาผลกระทบของการใช้ช่องลมปล่อยเข้าบนผนัง การใช้ช่องลมปล่อยเข้าบนฝ้าเพดาน และจำลองสถานการณ์ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนัง ตามลำดับ ในห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยว โดยศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ

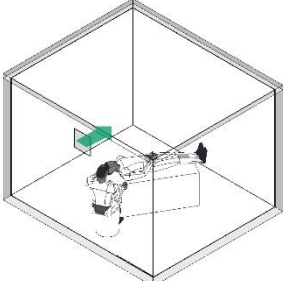
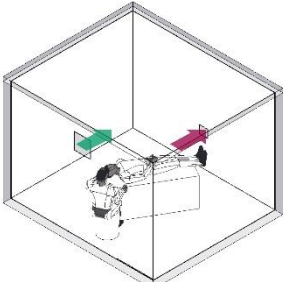
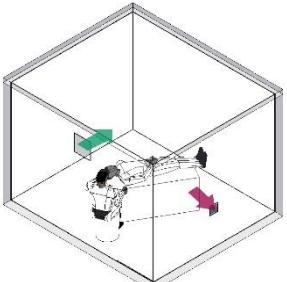
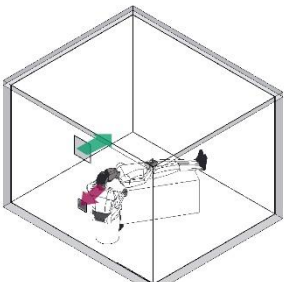
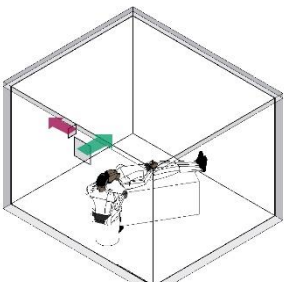
ตารางที่ 3.6 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน

<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	

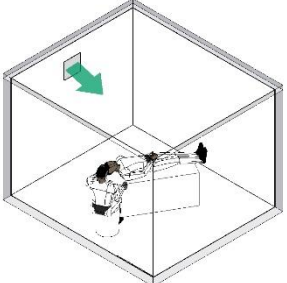
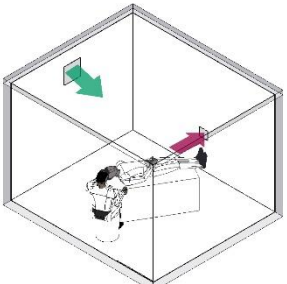
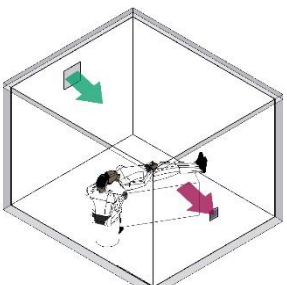
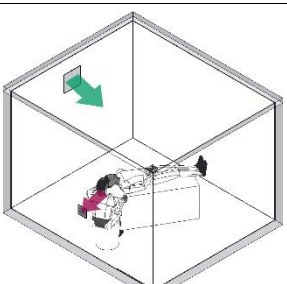
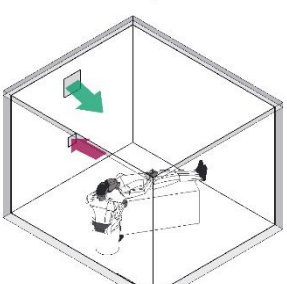
ตารางที่ 3.7 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน

<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเข้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	

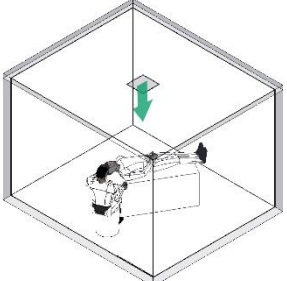
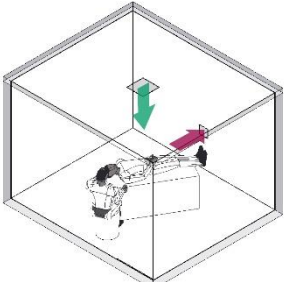
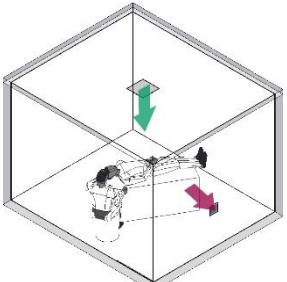
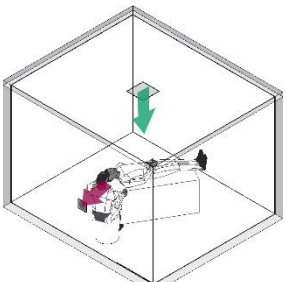
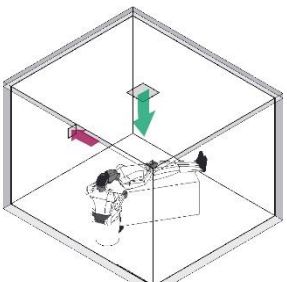
ตารางที่ 3.8 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน

<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	

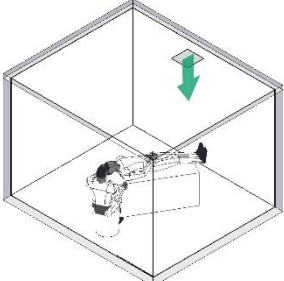
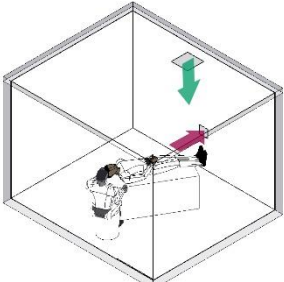
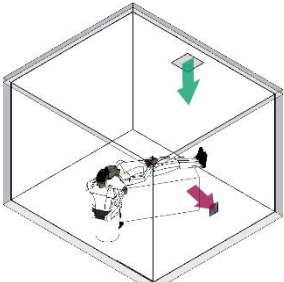
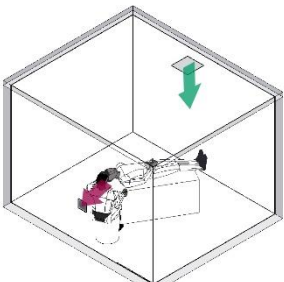
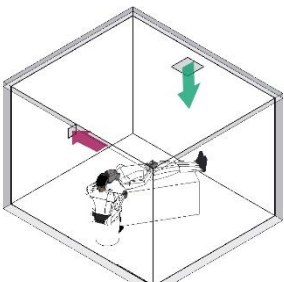
ตารางที่ 3.9 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน

<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเข้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	

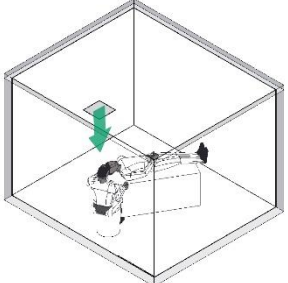
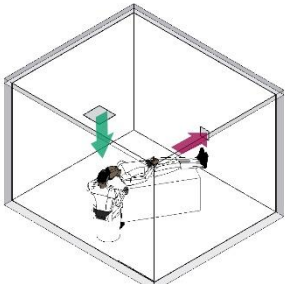
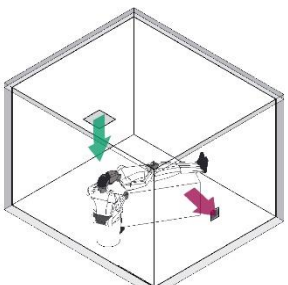
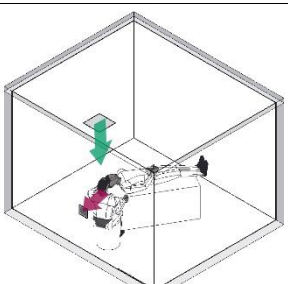
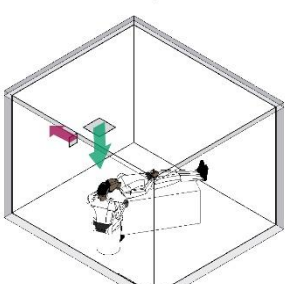
ตารางที่ 3.10 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน

<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	

ตารางที่ 3.11 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน

<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	

ตารางที่ 3.12 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) ร่วมกับช่องปล่อยลมออกบนผนังแต่ละด้าน

<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)</p>	
<p>แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)</p>	

3.4.5 สรุปรูปแบบการศึกษา

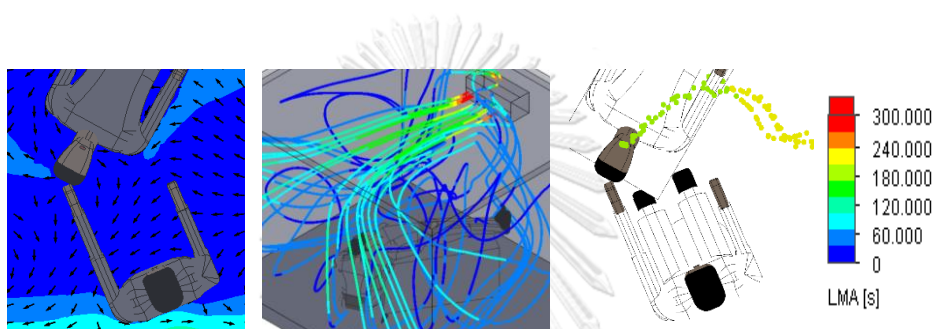
ตารางที่ 3.13 สรุปรูปแบบการจำลองสถานการณ์

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)	●	●			
ช่องปล่อยลมเข้าติดตั้งบนผนัง	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)	●	●	●	●	●
	ด้านขวาผู้ป่วย (ผนัง B)	●	●	●	●	●
	ด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C)	●	●	●	●	●
	ด้านซ้ายผู้ป่วย (ผนัง D)	●	●	●	●	●
ช่องปล่อยลมเข้าติดตั้งบนฝ้าเพดาน	เหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้า E)	●	●	●	●	●
	เหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้า F)	●	●	●	●	●
	เหนือศีรษะผู้ป่วย (ฝ้า G)	●	●	●	●	●

3.5 การจำลองด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล

งานวิจัยชิ้นนี้ใช้การจำลองพลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม SolidWorks Flow simulation 2016 ซึ่งมีความน่าเชื่อถือในการทำงานวิจัย แสดงผลข้อมูลด้วยภาพ และแสดงผลเป็นตัวเลข

การแสดงผลด้วยภาพ ได้แก่ ลูกศร (vectors) แสดงทิศทางการไหลของอากาศ เส้นสียาวต่อเนื่อง (pipes) แสดงรูปแบบการไหลของอากาศ ภาพสี (contour) และแถบสี (color bar) แสดงระดับความเร็วลมและอายุอากาศ จุดอนุภาคสี (particle) แสดงอนุภาคของเชื้อโรคในระดับอายุอากาศที่แตกต่างกัน และทิศทางที่เชื้อโรคไหลในอากาศซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณปากของผู้ป่วย ขณะรับการรักษาทันตกรรม



ภาพที่ 3.10 การแสดงผลด้วยลูกศร เส้นสียาวต่อเนื่อง ภาพสี แถบสี และจุดอนุภาคสี

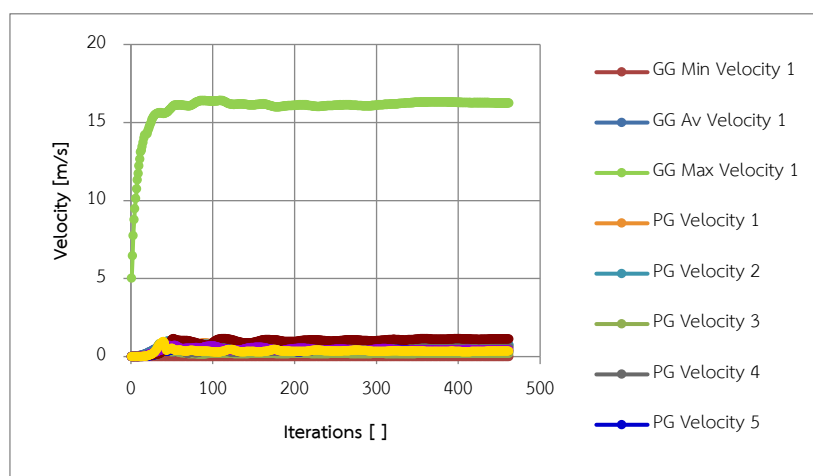
การแสดงผลเป็นตัวเลข ได้แก่ ค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของความเร็วลม และอายุอากาศ จากผลที่เกิดขึ้นในการจำลองสถานการณ์

ตารางที่ 3.14 การตั้งค่าข้อมูลในโปรแกรม SolidWorks Flow simulation

 SOLIDWORKS Flow Simulation General Info		หมายเหตุ
Units system	SI (m-kg-s)	หน่วยระบบเมตริก
Analysis type	Internal	การวิเคราะห์ชิ้นงานภายใน
Input data		
Global Mesh setting	level: 3	ระดับความละเอียดพื้นฐาน
Flow type	Laminar and turbulent	การเคลื่อนที่ของอากาศ
Heat conduction in solids	Off	ไม่มีการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่ติดกัน
Gravitational setting	9.81 m / s ²	ค่าแรงโน้มถ่วงโลก
Humidity	Off	ไม่มีความชื้น
roughness	0 micrometer	ผนังมีผิวเรียบ
wall conditions	Adiabatic wall	ไม่มีการถ่ายเทความร้อน
Thermodynamic parameters	Environment Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 293.20 K	ค่าเริ่มต้นของความดันบรรยากาศและอุณหภูมิห้อง
Material setting : Fluids	Gas: Air	วิเคราะห์ของไหลเป็นอากาศ
Fan type : Internal fan	Fan curve: Split type	เครื่องปรับอากาศ
Inlet Velocity	Flow parameters : 0.700 m/s	ความเร็วช่องปล่องลมเข้า
	Flow parameters : 0.340 m/s	ความเร็วช่องปล่องลมเข้า
Outlet Velocity	Flow parameters : 3.400 m/s	ความเร็วช่องปล่องลมออก
Particle study	Diameter 0.000005 m.	ขนาดอนุภาคเชื้อโรค
	Liquid : water	รูปแบบอนุภาคเชื้อโรค
	Wall : ideal reflection	ผนังอุดมคติเพื่อวิเคราะห์การสะท้อนของเชื้อโรค

3.6 การเก็บข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหลและการวิเคราะห์ข้อมูล

การเก็บข้อมูลจากการจำลองสถานการณ์ จะทำการเก็บข้อมูลหลังจากที่การคำนวณพลศาสตร์ของไหลในโปรแกรมมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดโดยพิจารณาจากกราฟความคลาดเคลื่อน (iteration) ของความเร็วลมที่เกิดขึ้น จนกว่าเส้นกราฟเริ่มนิ่งจนเป็นเส้นตรง ที่ความคลาดเคลื่อนประมาณ 300 การจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

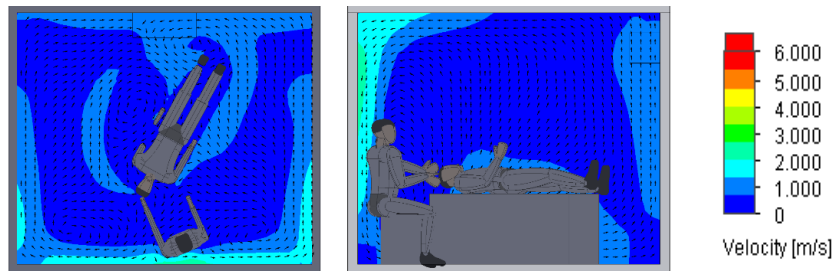


ภาพที่ 3.11 กราฟความคลาดเคลื่อนของความเร็วลมที่เกิดขึ้นในโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล

การจำลองสถานการณ์ต่างๆเพื่อให้ได้ข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศ ข้อมูลรูปแบบการไหลของอากาศ และข้อมูลอายุอากาศ มีวิธีการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

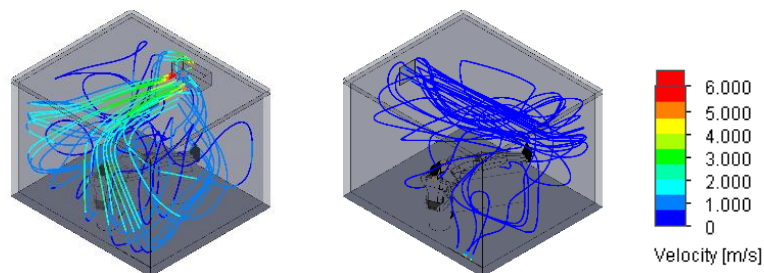
3.6.1 ข้อมูลทิศทางการไหลของอากาศ ข้อมูลรูปแบบการไหลของอากาศ

เป็นการเก็บข้อมูลจากลูกศร (vectors) แสดงทิศทางการไหลของอากาศ ว่าอากาศมีการไหลจากจุดปล่อยลมผ่านทันตบุคลากร ผู้ป่วย ไปในทิศทางใด มีเชื้อโรคไหลผ่านผู้ใช้งานอาคารหรือไม่ และภาพสี (contour) และแถบสี (color bar) แสดงการเก็บข้อมูลระดับความเร็วลมที่เกิดขึ้น มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที ขณะไหลผ่านตำแหน่งผู้งานในห้อง ทั้งในแนวราบที่ระดับความสูง 0.80 เมตร จากระดับพื้นห้องตรวจซึ่งเป็นระดับการหายใจของผู้ป่วยขณะรับการรักษา เป็นระดับการทำงานของทันตแพทย์ และแนวตั้งของห้องตำแหน่งใกล้กับผู้ป่วยและทันตบุคลากร



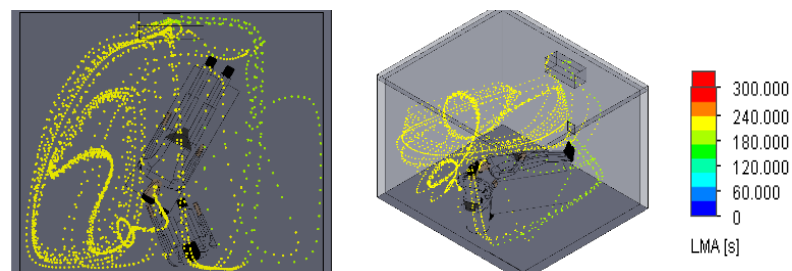
ภาพที่ 3.12 คาร์ระดับสี่ และลูกศร แสดงความเร็วลมของตำแหน่งต่างๆในห้องตรวจ

เส้นสียาวต่อเนื่อง (pipes) แสดงภาพรวมรูปแบบการไหลของอากาศว่ามีอากาศภายนอกที่เข้ามายังพื้นที่ห้องตรวจ มีการไหลในลักษณะใด ก่อนที่เชื้อโรคที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นถูกระบายออกไป และสียังแสดงถึงค่าความเร็วลมตำแหน่งต่างๆ ในรูปแบบสามมิติ



ภาพที่ 3.13 เส้นสียาวต่อเนื่อง แสดงความเร็วลมและรูปแบบการหมุนวนของอากาศในห้องตรวจ

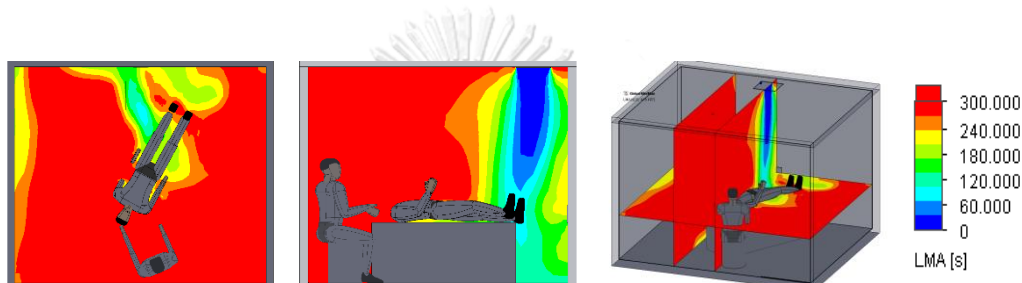
จุดอนุภาคสี่ (particle) แสดงขนาดละอองอนุภาคเชื้อโรค ขนาด 5 ไมครอน ในระดับสี่อายุอากาศที่แตกต่างกัน อนุภาคเชื้อโรคถูกปล่อยจากบริเวณปากของผู้ป่วยขณะรับการรักษาทันตกรรม และเกิดการไหลเวียนจากกระแสลมไปในทิศทางต่างๆ การเกิดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อจะพิจารณาจากการที่เชื้อโรคเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเชื้อโรคอย่างผู้ป่วยผ่านไปยังทันตบุคลากรหรือไม่ แนวทางในการเคลื่อนที่ไปตำแหน่งช่องปล่อยลมออก โดยเชื้อโรคเหล่านี้จะลอยอยู่ในอากาศซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน



ภาพที่ 3.14 อนุภาคเชื้อโรคที่ลอยตัวในอากาศ

3.6.2 ข้อมูลอายุอากาศ

เป็นการเก็บข้อมูลจากภาพสี (contour) และแถบสี (color bar) ในแนวราบที่ระดับความสูง 0.80 เมตรจากระดับพื้นห้องตรวจซึ่งเป็นระดับการหายใจของผู้ป่วยขณะรับการรักษา เป็นระดับการทำงานของแพทย์ และแนวตั้งของห้องตำแหน่งใกล้กับผู้ป่วยและทันตบุคลากร จากมาตรฐานของอัตราการระบายอากาศ ที่ 12 ACH คือ การระบายอากาศ 1 รอบในทุก 5 นาที หมายความว่า อายุอากาศไม่ควรเกิน 5 นาที หรือ 300 วินาที บริเวณที่มีอายุอากาศมากเป็นพื้นที่ที่มีการไหลผ่านของอากาศได้น้อยหรือพื้นที่ที่อับลม ส่งผลเสียต่อผู้ใช้งานอาคาร ค่าอายุอากาศที่มากจะมีค่าเข้าใกล้สีแดง หน่วยเป็นวินาที แสดงด้วยภาพสองมิติและสามมิติ



ภาพที่ 3.15 ภาพสีอายุอากาศที่เกิดขึ้นภายในห้องตรวจทันตกรรม

3.7 การสรุปผลและเสนอแนะข้อมูล

การสรุปผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ด้วยตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศแล้วนั้น ข้อมูลจะถูกสรุปผลแยกออกไปตามการจำลองสถานการณ์แต่ละส่วน ดังนี้

1. การสรุปประเด็นตำแหน่งเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมแก่การติดตั้งในห้องตรวจทันตกรรมห้องเดี่ยว และปัญหาจากการติดตั้งตำแหน่งเครื่องปรับอากาศที่ไม่เหมาะสม ลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศ รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยการติดตั้งช่องลมปล่อยออกตามมาตรฐานการระบายอากาศ และปรับเปลี่ยนพื้นที่ใช้สอยในอาคารกรณีศึกษา
2. การสรุปประเด็นการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ตำแหน่งบนผนัง และบนฝ้าเพดานที่เหมาะสม ตำแหน่งการเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยการติดตั้งช่องปล่อยลมออก และลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศ เพื่อควบคุมความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรมแก่ผู้ใช้งาน ทั้งทันตบุคลากร และผู้มารับการรักษาทันตกรรม
3. เสนอแนะแนวทางการออกแบบห้องตรวจทันตกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรมต่อไปในอนาคต

บทที่ 4

ผลการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในห้องตรวจทันตกรรม เพื่อศึกษาสถานการณ์ปัจจัยเสี่ยงของการติดเชื้อจากการใช้งานในห้องตรวจทันตกรรม จากการระบายอากาศด้วยตำแหน่งติดตั้งช่องปล่อยลมที่ใช้งานในปัจจุบัน การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยพัดลมระบายอากาศ และการจำลองตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออกเพื่อเป็นแนวทางการออกแบบตำแหน่งติดตั้งการระบายอากาศ ในห้องตรวจทันตกรรม สามารถแบ่งผลการศึกษา ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมที่ใช้งานก่อนการปรับปรุง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและประเด็นปัญหาการระบายอากาศ จากทิศทางการไหลของอากาศ (airflow direction) รูปแบบการไหลของอากาศ (airflow pattern) และอายุอากาศ (age of air)

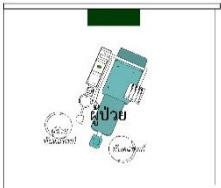
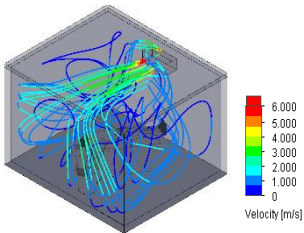
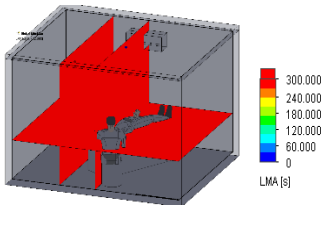
ส่วนที่ 2 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมหลังการปรับปรุง ศึกษาการระบายอากาศในปัจจุบัน ร่วมกับการใช้พัดลมระบายอากาศ เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ

ส่วนที่ 3 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมทดลองปรับปรุง ช่องปล่อยลมเข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออก ตำแหน่งต่างๆ เพื่อศึกษาทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ ในการเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการระบายอากาศ

4.1 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานก่อนการปรับปรุง

การจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยว มีเตียงตรวจกลางห้อง ตำแหน่งทันตแพทย์ และผู้ช่วยทันตแพทย์อยู่ข้างเตียง มีขนาดห้องกว้าง 3.00 เมตร ยาว 3.50 เมตร สูง 2.50 เมตร ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน 12,000 บีทียู บนผนังด้านปลายเท้ายกก่อนการปรับปรุง แบ่งการรายงานผลออกเป็น ประเด็นทิศทางการไหลและรูปแบบการไหลของอากาศ และประเด็นอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรคในอากาศดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองห้องตรวจทันตกรรมก่อนปรับปรุง ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้า

ตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ	รูปแบบการไหลของอากาศ	อายุอากาศ
A 		

4.1.1 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้า

อากาศไหลจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วยมายังทันตแพทย์ รูปแบบการไหลของอากาศบางส่วนเกิดการหมุนวนของอากาศ ทำให้อากาศที่ปนเปื้อนไปด้วยเชื้อโรคจากผู้ป่วยไหลมาสู่ทันตบุคลากร โดยไม่สามารถระบายอากาศออกจากในห้องตรวจได้ ซึ่งควรไหลจากพื้นที่สะอาดมากไปยังพื้นที่สะอาดน้อย คือจากทันตบุคลากรไปยังผู้ป่วยก่อนไหลออกสู่ภายนอก

4.1.2 อายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้า

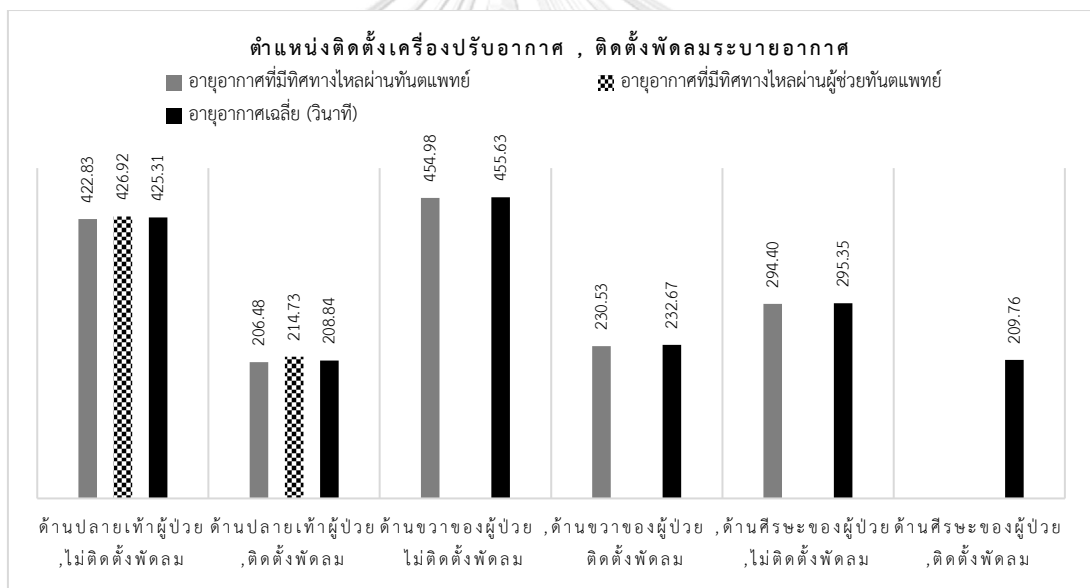
อายุอากาศที่เกิดขึ้นในห้องตรวจทันตกรรม เปรียบเทียบกับมาตรฐานอายุอากาศ 300 วินาที พบว่าอายุอากาศในห้องตรวจมากกว่า 300 วินาที ทั่วทั้งห้อง และเชื้อโรคมีการกระจายตัวในอากาศจากผู้ป่วยไปยังทันตบุคลากรทำให้มีโอกาสติดเชื้อสูง อีกทั้งอากาศที่ตกค้างในห้องเป็นระยะเวลานาน มีโอกาสให้ผู้ใช้งานภายในห้องรายอื่นได้รับเชื้อที่ตกค้างอยู่ด้วยเช่นกัน

จากปัญหาห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษา ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ รวมไปถึงอายุอากาศ ส่งผลให้มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง จึงจำลองเปลี่ยนสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านขวาของผู้ป่วยและ ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย ในห้องตรวจทันตกรรม เพื่อหาตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสม และผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ผลจากการจำลองสถานการณ์ การเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งสถานการณ์เครื่องปรับอากาศบนผนังพบว่ารูปแบบการติดตั้งที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย ด้านขวามือ และผนังด้านศีรษะผู้ป่วย มีทิศทางการไหลของอากาศจากพื้นที่ติดเชื้อมาสู่ผู้ใช้งานอย่างผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ และมีอายุอากาศเกินมาตรฐานการระบายอากาศทั่วทั้งห้องตรวจแสดงถึงความเสี่ยงต่อการติดเชื้อที่สูงมาก ยกเว้นรูปแบบการติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะผู้ป่วย ที่มีอายุอากาศไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด แต่ด้วยค่าอายุอากาศที่ใกล้จะเกินเกณฑ์มาตรฐานไปนั้น แสดงถึงการระบายอากาศที่ยังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะ

ยืนยันได้ว่าอายุอากาศจะไม่เกินจากค่ามาตรฐานที่กำหนด จึงได้จำลองสถานการณ์เพิ่มเติมโดยการติดตั้งพัดลมระบายอากาศ อ้างอิงตามงานวิจัยจากการทบทวนวรรณกรรมที่ได้ให้คำแนะนำไว้ว่า การเพิ่มพัดลมระบายอากาศจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศให้ดียิ่งขึ้น ติดตั้งด้านปลายเท้าของผู้ป่วย ซึ่งเป็นด้านเดียวที่ไม่ติดสิ่งกีดขวางในห้องกรณีศึกษา ดังภาคผนวก ก

4.2 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานหลังการปรับปรุง

ปริมาตรห้องตรวจ 26.25 ลูกบาศก์เมตร อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH ต้องการการระบายอากาศที่ 315 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พิจารณาจากอัตราการระบายอากาศตาม มอก. 710-2535 เหมาะแก่การเลือกใช้พัดลมระบายอากาศขนาด 8 นิ้ว ติดตั้งที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย ติดตั้งที่ระดับความสูงจากห้องตรวจถึงกึ่งกลางพัดลมระบายอากาศ 0.80 เมตร ซึ่งเป็นระดับความสูงเดียวกับระดับหายใจ นำข้อมูลมาจำลองผ่านโปรแกรมจำลองพลศาสตร์ของไหล



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ , ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ

4.2.1 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศร่วมกับพัดลมระบายอากาศ

ทิศทางการไหลของอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลผ่านทันตแพทย์ ในตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย และด้านขวาของผู้ป่วย และไหลผ่านผู้ช่วยทันตแพทย์ ในตำแหน่งติดตั้งเครื่องปรับอากาศด้านปลายเท้าของผู้ป่วย มีเพียงรูปแบบที่ติดเครื่องปรับอากาศบน

ผนังเหนือศีรษะผู้ป่วยที่มีทิศทางการไหลและรูปแบบการไหลของอากาศจากเครื่องปรับอากาศไปยัง พัฒนาระบายอากาศสามารถนำอากาศเสียออกสู่บริเวณห้องตรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.2 ผลแบบจำลองสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังห้องตรวจ หัตถกรรม

ตำแหน่งติดตั้ง		ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ			ความเสี่ยงในการติดเชื้อ (สูง,ต่ำ)
เครื่องปรับอากาศบนผนัง	พัฒนาระบายอากาศบนผนังปลายเท้าผู้ป่วย	ทิศทางการไหลและการไหลของเชื้อโรค	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

4.2.2 อายุอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ร่วมกับพัฒนาระบายอากาศ

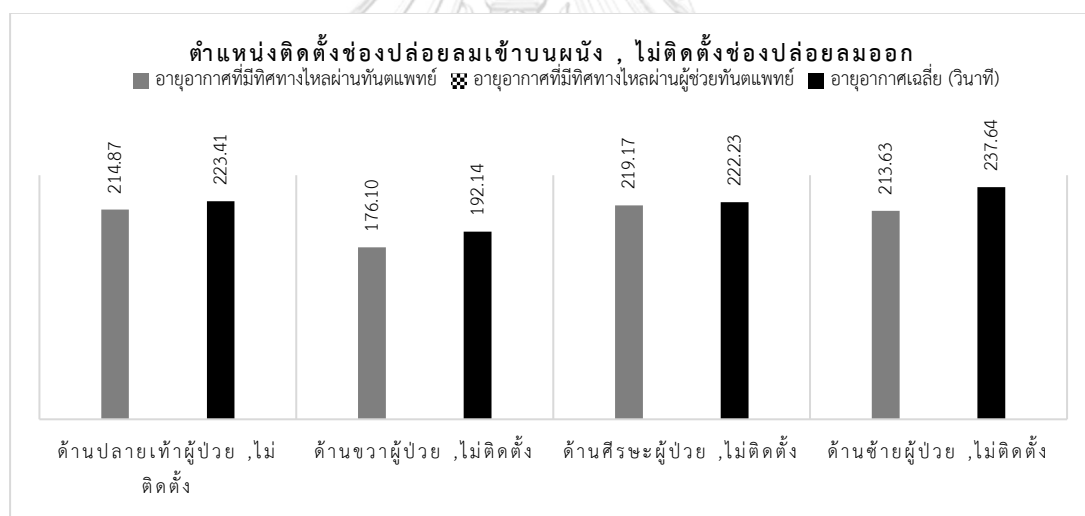
ในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศร่วมกับการติดตั้งพัฒนาระบายอากาศ ช่วยให้อายุอากาศที่ตกค้างภายในห้องลดลงอย่างเห็นได้ชัด ช่วยลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ ซึ่งเมื่อพิจารณาร่วมกับทิศทางการไหลของอากาศ จึงเสนอให้ห้องตรวจหัตถกรรมเดียว มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเหนือศีรษะผู้ป่วยและติดตั้งพัฒนาระบายอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วยจึงจะช่วยป้องกันการติดเชื้อในห้องตรวจได้ นอกเหนือจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแล้วยังมีระบบปรับอากาศ ลักษณะอื่นที่อาศัยช่องจ่ายลมเข้า ช่องจ่ายลมออก ในการระบายอากาศ ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศครอบคลุมมากยิ่งขึ้นจึงศึกษาตำแหน่งช่องจ่ายลมเข้า ช่องจ่ายลมออก บนผนังแต่ละด้านของห้องตรวจ ดังภาคผนวก ข

4.3 ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมทดลองปรับปรุง ช่องปล่อยลมเข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออก

จำลองสถานการณ์ช่องปล่อยลมเข้าจากการคำนวณ ขนาด 0.40 x 0.40 เมตร ที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH ช่องปล่อยลมเข้ามีความเร็วลม 0.70 เมตรต่อวินาที ที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH ช่องปล่อยลมเข้ามีความเร็วลม 0.34 เมตรต่อวินาที และช่องปล่อยลมออกจากการคำนวณ ขนาด 0.20 x 0.20 เมตร ช่องปล่อยลมออกมีความเร็วลม 3.40 เมตรต่อวินาที

4.3.1 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนผนัง

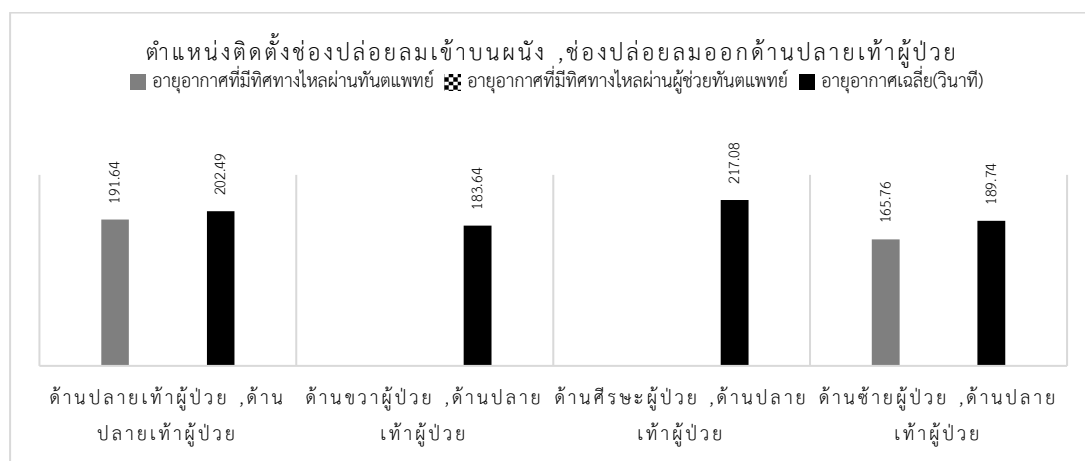
4.3.1.1 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมบนผนัง โดยไม่ติดตั้งช่องปล่อยลมออก เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการรักษาทางทันตกรรมได้สูง จึงไม่แนะนำให้ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 4.2 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง, ไม่ติดตั้งช่องปล่อยลมออก

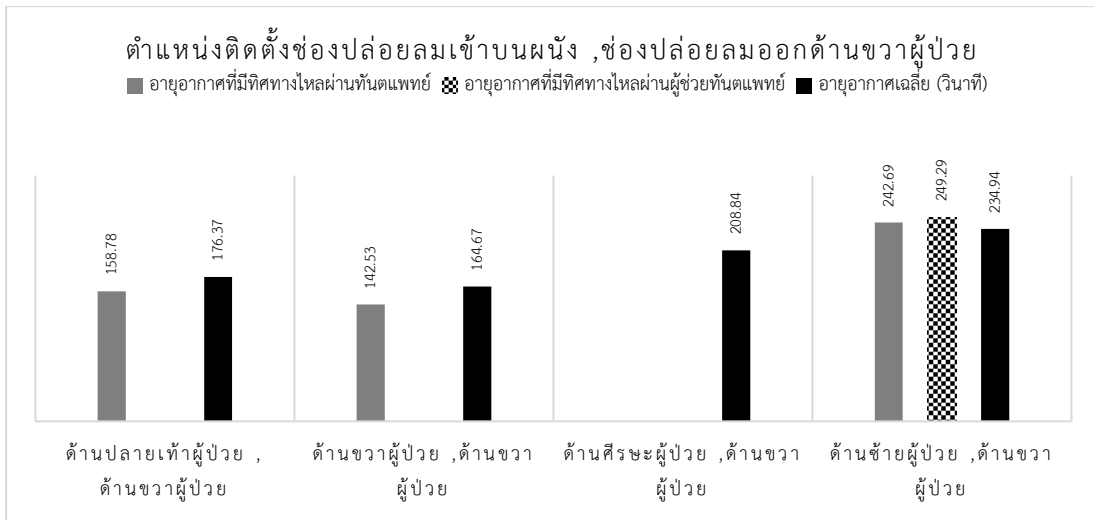
4.3.1.2 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมบนผนัง โดยติดตั้งช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ เมื่อติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้านปลายเท้าผู้ป่วยและด้านซ้ายของผู้ป่วย ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการรักษาทางทันตกรรมได้สูง แต่เมื่อติดตั้ง

ช่องปล่อยลมเข้าด้านขวาและด้านศีรษะของผู้ป่วย พบว่าทิศทางการไหลของอากาศไหลจากส่วน
 สะอาดมากไปยังสะอาดน้อย คือไหลจากทันตบุคลากรไปยังผู้ป่วยก่อนไหลออกสู่ภายนอก



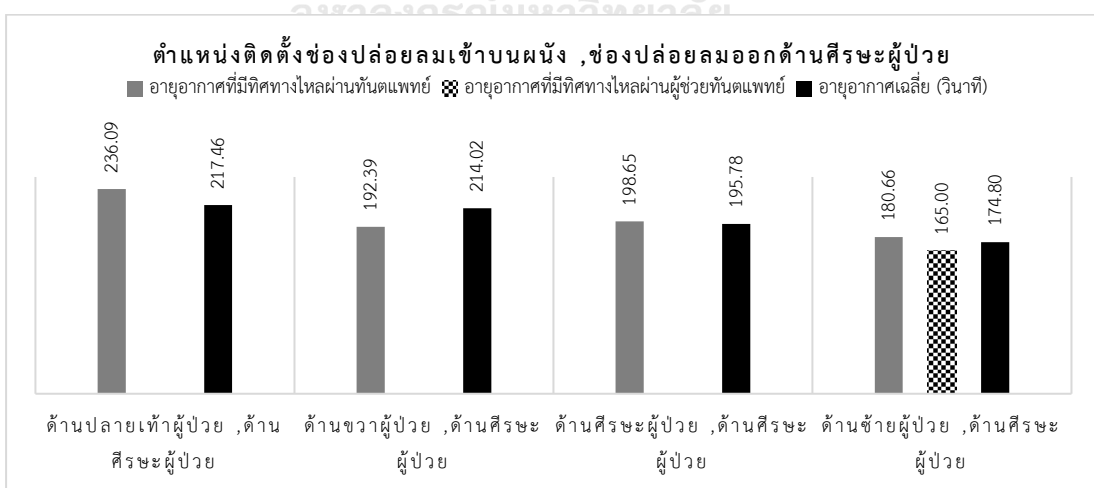
ภาพที่ 4.3 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยใน
 แบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย

4.3.1.3 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมบนผนัง โดยติดตั้งช่องปล่อยลม
 ออกด้านขวาผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรค
 ไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ เมื่อติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้านปลายเท้าผู้ป่วย ด้านขวาของผู้ป่วย
 และด้านซ้ายของผู้ป่วย ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการหัตถการทางทันตกรรมได้สูง
 โดยเฉพาะการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้านซ้ายของผู้ป่วยนอกจากอากาศจะไหลวนผ่านทันตแพทย์แล้ว
 ยังเกิดความแปรปรวน มีการไหลวนผ่านผู้ช่วยทันตแพทย์ด้วย แต่เมื่อติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้าน
 ศีรษะของผู้ป่วย พบว่าทิศทางการไหลของอากาศไหลจากส่วนสะอาดมากไปยังสะอาดน้อย คือไหล
 จากทันตบุคลากรไปยังผู้ป่วยก่อนไหลออกสู่ภายนอก จึงลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อลงไปได้



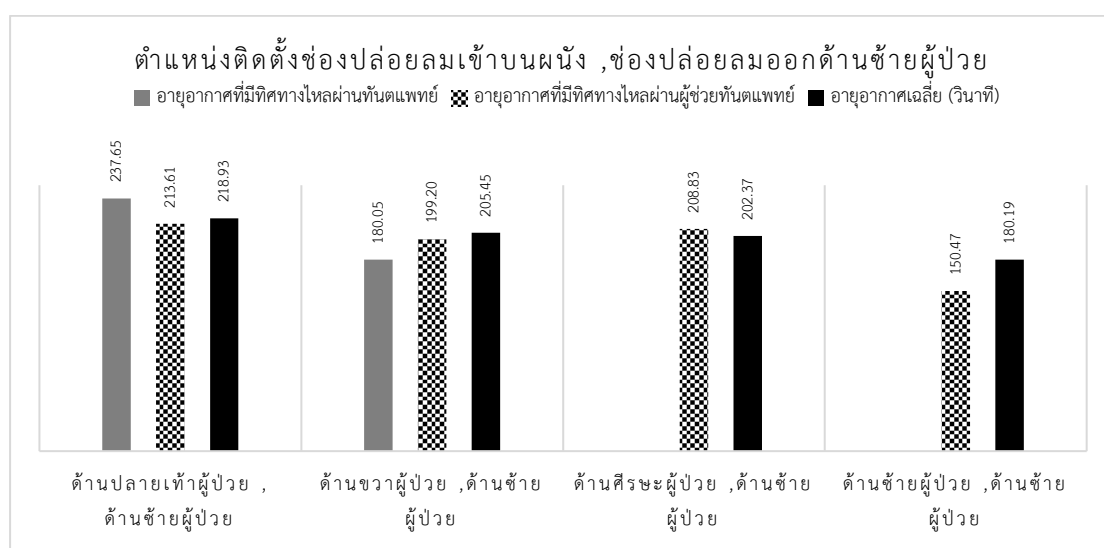
ภาพที่ 4.4 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านหน้าต่างบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านขวาผู้ป่วย

4.3.1.4 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมบนผนัง โดยติดตั้งช่องปล่อยลมออกด้านศีรษะผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าทุกสถานการณ์ที่มีช่องปล่อยลมออกด้านศีรษะของผู้ป่วย มีผลทำให้อากาศที่มีการปนเปื้อนของละอองเชื้อโรค ไหลออกผ่านหน้าต่างทั้งสิ้น และเมื่อติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้านซ้ายของผู้ป่วย อากาศมีการไหลวนผ่านผู้ช่วยหน้าต่างด้วย ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการรักษาทางทันตกรรมได้สูง จึงไม่ควรติดตั้งช่องปล่อยลมออก ด้านเดียวกับตำแหน่งหน้าต่าง



ภาพที่ 4.5 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านหน้าต่างบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านศีรษะผู้ป่วย

4.3.1.5 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมบนผนัง โดยติดตั้งช่องปล่อยลมออกด้านซ้ายผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าทุกสถานการณ์ที่มีช่องปล่อยลมออกด้านซ้ายของผู้ป่วย มีผลทำให้อากาศที่มีการปนเปื้อนของละอองเชื้อโรค ไหลออกผ่านผู้ช่วยทันตแพทย์ทั้งสิ้น และเมื่อติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าด้านปลายเท้า และด้านขวาของผู้ป่วย มีผลให้อากาศมีการไหลวนผ่านทันตแพทย์ด้วย ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการรักษาทางทันตกรรมได้สูง จึงไม่ควรติดตั้งช่องปล่อยลมออก ด้านเดียวกับตำแหน่งผู้ช่วยทันตแพทย์



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉื่อยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนัง , ช่องปล่อยลมออกด้านซ้ายผู้ป่วย

4.3.2 อายุอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนผนัง

อายุอากาศเปรียบเทียบกับอัตราการระบายอากาศที่ 12 ACH มีมาตรฐานอายุอากาศที่ 300 วินาที ไม่เกินมาตรฐานทุกสถานการณ์ แต่การติดตั้งช่องปล่อยลมออกด้านที่เหมาะสมจะช่วยให้อายุอากาศที่ตกค้างภายในห้องลดลงได้ ในบางสถานการณ์อายุอากาศไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน แต่มีทิศทางการไหลของอากาศที่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรคผ่านไปยังทันตบุคลากรโดยตรง หรือไหลออกทางช่องปล่อยลมออกไม่หมด ก็อาจมีโอกาสนำมาซึ่งทันตบุคลากรอีกครั้งได้ ดังนั้นการเลือกตำแหน่งติดตั้งช่องปล่อยลมจึงควรดูทั้งสองปัจจัย คือ ปัจจัยทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศและปัจจัยอายุอากาศประกอบกัน

สำหรับสถานการณ์ที่มีทิศทางการไหลของอากาศที่มีความเสี่ยงต่อผู้ใช้งานตำแหน่งจำลองสถานการณ์อัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่ 6 ACH อายุอากาศยังไม่เกินมาตรฐานที่ 600 วินาที และทิศ

ทางการไหลของอากาศบางส่วนเมื่อมีความเร็วลมช่องปล่อยลมเข้าลดลง อากาศอาจมีการไหลวน กลับมายังต้นตบบุคลากรอีกครั้งหากช่องปล่อยลมออกไม่สามารถดูดกลับออกไปได้หมด โดยอายุ อากาศจะมีค่าสูงบริเวณเหนือระดับทำงานของต้นตบบุคลากรขึ้นไป ดังภาคผนวก ค และตารางที่ 4.3

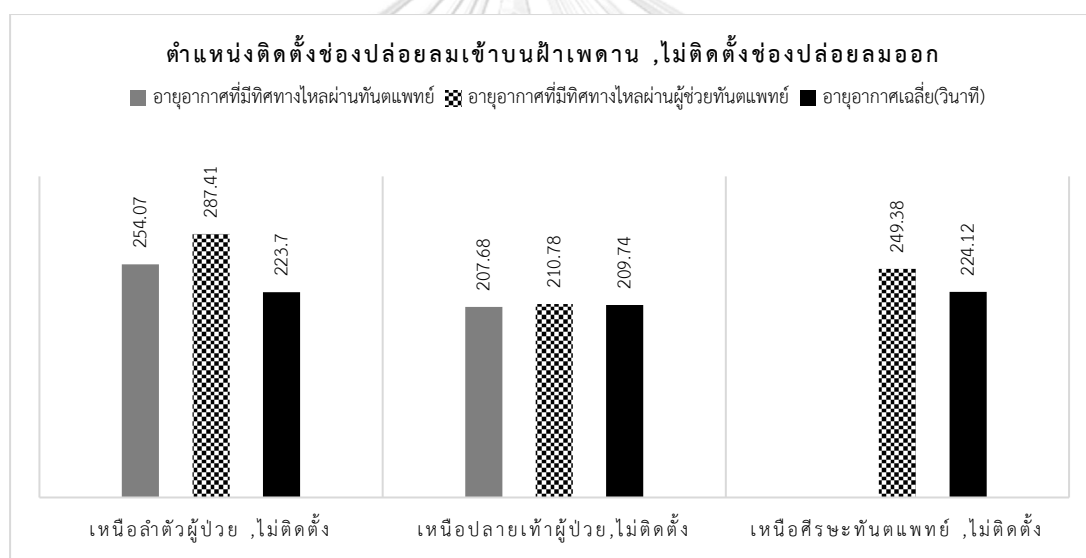
ตารางที่ 4.3 ผลแบบจำลองสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก บนผนัง

ตำแหน่งติดตั้ง		ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ				ความเสี่ยงในการติดเชื้อ (สูง,ต่ำ)
ช่องปล่อยลมเข้า	ช่องปล่อยลมออก	ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศและเชื้อโรค	อายุอากาศ (วินาที)		อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)	
			สูงสุด	เฉลี่ย		
ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านต้นตบบุคลากร	251.35	223.41	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	230.41	202.49	12	สูง
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	197.74	176.37	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	236.09	217.46	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	248.86	218.93	12	สูง
ด้านขวาผู้ป่วย (ผนัง B)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านต้นตบบุคลากร	218.67	192.14	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ไม่ผ่านต้นตบบุคลากร	213.87	183.64	12	ต่ำ
		ไม่ผ่านต้นตบบุคลากร	210.86	199.14	6	ต่ำ
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	203.19	164.67	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	250.02	214.02	12	สูง
ด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านต้นตบบุคลากร	237.77	222.23	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ไม่ผ่านต้นตบบุคลากร	223.55	217.08	12	ต่ำ
		ไม่ผ่านต้นตบบุคลากร	227.78	205.02	6	ต่ำ
	ด้านขวาผู้ป่วย	ไม่ผ่านต้นตบบุคลากร	241.89	208.84	12	ต่ำ
		ไม่ผ่านต้นตบบุคลากร	166.42	154.56	6	ต่ำ
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	213.13	195.78	12	สูง
ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	223.15	202.37	12	สูง	
ด้านซ้ายผู้ป่วย (ผนัง D)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านต้นตบบุคลากร	279.01	237.64	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	222.44	189.74	12	สูง
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	277.49	234.94	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	201.65	174.80	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านต้นตบบุคลากร	206.97	180.19	12	สูง

นอกเหนือจากช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังแล้วจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ารูปแบบช่องปล่อยลมที่ฝ้าเพดาน ถูกนำมาใช้กับห้องแยกโรคผู้ป่วยติดเชื้อและห้องผ่าตัดในการควบคุมการติดเชื้อ จึงจำลองสถานการณ์การติดตั้งช่องปล่อยลมที่ฝ้าเพดานเพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นภายในห้องตรวจทันตกรรม ได้ผลดังต่อไปนี้

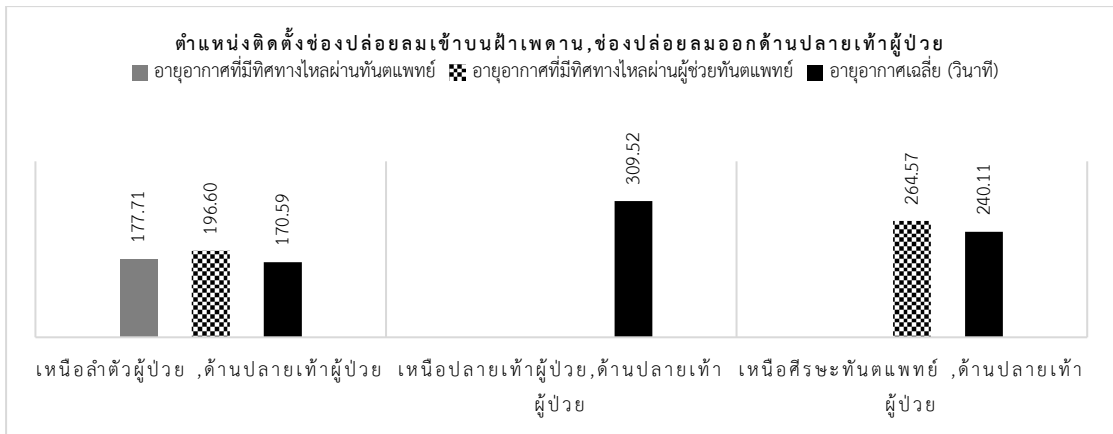
4.3.3 ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนฝ้าเพดาน

4.3.3.1 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน โดยไม่ติดตั้งช่องปล่อยลมออก เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ และผู้ช่วยทันตแพทย์ ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการรักษาทางทันตกรรมได้สูง จึงไม่แนะนำให้ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าเพียงอย่างเดียว



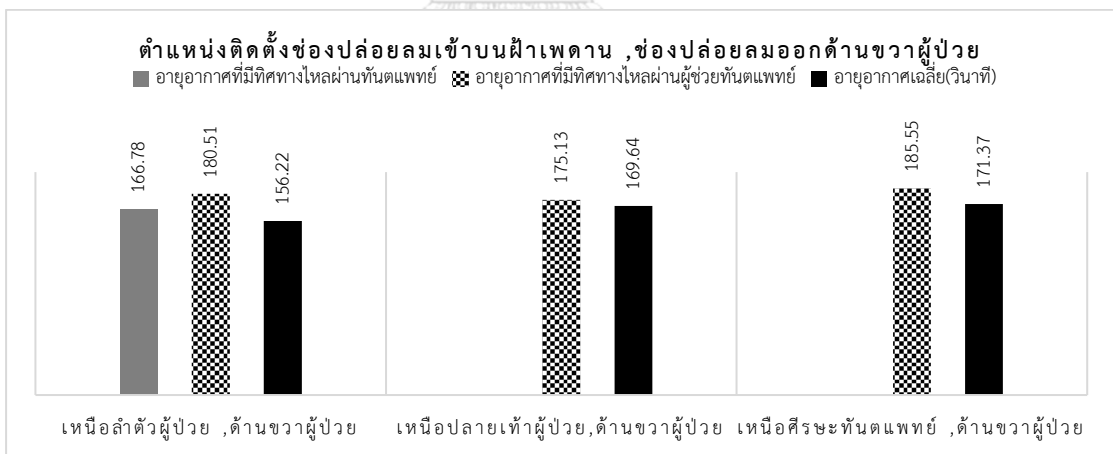
ภาพที่ 4.7 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในรูปแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ไม่ติดตั้งช่องปล่อยลมออก

4.3.3.2 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน และช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ และผู้ช่วยทันตแพทย์ ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการรักษาทางทันตกรรมได้ ยกเว้นสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าเหนือปลายเท้าผู้ป่วย ไม่มีอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรโดยตรง แต่มีอายุอากาศเกินมาตรฐาน



ภาพที่ 4.8 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน, ช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย

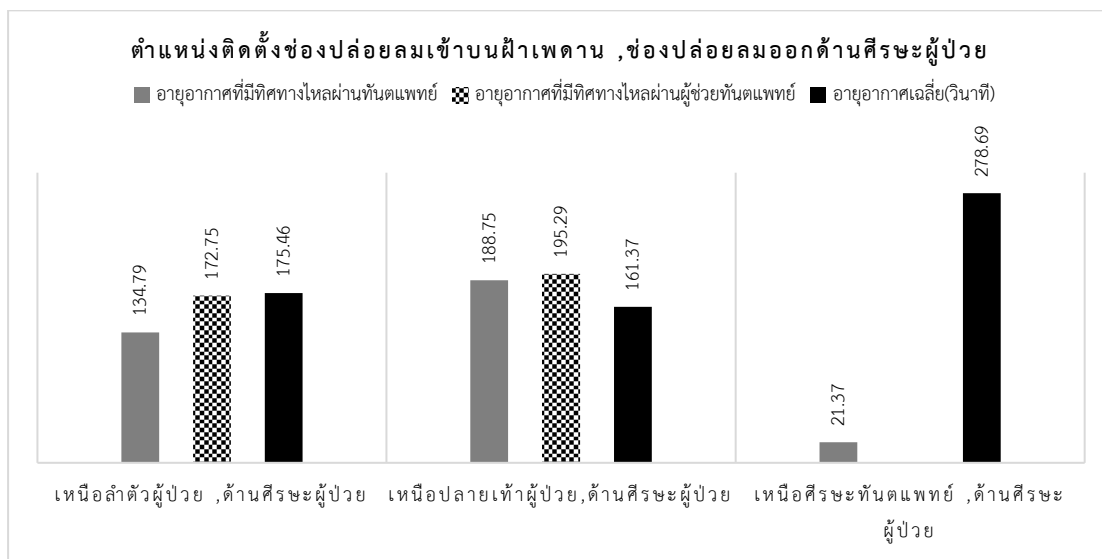
4.3.3.3 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน และช่องปล่อยลมออกด้านขวาผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ และผู้ช่วยทันตแพทย์ ทำให้ทันตบุคลากรมีโอกาสติดเชื้อระหว่างการทำการหัตถการทางทันตกรรมได้ ถึงแม้อายุอากาศจะไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดก็ตาม



ภาพที่ 4.9 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน, ช่องปล่อยลมออกด้านขวาผู้ป่วย

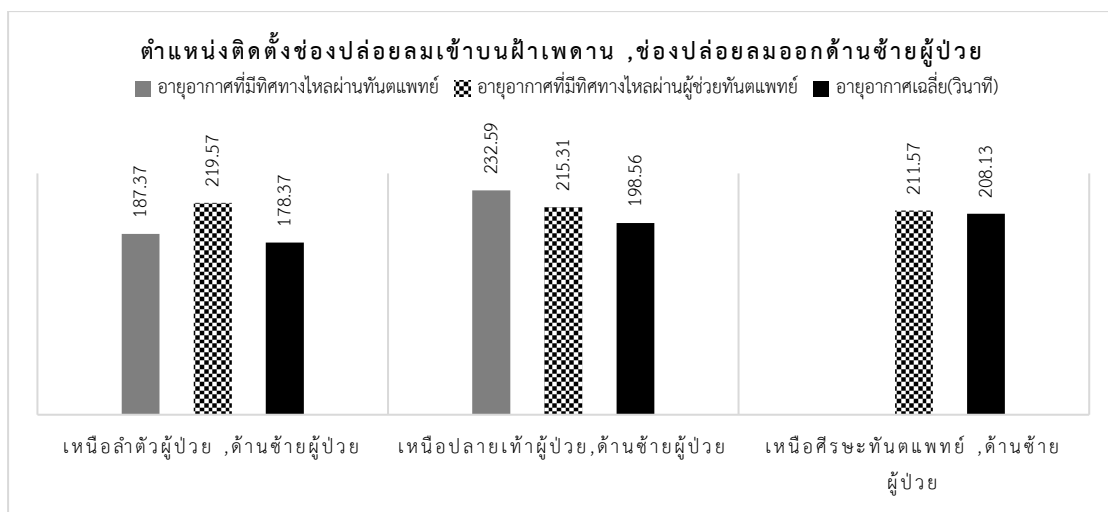
4.3.3.4 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน และช่องปล่อยลมออกด้านศีรษะผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ และผู้ช่วยทันตแพทย์ โดยเชื้อโรคถูกทำให้ไหลไปสู่ช่อง

ปล่อยลมออกที่อยู่หลังทันตแพทย์ จึงมีโอกาที่ทันตแพทย์จะติดเชื้อระหว่างการทำการทำหัตถการทางทันตกรรมได้สูง ถึงแม้อายุอากาศจะไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดก็ตาม ดังนั้นจึงไม่ควรติดช่องปล่อยลมออกในด้านเดียวกับทันตแพทย์



ภาพที่ 4.10 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ช่องปล่อยลมออกด้านศีรษะผู้ป่วย

4.3.3.5 ทิศทางการไหลของอากาศจากช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน และช่องปล่อยลมออกด้านซ้ายผู้ป่วย เมื่อพิจารณาในแนวราบระดับหายใจและแนวตั้ง พบว่าอากาศที่มีละอองเชื้อโรคไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์ และผู้ช่วยทันตแพทย์ โดยเชื้อโรคไหลไปสู่ช่องปล่อยลมออกหลังผู้ช่วยทันตแพทย์ จึงมีโอกาที่ผู้ช่วยทันตแพทย์จะติดเชื้อระหว่างการทำการทำหัตถการทางทันตกรรมได้สูง ถึงแม้อายุอากาศจะไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดก็ตาม ดังนั้นจึงไม่ควรติดช่องปล่อยลมออกในด้านเดียวกับผู้ช่วยทันตแพทย์



ภาพที่ 4.11 แผนภูมิอายุอากาศเมื่ออากาศที่มีเชื้อโรคไหลผ่านทันตบุคลากรและอายุอากาศเฉลี่ยในแบบจำลองการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน , ช่องปล่อยลมออกด้านซ้ายผู้ป่วย

4.3.4 อายุอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมบนฝ้าเพดาน

อายุอากาศมีค่าสูงเกินมาตรฐานมากเมื่อช่องปล่อยลมเข้าติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กับช่องปล่อยลมออก ทำให้อากาศไม่สามารถไปหมุนเวียนให้ทั่วถึงทั้งห้องตรวจได้ โดยบริเวณที่อายุอากาศสูงมักพบอยู่มุมห้องในระดับหายใจ เป็นผลให้ทันตบุคลากรมีความเสี่ยงในการติดเชื้อสูง และเมื่อพิจารณาร่วมกับทิศทางการไหลของอากาศแล้ว กลับมีทิศทางการไหลไปยังทันตบุคลากรทั้งทางตรงและทางอ้อมด้วยเช่นกัน ดังนั้นการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานจึงไม่เหมาะสมในการติดตั้งที่ห้องตรวจทันกรรม ดังภาคผนวก ค และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลแบบจำลองสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน ช่องปล่อยลมออกบนผนัง

ตำแหน่งติดตั้ง		ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ				ความเสี่ยง
ช่องปล่อยลมเข้า	ช่องปล่อยลมออก	ทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศที่มีเชื้อโรค	อายุอากาศ (วินาที)		อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ (ACH)	ในการติดเชื้อ (สูง,ต่ำ)
			สูงสุด	เฉลี่ย		
เหนือ ลำตัว ผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	287.41	223.70	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	223.87	170.59	12	สูง
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	222.22	156.22	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	284.18	175.46	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	229.76	178.37	12	สูง
เหนือ ปลายเท้า ผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	246.06	209.74	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ไม่ผ่านทันตบุคลากร	372.08	309.52	12	สูง
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	213.02	169.64	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	195.29	161.37	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	246.19	198.56	12	สูง
เหนือ ศีรษะ ทันต แพทย์ (ฝ้าเพดาน G)	ไม่ติดตั้ง	ผ่านทันตบุคลากร	285.51	224.12	12	สูง
	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	321.56	240.11	12	สูง
	ด้านขวาผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	204.62	171.37	12	สูง
	ด้านศีรษะผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	404.66	278.69	12	สูง
	ด้านซ้ายผู้ป่วย	ผ่านทันตบุคลากร	275.63	208.13	12	สูง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะแนวทางการออกแบบ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศของห้องตรวจทันตกรรมที่มีความเสี่ยงในการติดเชื้อ ด้วยการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ จากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ โดยพิจารณาทิศทางการไหลของอากาศที่มีเชื้อโรคในรูปของละอองเสมหะ จากเครื่องมือในการทำหัตถการทางทันตกรรมและผู้ป่วย โดยเฉพาะผู้ป่วยที่เป็นโรคติดเชื้อร้ายแรง การระบายอากาศที่ไม่มีประสิทธิภาพจะทำให้อายุอากาศตกค้างนานเกินมาตรฐานการควบคุมการติดเชื้อ ทำให้มีโอกาสแพร่เชื้อไปสู่ทันตแพทย์ ผู้ช่วยทันตแพทย์ และผู้ป่วยคนอื่นๆ ได้ ดังนั้นเพื่อให้การระบายอากาศได้รับการตรวจประเมิน และเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรมที่มีการใช้การระบายอากาศแบบวิธีกล จึงศึกษาปัจจัยตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ ทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ ภายใต้มาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH จากการจำลองสถานการณ์สามารถแบ่งการสรุปผลออกเป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การศึกษาการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดี่ยว เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ

ส่วนที่ 2 การศึกษาการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดี่ยว หลังการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ และการขยายผลการประเมินเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ

ส่วนที่ 3 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม และเสนอแนะแนวทางการควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม

ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ

5.1 การศึกษาการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดี่ยวกรณีศึกษา เพื่อประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ

ห้องตรวจทันตกรรมกรณีศึกษา มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ด้านปลายเท้าผู้ป่วย มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคสูงมาก เนื่องจากมีทิศทางการไหลของอากาศจากผู้ป่วยซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดเชื้อโรคไปสู่ทันตแพทย์ และรูปแบบการไหลของอากาศ เกิดความแปรปรวน ไม่สามารถระบายออกจากห้องตรวจได้ ส่งผลให้อายุอากาศ ในระดับหายใจของผู้ป่วยและทันตบุคลากร สูงเกินมาตรฐานมาก อากาศมีการไหลออกทางช่องว่างของประตูกับวัสดุพื้น ซึ่งไม่เป็นผลดีกับคลินิกทันตกรรมเพราะมีโอกาสแพร่เชื้อไปยังบริเวณอื่นของคลินิกได้ เป็นปัญหาที่ควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างยิ่ง จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ ด้วยสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ด้านขวาของผู้ป่วยและด้านศีรษะของผู้ป่วย เพื่อหาตำแหน่งที่มีความเหมาะสม ผลปรากฏว่าสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ด้านขวาของผู้ป่วย มีทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศ ไม่ผ่านมาตรฐานการระบายอากาศ ส่วนสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศด้านศีรษะของผู้ป่วย แม้จะมีอายุอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐานการระบายอากาศ แต่มีทิศทางการไหลของอากาศจากผู้ป่วยไปยังทันตบุคลากร จึงสรุปได้ว่าสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพียงอย่างเดียว ไม่มีประสิทธิภาพการระบายอากาศเพียงพอต่อการควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม

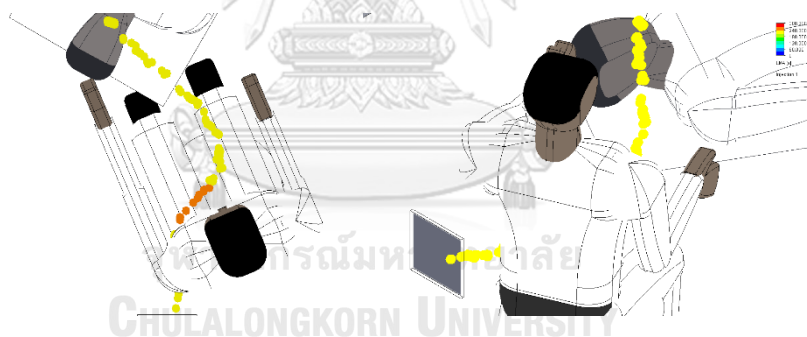
5.2 การศึกษาการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม ห้องเดี่ยว หลังการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศและการขยายผลการประเมิน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ

จากการประเมินประสิทธิภาพการระบายอากาศ ได้มีการเพิ่มพัดลมระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรมที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย ซึ่งเป็นด้านเดียวที่ไม่ติดสิ่งกีดขวางภายในห้องตรวจ ผลการจำลองสถานการณ์พบว่า การติดตั้งพัดลมระบายอากาศช่วยลดอายุอากาศลงได้ และทำให้รูปแบบการไหลของอากาศจากเครื่องปรับอากาศสามารถไหลออกสู่ภายนอกทางปลายเท้าผู้ป่วยได้ แต่ทิศทางการไหลของอากาศกลับมีเพียงสถานการณ์ที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศด้านศีรษะร่วมกับการติดตั้งพัดลมระบายอากาศเท่านั้น ที่ลดความเสี่ยงการติดเชื้อได้ ซึ่งมีทิศทางการไหลของอากาศจากเครื่องปรับอากาศผ่านทันตแพทย์ ไปยังผู้ป่วยก่อนไหลออกสู่ภายนอกอาคาร จึงเสนอให้ใช้เครื่องปรับอากาศติดตั้งที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย ร่วมกับพัดลมระบายอากาศติดตั้งบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศ

สำหรับตัวชี้วัดประสิทธิภาพการระบายอากาศ ประเด็นรูปแบบการไหลของอากาศ จะมีความสัมพันธ์กับอายุอากาศ เมื่อรูปแบบการไหลของอากาศที่มีความแปรปรวนน้อยไหลจาก

เครื่องปรับอากาศผ่านแหล่งกำเนิดเชื้อโรค แล้วไหลออกไปทางพัดลมระบายอากาศได้ จะช่วยลดอายุอากาศภายในห้องลงได้มาก แต่หากไม่สามารถไหลออกไปได้ จนเกิดการกระทบกับเฟอร์นิเจอร์ หรือผนังห้องจะทำให้อากาศเกิดความแปรปรวน และไหลวนก่อให้เกิดความเสี่ยงในการติดเชื้อโรคได้

นอกจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแล้วยังมีการใช้ระบบปรับอากาศแบบท่อลมที่มีหน้าากช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก ตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมนี้จะส่งผลต่อความสวยงาม ความเหมาะสมกับรูปแบบการตกแต่งภายใน และความถูกต้องทางวิศวกรรม ซึ่งในการจำลองสถานการณ์สรุปได้ว่า การติดตั้งช่องปล่อยลมบนผนังเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีช่องปล่อยลมออกก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคได้สูง เนื่องจากมีทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่การเพิ่มช่องปล่อยลมออกจะช่วยลดอายุอากาศลงได้มาก ซึ่งการติดตั้งช่องปล่อยลมออกไม่ควรอยู่ด้านเดียวกับตำแหน่งผู้ใช้งานภายในห้อง โดยเฉพาะช่องปล่อยลมออกไม่ควรอยู่ด้านศีรษะของผู้ป่วยเพราะเป็นด้านที่จะดึงอากาศเสียภายในห้องทั้งหมดผ่านไปยังทันตแพทย์ที่ทำการรักษาอยู่ ถึงแม้จะเป็นวิธีที่ได้รับการแนะนำให้ติดตั้งในห้องพักผู้ป่วยติดเชื้อที่ให้ช่องปล่อยลมออกอยู่ใกล้กับศีรษะของผู้ป่วยให้มากที่สุดก็ตาม แต่ห้องตรวจทันตกรรมถือเป็นข้อยกเว้น



ภาพที่ 5.1 อากาศไหลไปสู่ช่องลมปล่อยออกโดยไหลผ่านจากผู้ป่วยไปยังทันตแพทย์

5.3 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการระบายอากาศในห้องตรวจทันตกรรม และการเสนอแนะแนวทางการควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม

การควบคุมการติดเชื้อเน้นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนและเชื้อโรคออกจากบริเวณที่อยู่ในระดับหายใจของผู้ใช้งาน ด้วยตำแหน่งช่องปล่อยลมถือเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุอากาศในห้องตรวจ โดยแบ่งเป็นปัจจัยต่างๆ ดังนี้

5.3.1 ปัจจัยด้านตำแหน่งการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ และพัดลมระบายอากาศ

การพิจารณาดำเนินการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เป็นการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ และการเพิ่มพัดลมระบายอากาศเป็นการลดอายุอากาศที่ตกค้างในห้องตรวจทันตกรรม โดยควรติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้ทิศทางการไหลจากพื้นที่สะอาดมากไปยังพื้นที่สะอาดน้อย คือ ติดตั้งบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย และติดตั้งพัดลมระบายอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วย เพื่อให้รูปแบบการไหลของอากาศออกสู่ภายนอกได้ ตามหลักการทิศทางการไหลของอากาศ

5.3.2 ปัจจัยด้านตำแหน่งการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า และติดตั้งช่องปล่อยลมออก

การพิจารณาดำเนินการติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า และช่องปล่อยลมออกเป็นการควบคุมการติดเชื้อโดยขนาดของช่องปล่อยลม และความเร็วลมจุดจ่ายลมเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณทางวิศวกรรม เพื่อควบคุมให้มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 6 ACH หรือ 12 ACH ตามมาตรฐานที่กำหนด โดยค่าความเร็วลมที่ตำแหน่งผู้ใช้งาน ดังภาพที่ 5.2 ไม่ควรมีค่าสูงเพราะจะทำให้เกิดการรบกวนผู้ใช้งานได้ ซึ่งการจำลองสถานการณ์พบว่าตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้าภายในห้อง ระยะการจ่ายลม ความเร็วลมแรกเริ่มจะค่อยๆ ลดลงตามความดันที่ลดลงของอากาศไปยังตำแหน่งผู้ใช้งานในห้องตรวจ เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนผู้ใช้งานภายในห้อง



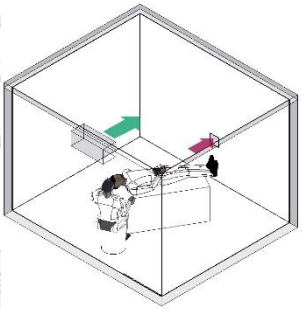
ภาพที่ 5.2 ตำแหน่งผู้ใช้งานในห้องตรวจทันตกรรม

การจำลองสถานการณ์ตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้าที่เหมาะสม ควรติดตั้งที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย และควรระบายอากาศออกสู่ภายนอกอาคาร ในทิศทางการไหลของอากาศจากผู้ป่วยไม่ให้ผ่านทันตบุคลากร เพื่อไม่ให้เชื้อโรคไหลผ่านทันตแพทย์และผู้ช่วยทันตแพทย์ คือ การให้ช่องปล่อยลมออกอยู่ด้านปลายเท้าผู้ป่วย หรือด้านขวาของผู้ป่วยจึงจะเหมาะสม และส่งผลให้ตำแหน่งติดตั้งอ่างล้างมือในห้องตรวจทันตกรรม สามารถติดตั้งได้ที่ตำแหน่งผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย และด้านซ้ายมือของผู้ป่วย ซึ่งจะไม่ขวางทางการระบายอากาศเช่นกัน

5.3.3 การเสนอแนะแนวทางการควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม

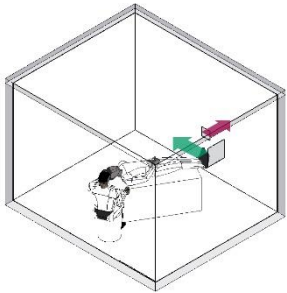
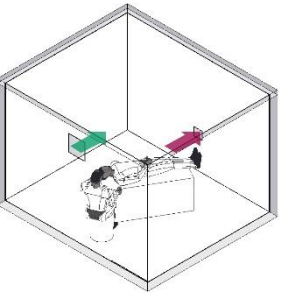
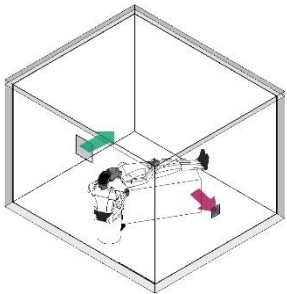
การควบคุมการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม มีข้อจำกัด และคำแนะนำแต่ละสถานการณ์ แตกต่างกันไป ซึ่งจากการจำลองสถานการณ์ที่แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัย ลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ สามารถเลือกตำแหน่งติดตั้ง เครื่องปรับอากาศ พัดลมระบายอากาศ ช่อง ปล่อยลมเข้า และช่องปล่อยลมออกที่เหมาะสมในห้องตรวจทันตกรรม ดังตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 แนวทางการเลือกติดตั้ง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังห้องตรวจทันตกรรม

ตำแหน่งติดตั้ง		แบบจำลองการติดตั้ง	แนวทางการควบคุมการติดเชื้อ
เครื่องปรับอากาศบนผนัง	พัดลมระบายอากาศบนผนัง ปลายเท้าผู้ป่วย		
ด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C)	ติดตั้ง		ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนร่วมกับพัดลมระบายอากาศ ให้ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนไว้บนผนังด้านศีรษะผู้ป่วย ร่วมกับพัดลมระบายอากาศบนผนัง ด้านปลายเท้าของผู้ป่วย

การติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพียงอย่างเดียว ไม่ก่อให้เกิดการระบายอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ และมีทิศทางการไหลของอากาศที่ไหลจากผู้ป่วยไปสู่ทันตบุคลากร แต่เมื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศด้านปลายเท้าผู้ป่วย นอกจากจะช่วยให้ทิศทางการไหลของอากาศไม่ไหลผ่านทันตบุคลากร ยังช่วยให้อายุอากาศลดลงอีกด้วย

ตารางที่ 5.2 แนวทางการเลือกติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก บนผนังห้องตรวจทันตกรรม

ตำแหน่งติดตั้ง		แบบจำลองการติดตั้ง	แนวทางการควบคุมการติดตั้ง
ช่องปล่อยลมเข้า	ช่องปล่อยลมออก		
ด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)		ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านขวาของผู้ป่วย ให้ติดตั้งช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย
ด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)	ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)		ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย ให้ติดตั้งช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าผู้ป่วย
ด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)	ด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)		ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย ให้ติดตั้งช่องปล่อยลมออกด้านขวาของผู้ป่วย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ไม่แนะนำให้ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย ไม่ว่าจะมีการติดตั้งช่องปล่อยลมออก หรือไม่ก็ตาม เพราะจะทำให้อากาศไหลจากผู้ป่วยไปยังทันตบุคลากร ไม่แนะนำให้ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าอยู่ด้านเดียวกันกับช่องปล่อยลมออก เพราะจะทำให้อากาศถูกดูดกลับออกก่อนที่จะหมุนเวียนภายในห้องอย่างทั่วถึง และไม่แนะนำให้ติดตั้งช่องปล่อยลมออกด้านเดียวกับที่มีผู้ใช้งานอย่างทันตแพทย์และผู้ช่วยทันตแพทย์ทำงานอยู่ เพราะจะดูดอากาศที่มีสิ่งปนเปื้อนเชื้อโรคผ่านทันตบุคลากรเหล่านั้นก่อนออกสู่ช่องปล่อยลมออกไปด้วย และไม่แนะนำให้ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าบนฝ้าเพดาน ไม่ว่าจะติดตั้งช่องปล่อยลมออกที่ผนัง หรือไม่ก็ตาม เพราะจากแบบจำลองสถานการณ์ ทิศทางการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ และอายุ

อากาศ มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคของผู้ใช้งานสูง นอกเหนือจากการพิจารณาตำแหน่งการติดตั้ง ช่องปล่อยลมแล้ว ในการบริหารจัดการด้านนโยบาย ด้วยการจำแนกผู้ป่วยที่สงสัยว่าเป็นโรคติดเชื้อ ออกเบื้องต้นจะเป็นการช่วยคัดกรองผู้ป่วยลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อแก่ทันตบุคลากรอีกทางหนึ่ง

5.4 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาและการประยุกต์ใช้งานจริงเพื่อให้เกิดประโยชน์ มีคำแนะนำ ดังต่อไปนี้

5.4.1 การพิจารณาสถานการณ์การไหลของอากาศมีงานวิจัยที่ประเมินทิศทางการไหลของอากาศอยู่น้อย และการแสดงผลการไหลของอากาศเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เพราะอากาศมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องอาศัยภาพจำลองสถานการณ์ ดังนั้นการจำลองให้เห็นภาพจึงเป็นวิธีการหนึ่งในการเลือกแสดงผล โดยจำเป็นต้องพิจารณาทั้ง 2 ระนาบคือ แนวราบ และแนวตั้ง ในรูปแบบ 3 มิติ เพราะการพิจารณาในแนวราบอาจพบว่าทิศทางการไหลของอากาศ หรืออายุอากาศผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ในแนวตั้งทิศทางการไหลของอากาศ หรืออายุอากาศอาจไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานก็เป็นได้

5.4.2 อายุอากาศมีความสัมพันธ์กับอัตราแลกเปลี่ยนอากาศ โดยอัตราแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH หมายความว่า อากาศมีการแลกเปลี่ยน 12 รอบใน 60 นาที อายุอากาศจึงไม่ควรตกค้างเกิน 5 นาที หรือ 300 วินาที แต่อายุอากาศไม่จำเป็นต้องสัมพันธ์กับทิศทางการไหลของอากาศ เพราะในแบบจำลองบางสถานการณ์ อายุอากาศไม่เกิน 300 วินาที แต่กลับมีทิศทางการไหลของอากาศจากแหล่งกำเนิดเชื้อโรคไหลผ่านไปยังทันตบุคลากร ทั้งทันตแพทย์ และผู้ช่วยทันตแพทย์ จึงมีโอกาสเสี่ยงในการได้รับเชื้อโรคเหล่านี้ได้โดยตรง แม้อายุอากาศที่ตกค้างภายในห้องตรวจจะไม่มากก็ตาม การอธิบายอายุอากาศให้เห็นภาพ จึงเป็นวิธีการใหม่ที่ถ่ายทอดให้เห็นประสิทธิภาพการระบายอากาศได้อย่างเห็นผล และการพิจารณาความเสี่ยงของการติดเชื้อควรพิจารณาทั้งประเด็น อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ ทิศทางการไหลของอากาศ และอายุอากาศประกอบกัน ให้ผ่านเกณฑ์ทั้งหมดจึงจะประเมินความเสี่ยงได้อย่างแม่นยำ

5.4.3 การติดตั้งช่องปล่อยลมเข้า ตำแหน่งแหล่งนำอากาศเข้าไม่ควรอยู่ใกล้กับช่องปล่อยลมออก และควรติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าในทิศตรงกันข้ามกับช่องปล่อยลมออก โดยพิจารณาทิศทางการไหลของอากาศ เมื่ออากาศไหลผ่านผู้ป่วยแล้วให้ไหลออกด้านช่องปล่อยลมออกทันที

5.4.4 การจำลองผ่านโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล เป็นการจำลองสถานการณ์การไหลของอากาศที่มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งในงานวิจัยต่อไปอาจจำลองสถานการณ์เปรียบเทียบประเมินการระบายอากาศในสถานที่จริง เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.4.5 ตำแหน่งช่องปล่อยลมเข้าภายในห้อง ระยะเวลาจ่ายลม ความเร็วลมแรกเริ่มจะค่อยๆ ลดลงตามความดันที่ลดลงของอากาศ และระยะเวลากระจายลม ซึ่งช่องปล่อยลมที่ใช้ในงานวิจัยเป็น

การจำลองสถานการณ์ช่องจ่ายลมแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง ดังนั้นการศึกษาเลือกใช้หน้าฉากช่องลมรูปแบบต่างๆ มาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น อาจได้ผลการศึกษาที่แตกต่างกัน สามารถขยายผลการศึกษาต่อไป

5.4.6 งานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปขยายผลการศึกษาต่อไปในห้องตรวจทันตกรรม ที่มีขนาดห้อง รูปทรงของห้องที่แตกต่างออกไป หรือห้องตรวจทันตกรรมแบบห้องรวม ที่มีหลายเตียงตรวจในพื้นที่เดียวกัน เพื่อศึกษาประเมินความเสี่ยงของห้องตรวจเหล่านั้น และอาจมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ ช่องปล่อยลมเข้า ช่องปล่อยลมออก หลายตำแหน่งในพื้นที่เดียวกัน ขึ้นอยู่กับปริมาตรห้อง

5.4.7 การนำไปใช้งานจริงจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยการเปิดปิดประตู ซึ่งไม่สามารถควบคุมการใช้งานได้ตลอดเวลา และควรคำนึงถึงช่องว่างระหว่างประตูซึ่งจะเป็นบริเวณที่มีการไหลเข้าออกของอากาศ

5.4.8 ปัจจัยการระบายอากาศเป็นเพียงส่วนหนึ่งของงานวิจัยเพื่อป้องกันการติดเชื้อในห้องตรวจทันตกรรม ซึ่งการประยุกต์ใช้งานจริงเพื่อควบคุมอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ 12 ACH ยังมีเรื่องของสภาวะความสบาย อุณหภูมิ ความชื้น ความดัน และการใช้พลังงานที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรเพิ่มเติมเรื่องเหล่านี้ในงานวิจัยต่อไป

รายการอ้างอิง

- 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). 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. (2009). Natural ventilation for infection control in health-care settings: World Health Organization Geneva, Switzerland.
- Auger, M. (1996). Measurement of Ventilation Efficiency for Indoor Air Quality in Office Buildings. McGill University,
- Bivolarova, M., Kierat, W., Zavrl, E., Popiolek, Z., & Melikov, A. (2017). Effect of airflow interaction in the breathing zone on exposure to bio-effluents. *Building and Environment*, 125, 216-226.
- Cao, G., Awbi, H., Yao, R., Fan, Y., Sirén, K., Kosonen, R., & Zhang, J. J. (2014). A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings. *Building and Environment*, 73, 171-186.
- Chen, Y. L., & Wen, J. (2012). The selection of the most appropriate airflow model for designing indoor air sensor systems. *Building and Environment*, 50, 34-43.
- 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.
- Ho, S. H., Rosario, L., & Rahman, M. M. (2009). Three-dimensional analysis for hospital operating room thermal comfort and contaminant removal. *Applied Thermal Engineering*, 29(10), 2080-2092.
- Inkarojrit, V. (2010). Natural Ventilation in Thai Hospital: A Field Study. 31st AIVC Conference Low Energy and Sustainable Ventilation Technologies for Green Buildings, 766-788.
- Jensen, P. A., Lambert, L. A., Iademarco, M. F., & Ridzon, R. (2005). Guidelines for preventing the transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in health-care settings, 2005. Centers for Disease Control and Prevention
- Jensen, W. W., Iademarco, M., Miller, B., Dlodlo, R., Catlin, M., Coggin, W., Ikoona, E. (1999). TUBERCULOSIS INFECTION CONTROL IN THE ERA OF EXPANDING HIV CARE AND TREATMENT.
- Joseph, A. (2006). The impact of the environment on infections in healthcare facilities: Center for Health Design.
- Kohn, W. G., Collins, A. S., Cleveland, J. L., Harte, J. A., Eklund, K. J., & Malvitz, D. M. (2003). Guidelines for infection control in dental health-care settings-2003.
- Lamberti, M., Muoio, M. R., Westermann, C., Nienhaus, A., Arnese, A., Ribeiro Sobrinho, A. P., Coppola, N. (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.
- Lechner, N. (2014). Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects: John Wiley & Sons.
- 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., & Micik, R. (1978). Air pollution and its control in the dental office. *Dental Clinics of North America*, 22(3), 453.
- 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.
- Price Industries ltd. (2011). Air distribution engineering guide. Price Engineer's HVAC Handbook.
- 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).
- Shirzadi, M., Mirzaei, P. A., & Naghashzadegan, M. (2018). Development of an adaptive discharge coefficient to improve the accuracy of cross-ventilation airflow calculation in building energy simulation tools. *Building and Environment*, 127, 277-290.
- Wei, J., & Li, Y. (2016). Airborne spread of infectious agents in the indoor environment. *American journal of infection control*, 44(9), S102-S108.
- Yongson, O., Badruddin, I. A., Zainal, Z., & Narayana, P. A. (2007). Airflow analysis in an air conditioning room. *Building and Environment*, 42(3), 1531-1537.
- Zimring, C., Joseph, A., & Choudhary, R. (2004). *The role of the physical environment in the hospital of the 21st century: A once-in-a-lifetime opportunity*. Concord, CA: The Center for Health Design.

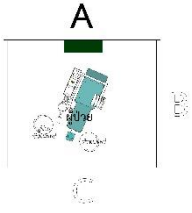
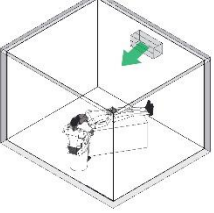
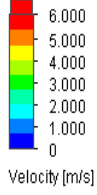
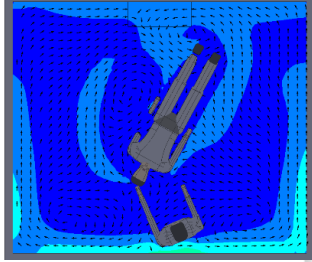
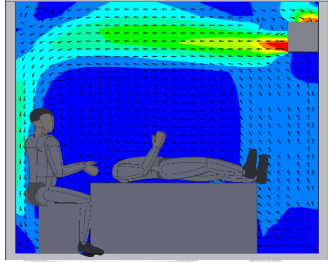
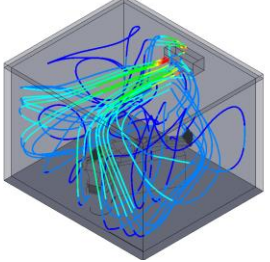
- กองแบบแผน. (2559). คู่มือการออกแบบอาคารและสภาพแวดล้อมสถานบริการสุขภาพ ทันตกรรม. นนทบุรี: กองแบบแผน กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข.
- กิติคุณ ยกทรัพย์. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศในหอผู้ป่วยรวมของโรงพยาบาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,
- จิรายุ บุญตัน. (2554). การควบคุมการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศด้วยระบบระบายอากาศในห้องตรวจ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จตุพร พนมบัวเลิศ, ชานิยา เหมือนตา, & ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. (2559). การวิเคราะห์คุณภาพอากาศภายในอาคาร โดยการตรวจนับปริมาณแบคทีเรียและเชื้อรา ในคลินิกหน่วยทันตกรรมผู้ป่วยนอก คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 15(1), 173-181.
- ณิชากัทร ดิเรกวัฒนชัย. (2559). ประสิทธิภาพการระบายอากาศในคลินิกทันตกรรม กรณีศึกษา ศูนย์บริการสาธารณสุขในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธิดาสิริ ภัทรากาญจน์. (2555). แนวทางการออกแบบคลินิกทันตกรรม. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 61, 43-58.
- สำนักงานสนับสนุนบริการสุขภาพเขต 4 นนทบุรี. (2559). การตรวจวัดและควบคุมคุณภาพอากาศสำหรับห้องสะอาด และการป้องกันการติดเชื้อทางอากาศในโรงพยาบาล. นนทบุรี: กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข.
- สำนักทันตกรรม. (2559). คู่มือ เรียนรู้ เข้าใจทันตกรรม ด้วยตัวเอง สำหรับ อสม. กรุงเทพมหานคร: สำนักทันตกรรม กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข.
- สุชาติ ศิริทวารจันท์. (2544). การออกแบบการกระจายลมเย็นในระบบปรับอากาศ. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บทความวิชาการ, 6, 44-61.
- สุพจน์ เตชะอำนวยวิทย์. (2551). การออกแบบห้องแยกเดี่ยวผู้ป่วย. สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย บทความวิชาการ, 17, 56-66.

ภาคผนวก ก

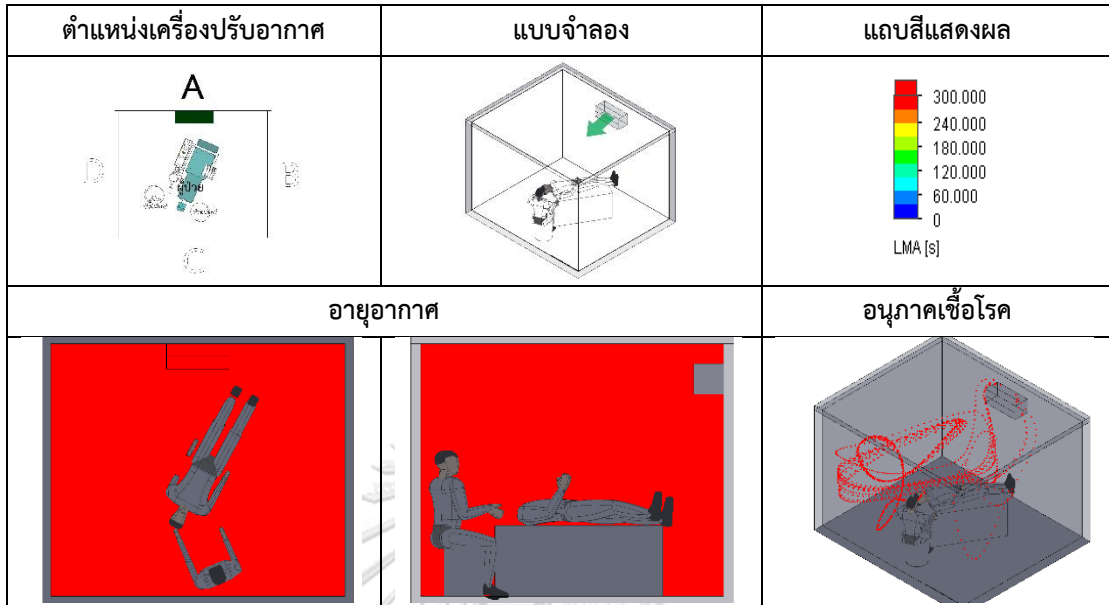
ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานก่อนการปรับปรุง

1. รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนังA)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนังA)

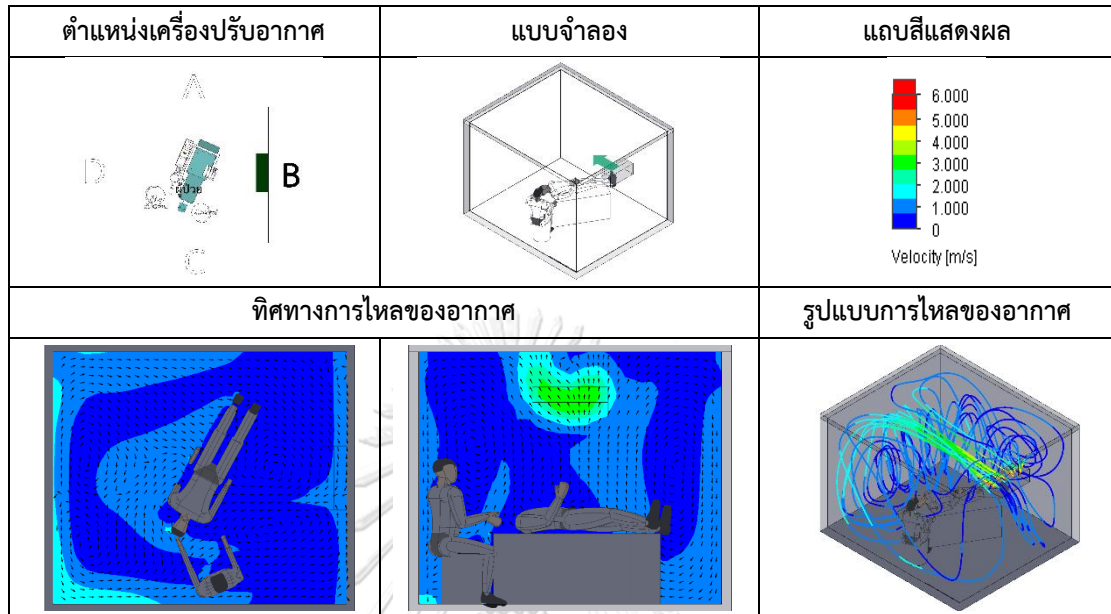
ตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ	แบบจำลอง	แถบสีแสดงผล
		
ทิศทางการไหลของอากาศ		รูปแบบการไหลของอากาศ
		

แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้าน
ปลายเท้าผู้ป่วย (ผนังA)

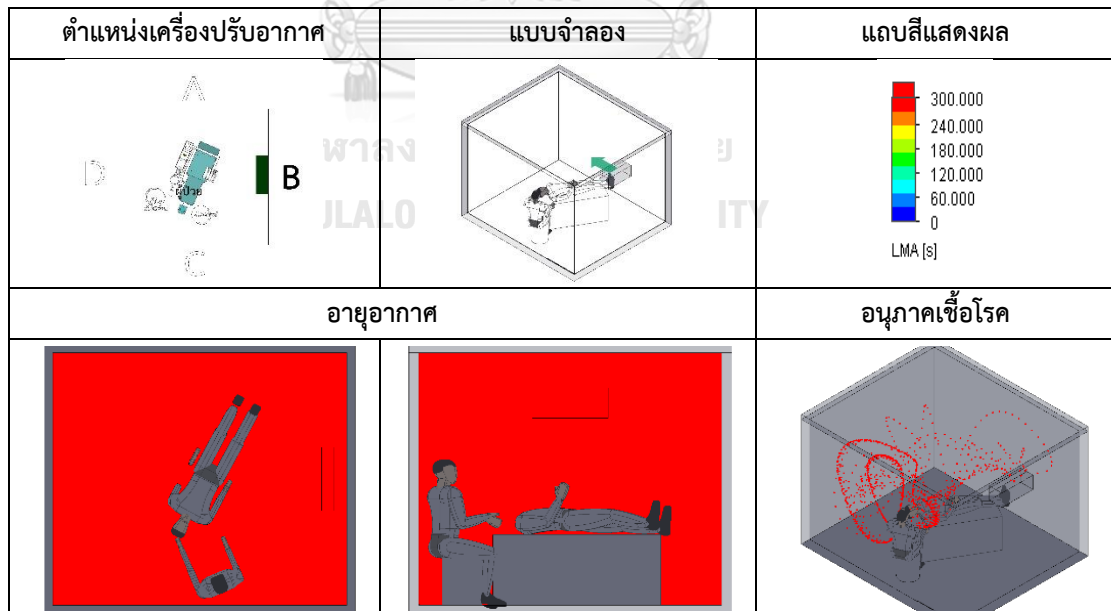


2. รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

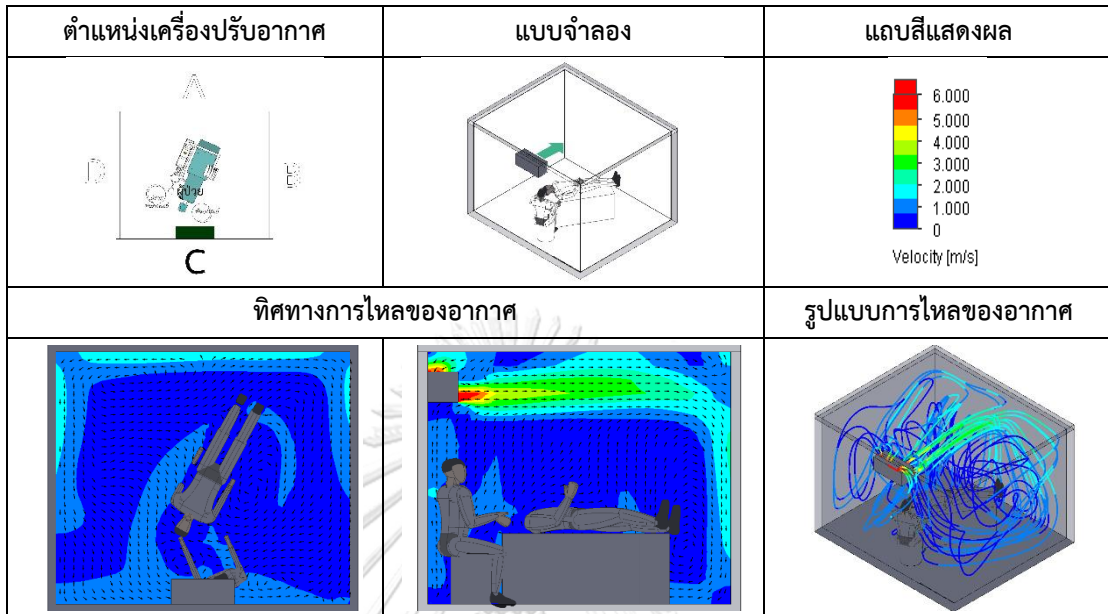


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

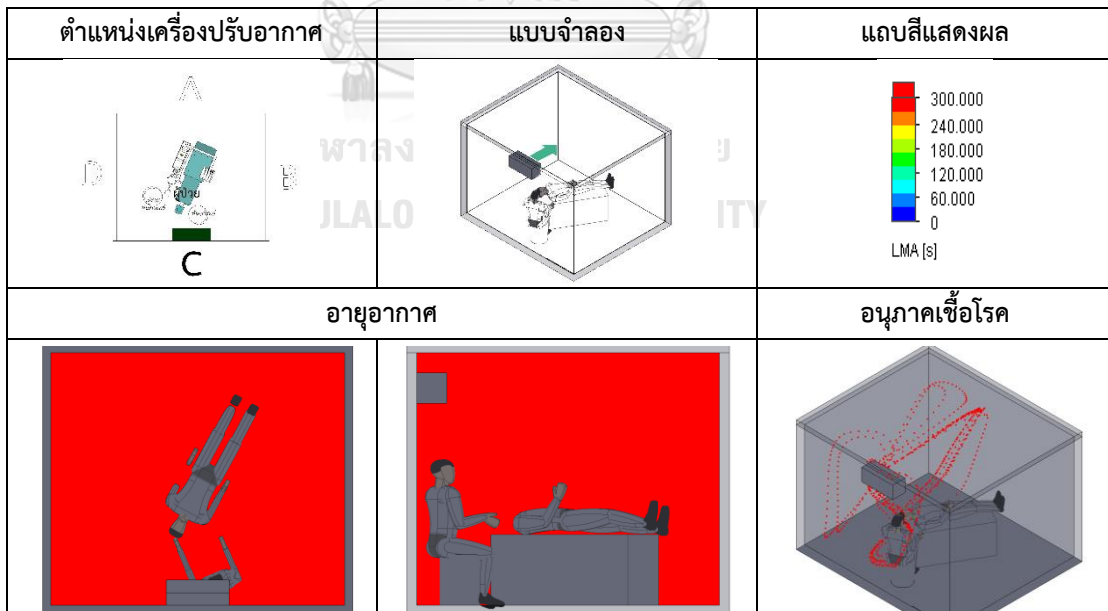


3. รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

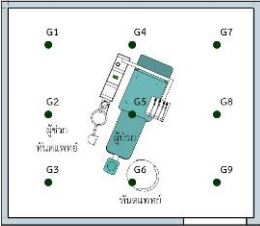
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)



ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังห้องตรวจทันตกรรม

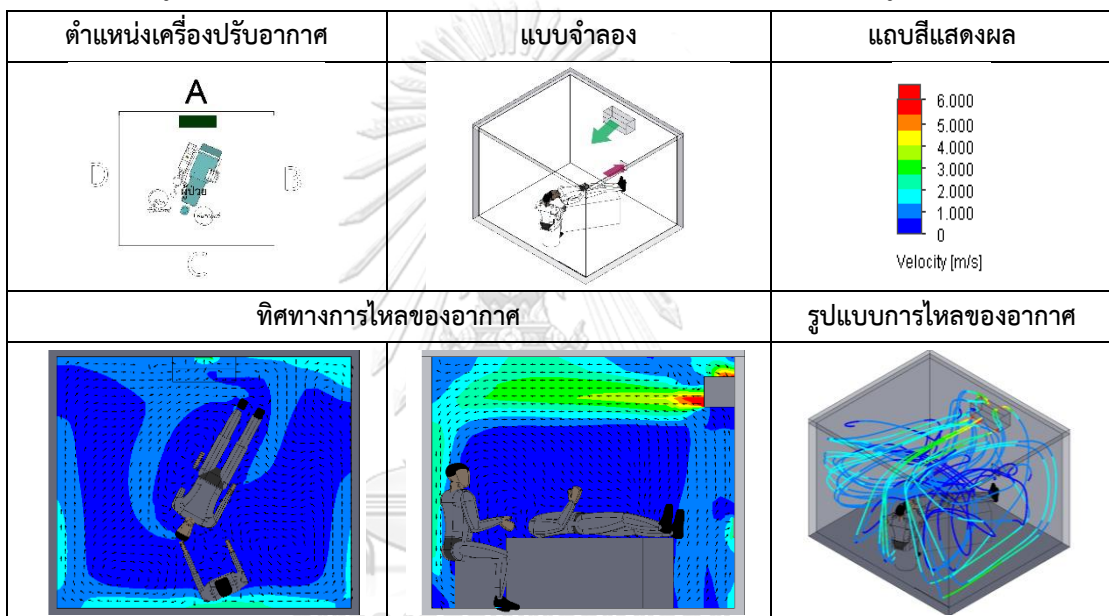
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	การติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนัง		
		ด้านปลาย เท้าผู้ป่วย	ด้านขวา ของผู้ป่วย	ด้านศีรษะ ของผู้ป่วย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	428.44	457.45	297.50
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	426.92	456.54	296.79
	G3	428.67	456.85	296.22
	G4	426.85	456.48	296.71
	G5 ผู้ป่วย	411.69	453.32	287.87
	G6 ทันตแพทย์	422.83	454.98	294.40
	G7	425.06	454.35	295.52
	G8	428.46	456.75	295.99
	G9	428.88	453.99	297.19
	ค่าเฉลี่ย	425.31	455.63	295.35

ภาคผนวก ข

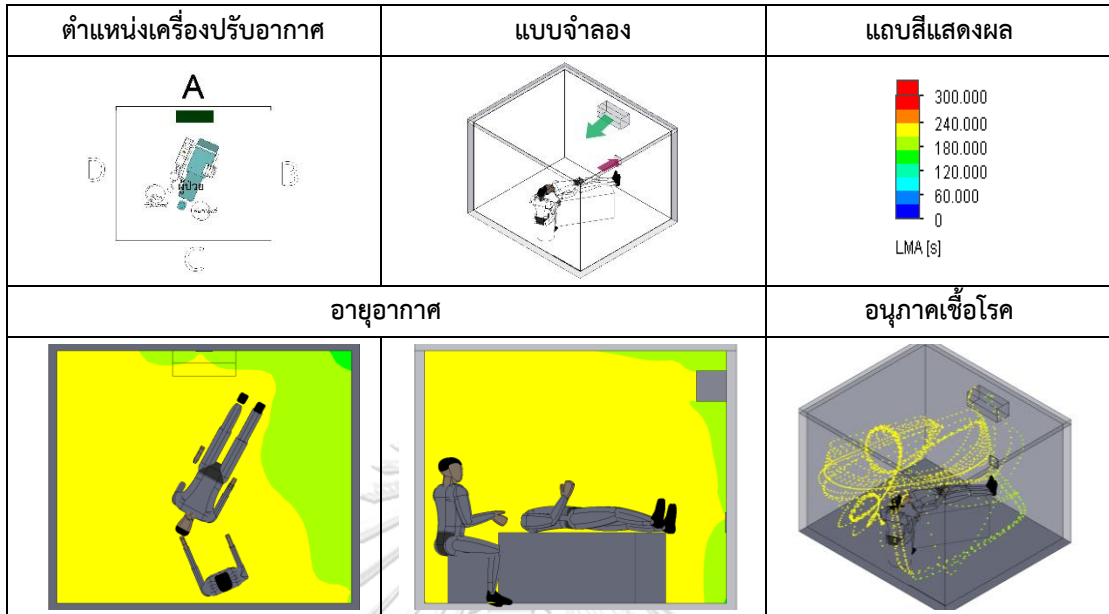
ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมเดี่ยวที่ใช้งานหลังการ
ปรับปรุง

1. รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A) และพัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A)

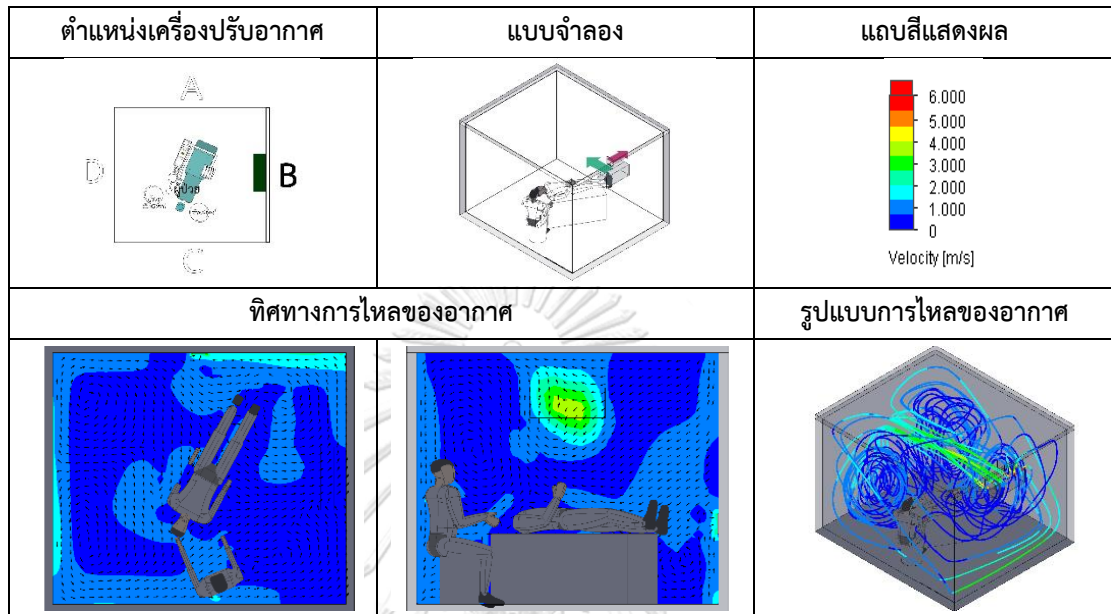


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้าน
ปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A) และพัดลมระบายอากาศบนผนังด้านปลายเท้าของผู้ป่วย (ผนัง A)

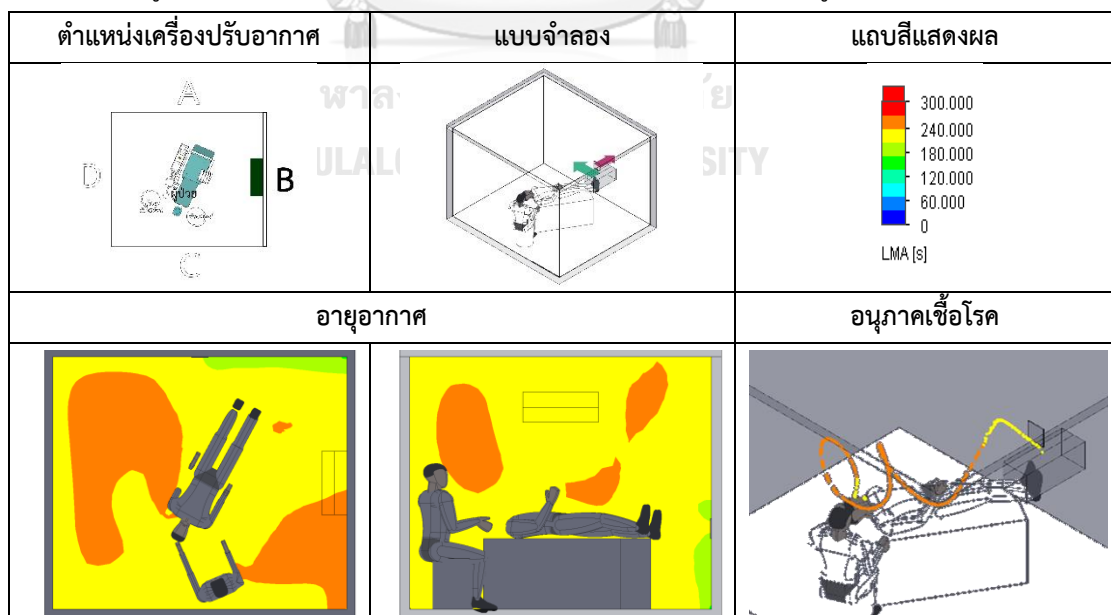


2. รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

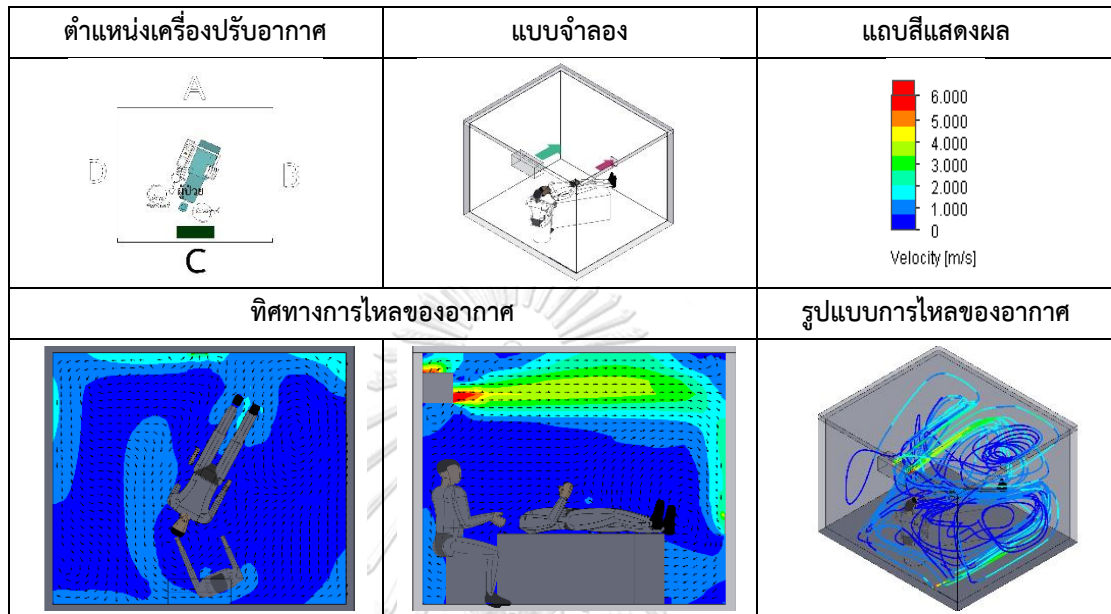


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

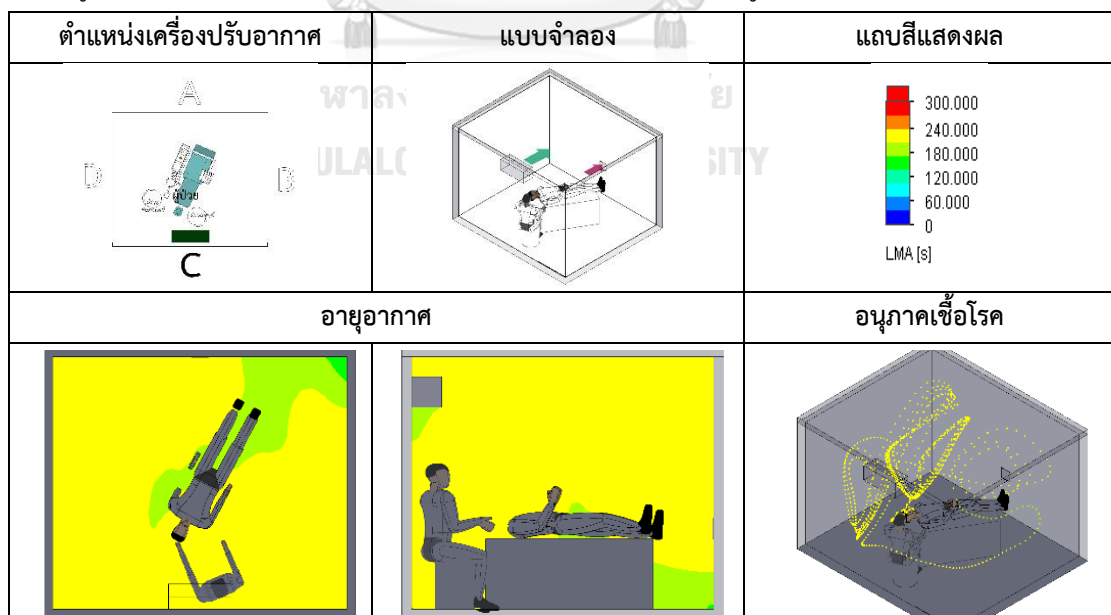


3. รูปแบบติดตั้งเครื่องปรับอากาศที่ผนังด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C) และพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C) และพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศบนผนังด้านศีรษะผู้ป่วย (ผนัง C) และพัดลมระบายอากาศที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)



ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนบนผนังร่วมกับพัดลมระบายอากาศ
ในห้องตรวจทันตกรรม

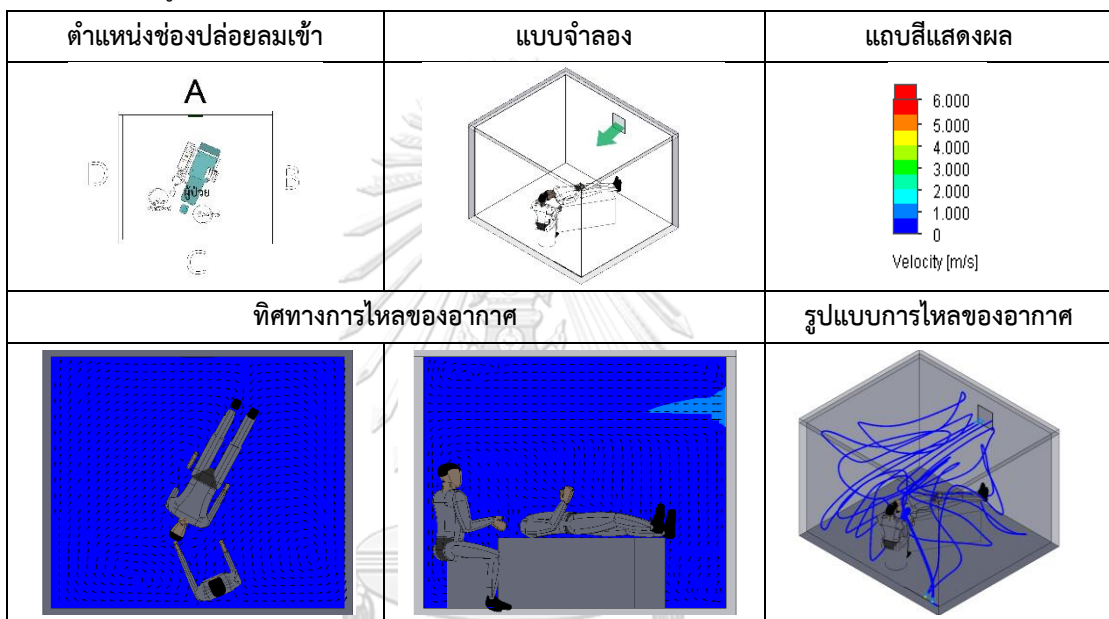
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	การติดตั้งพัดลมระบายอากาศร่วมกับเครื่องปรับอากาศบนผนัง		
		ด้านปลายเท้าผู้ป่วย	ด้านขวาของผู้ป่วย	ด้านศีรษะของผู้ป่วย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	216.85	234.83	217.44
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	214.73	232.80	215.11
	G3	215.87	232.47	217.54
	G4	213.72	231.20	209.05
	G5 ผู้ป่วย	212.57	231.93	209.99
	G6 ทันตแพทย์	206.48	230.53	210.30
	G7	194.62	233.46	195.00
	G8	200.14	231.18	207.99
	G9	204.56	235.66	205.46
	ค่าเฉลี่ย	208.84	232.67	209.76

ภาคผนวก ค

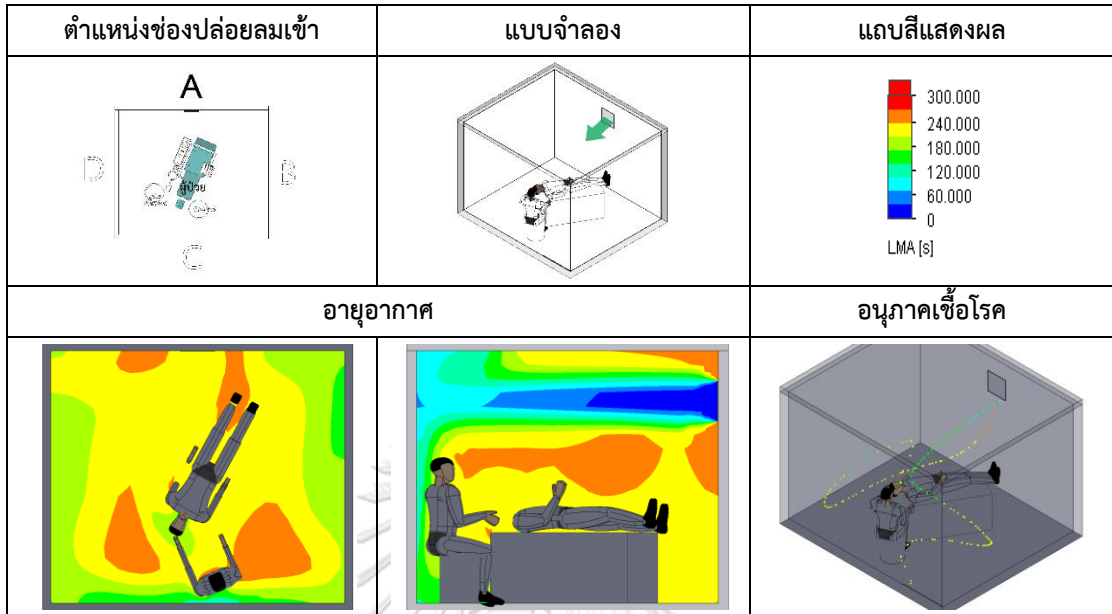
ผลการจำลองการระบายอากาศของห้องตรวจทันตกรรมทดลองปรับปรุงช่องปล่อยลม
เข้า และตำแหน่งช่องปล่อยลมออก

1. รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนัง
ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

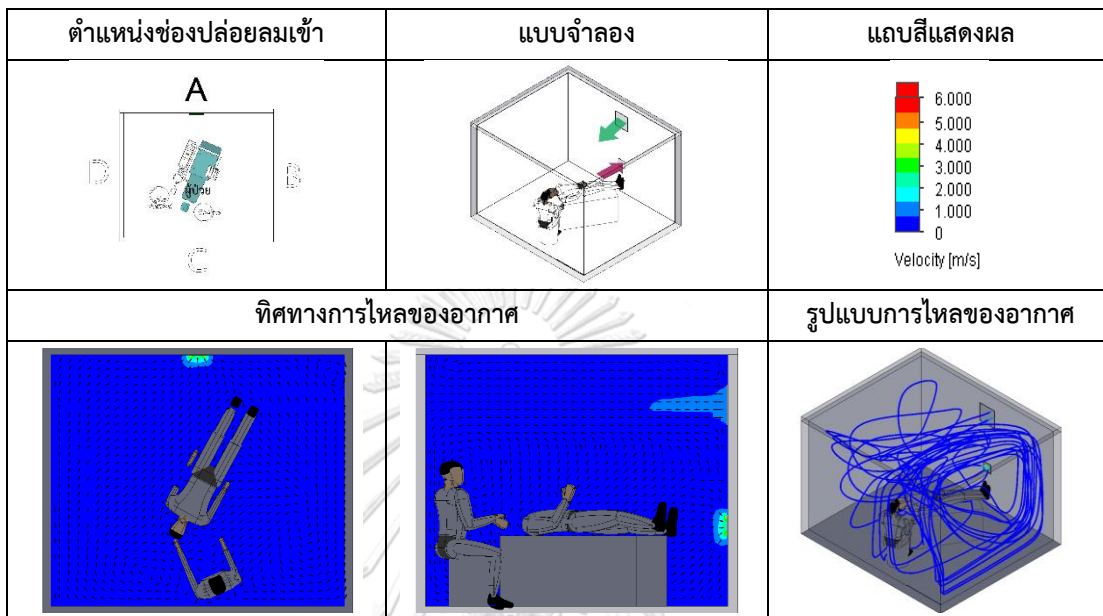


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้าน
ปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

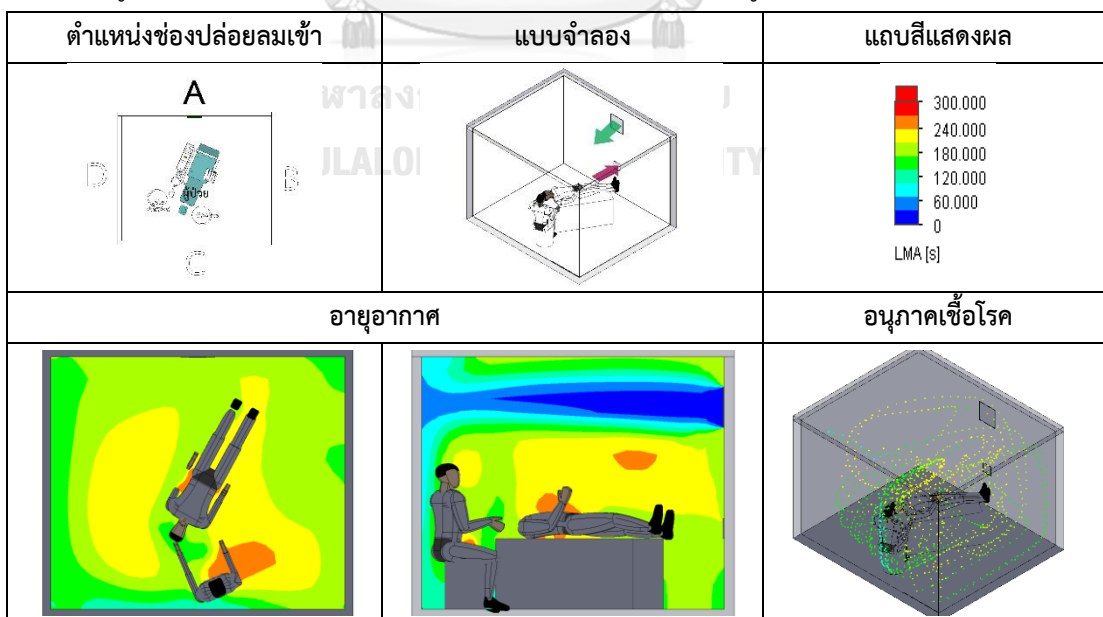


1.1 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

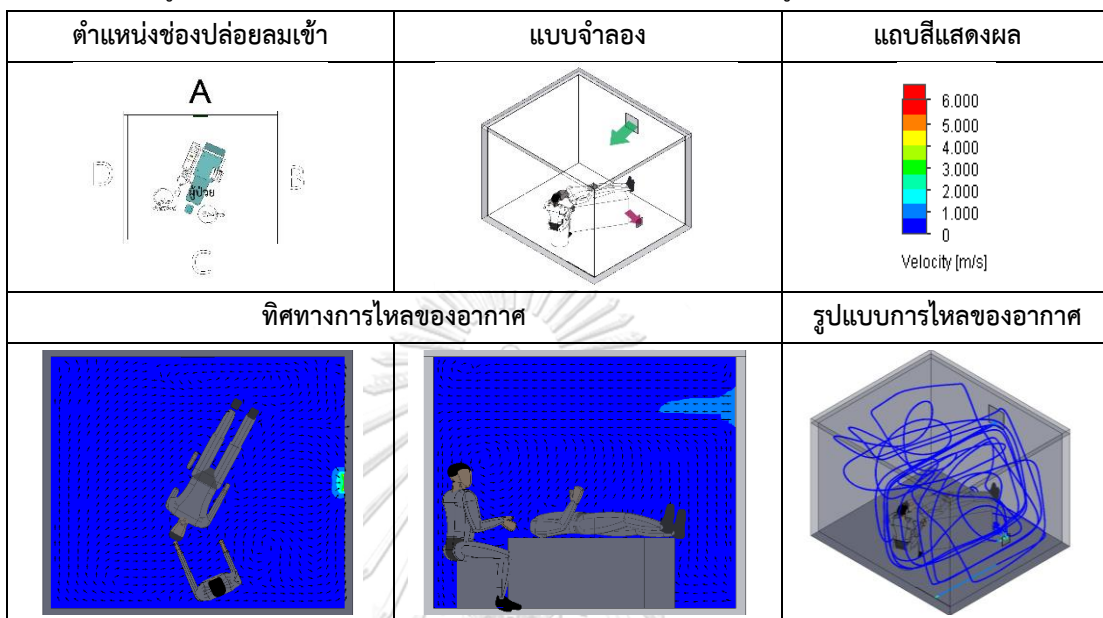


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

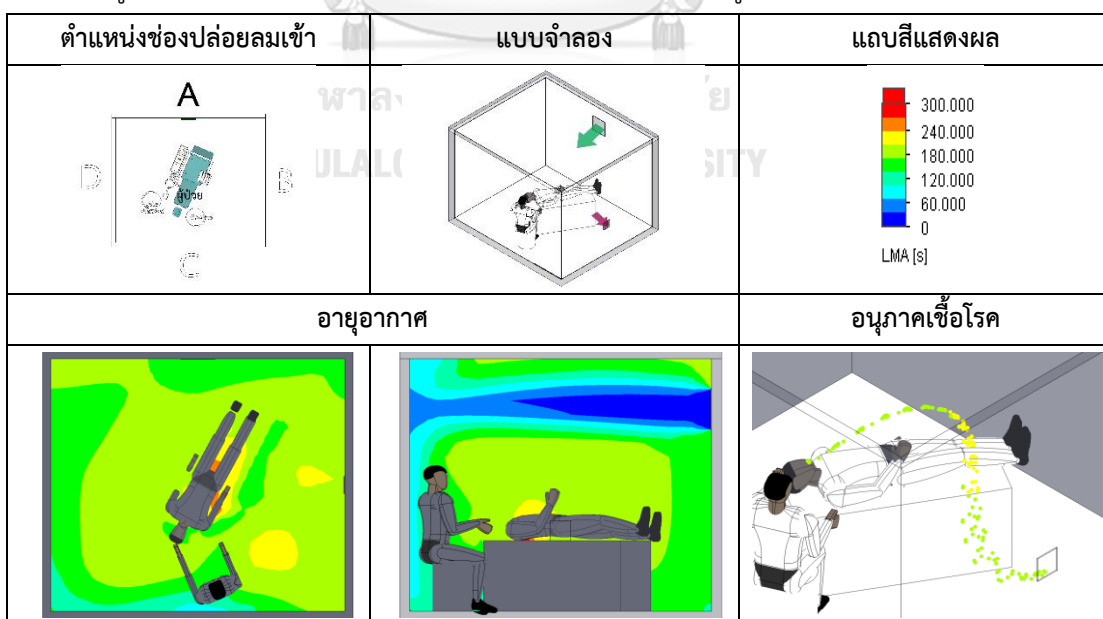


1.2 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

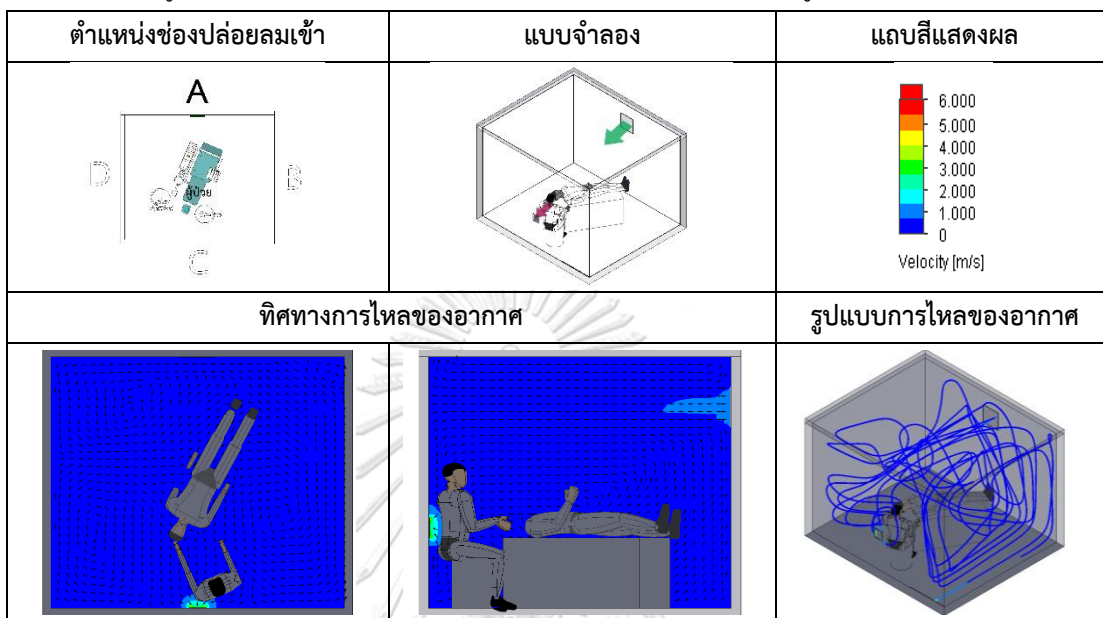


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

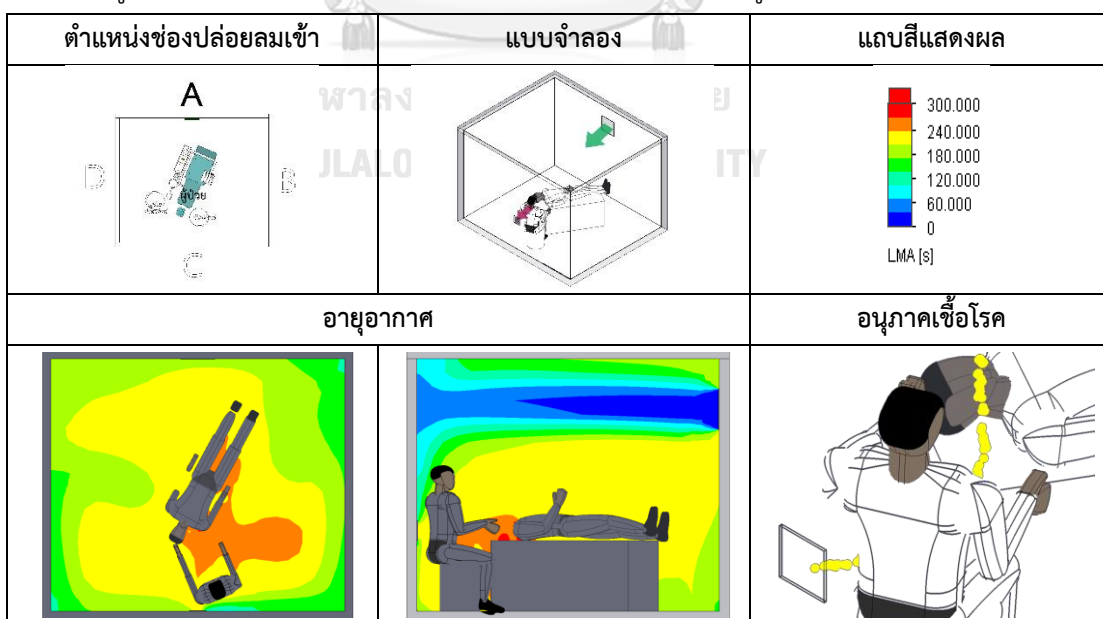


1.3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

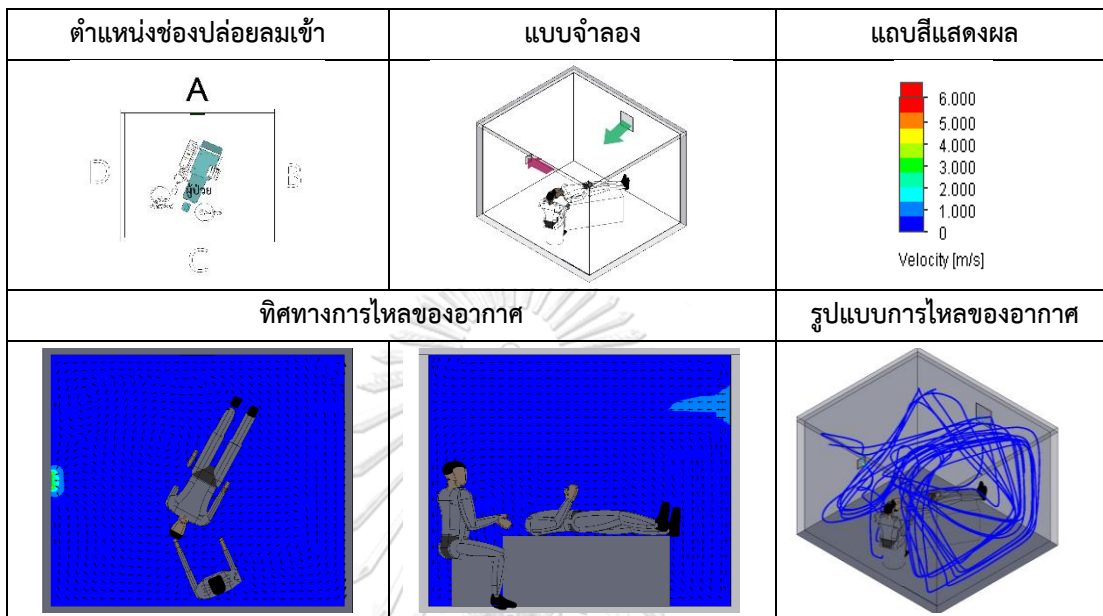


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

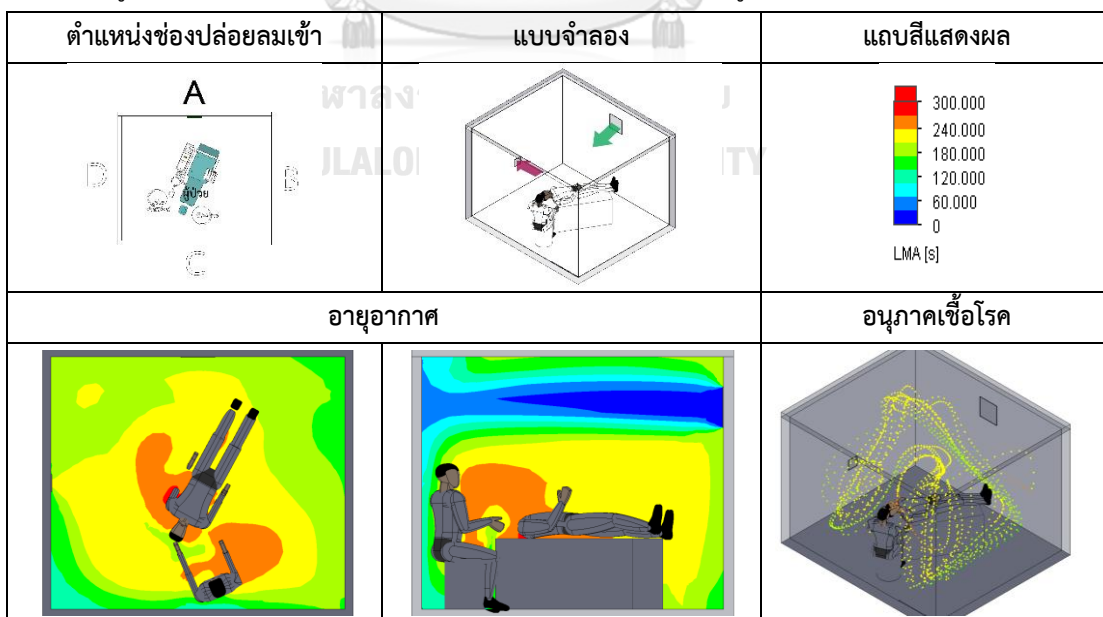


1.4 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

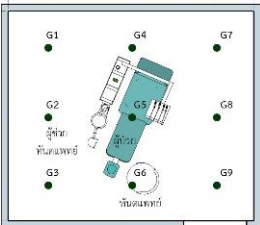
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

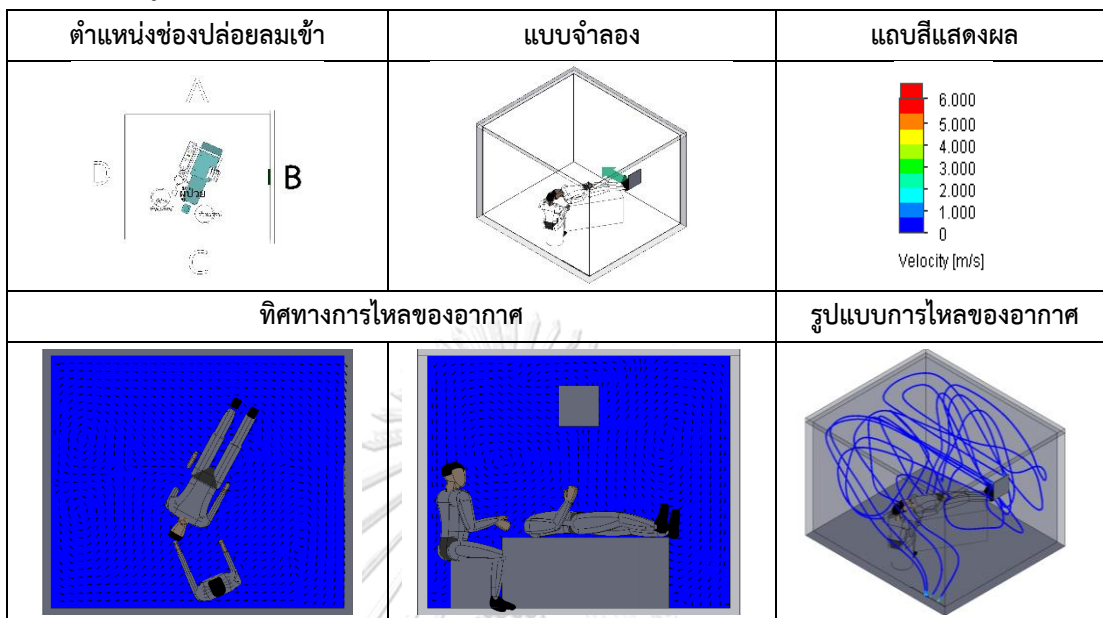


ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม

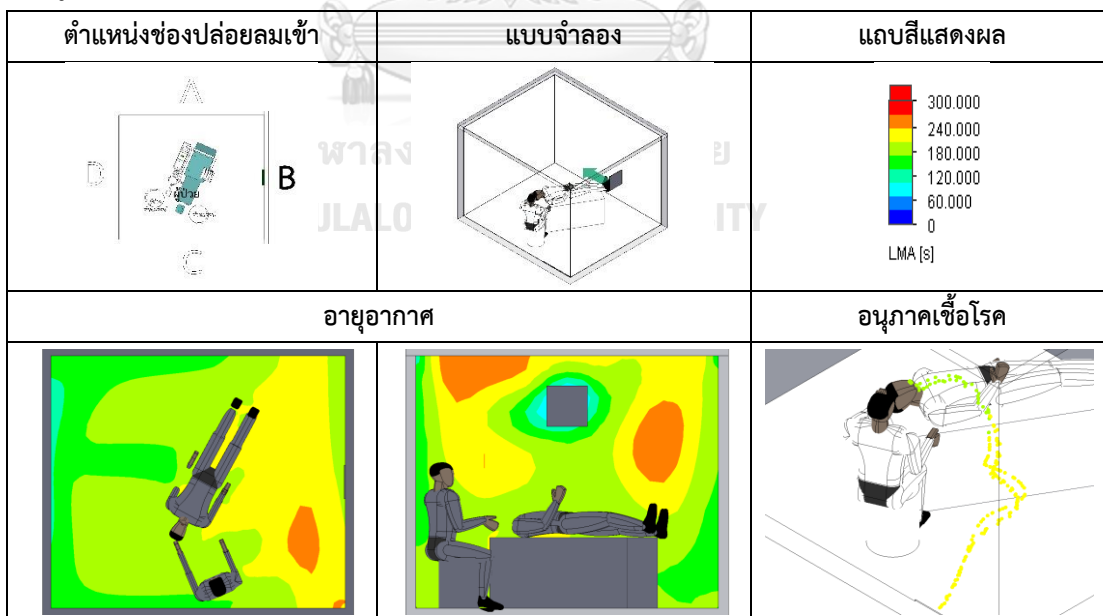
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย				
		ไม่ติดตั้ง	ปลายเท้า	ขวา	ศีรษะ	ซ้าย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	210.94	205.33	173.14	216.16	197.97
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	234.10	230.41	191.77	198.23	213.61
	G3	242.85	205.11	182.08	213.94	225.79
	G4	228.30	181.67	182.76	211.07	211.48
	G5 ผู้ป่วย	187.28	182.65	161.97	232.44	248.86
	G6 ทันตแพทย์	214.87	191.64	158.78	236.09	237.65
	G7	211.19	196.11	164.20	198.13	189.93
	G8	229.79	199.80	174.92	223.70	213.44
	G9	251.35	229.70	197.74	227.40	231.61
	ค่าเฉลี่ย	223.41	202.49	176.37	217.46	218.93

2. รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

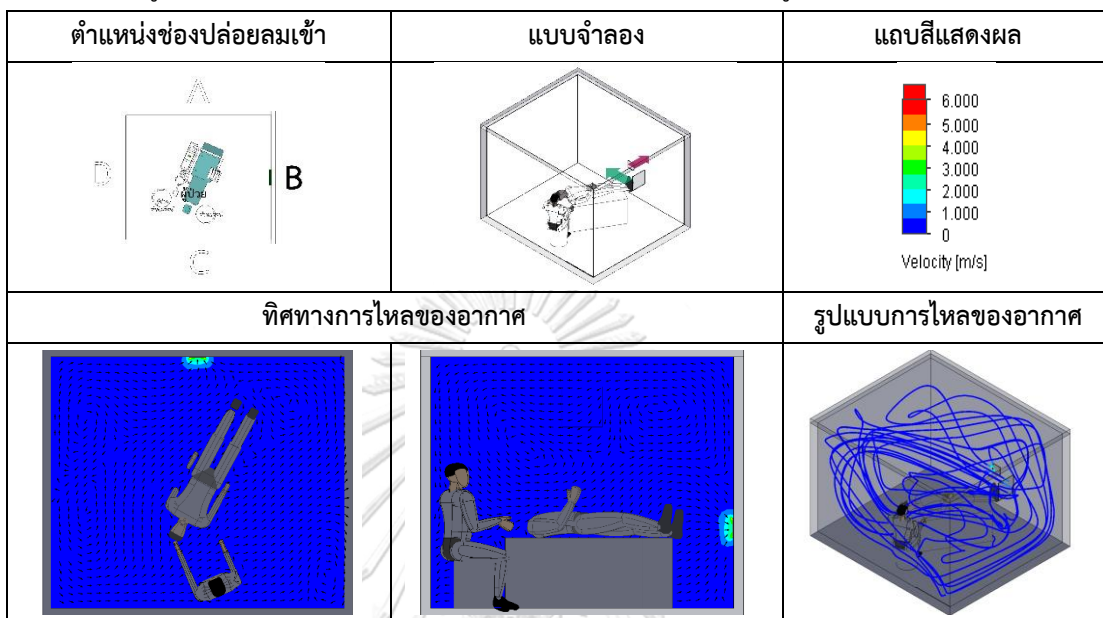


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

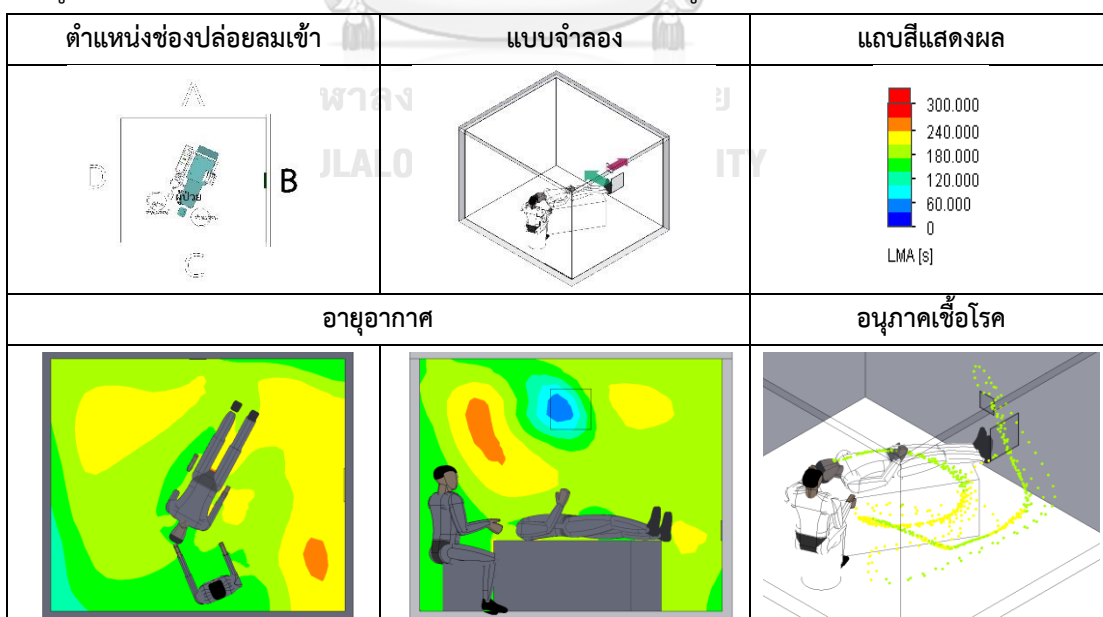


2.1 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

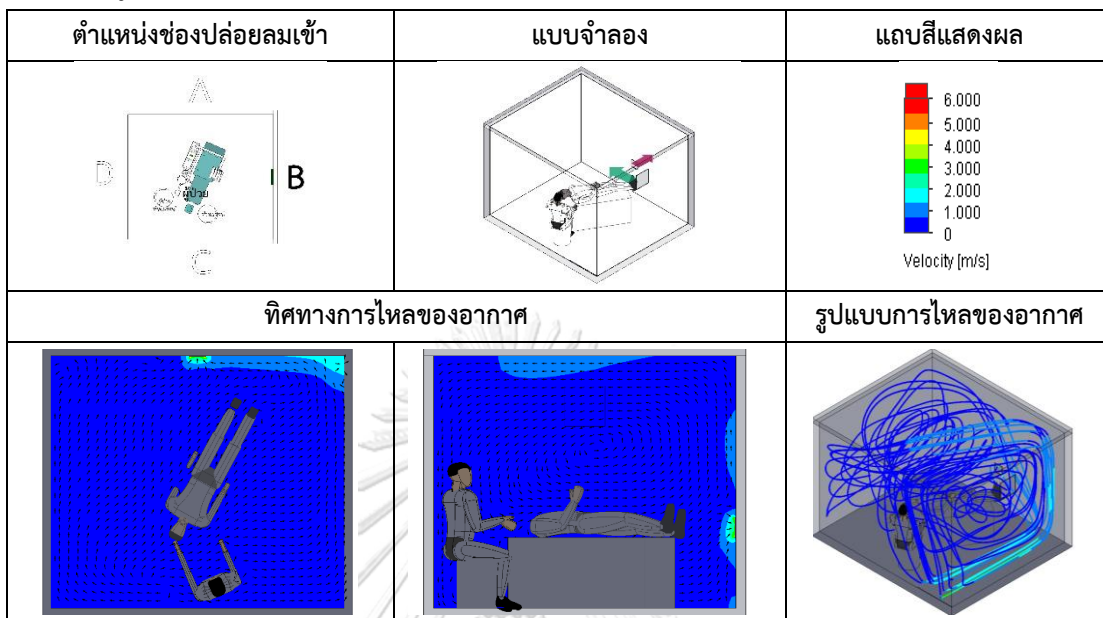
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)



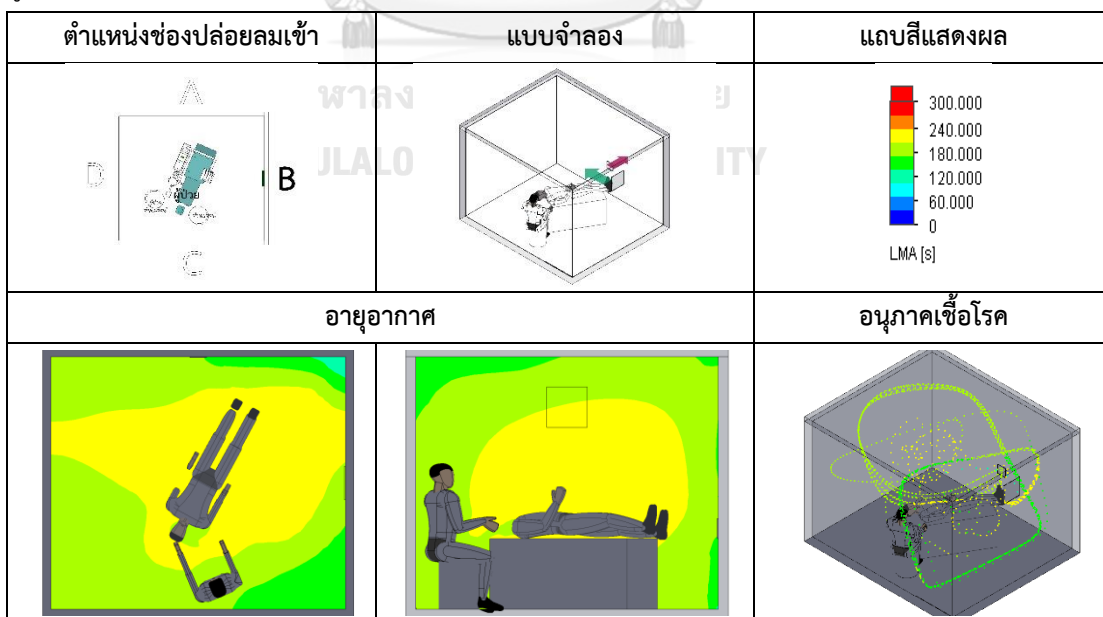
แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)



แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH
 สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้าน
 ปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

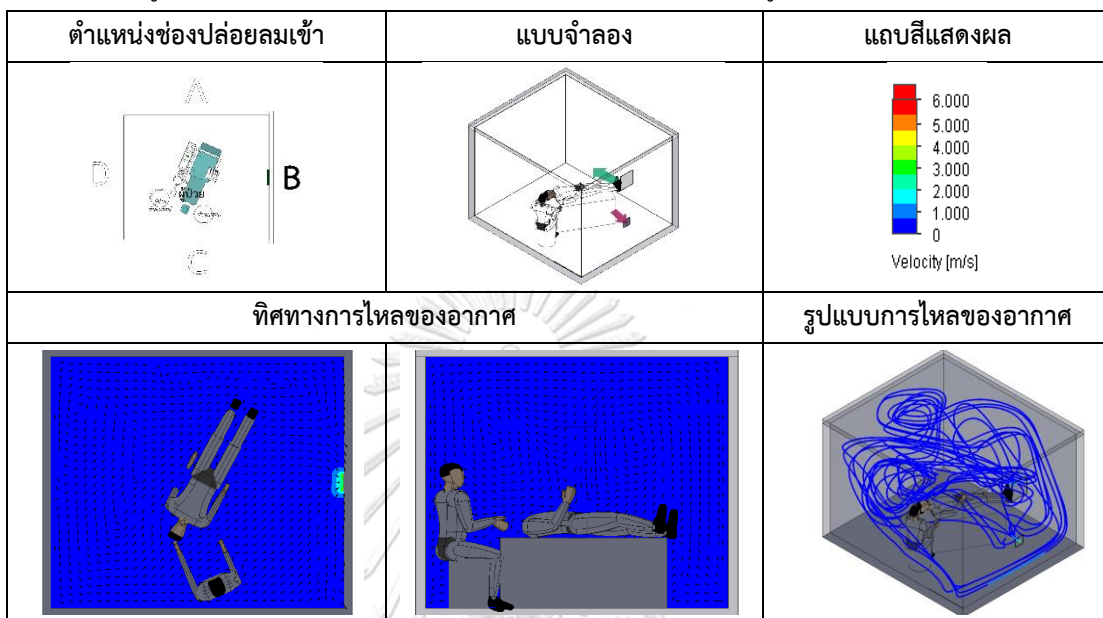


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH สถานการณ์
 ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้า
 ผู้ป่วย (ผนัง A)

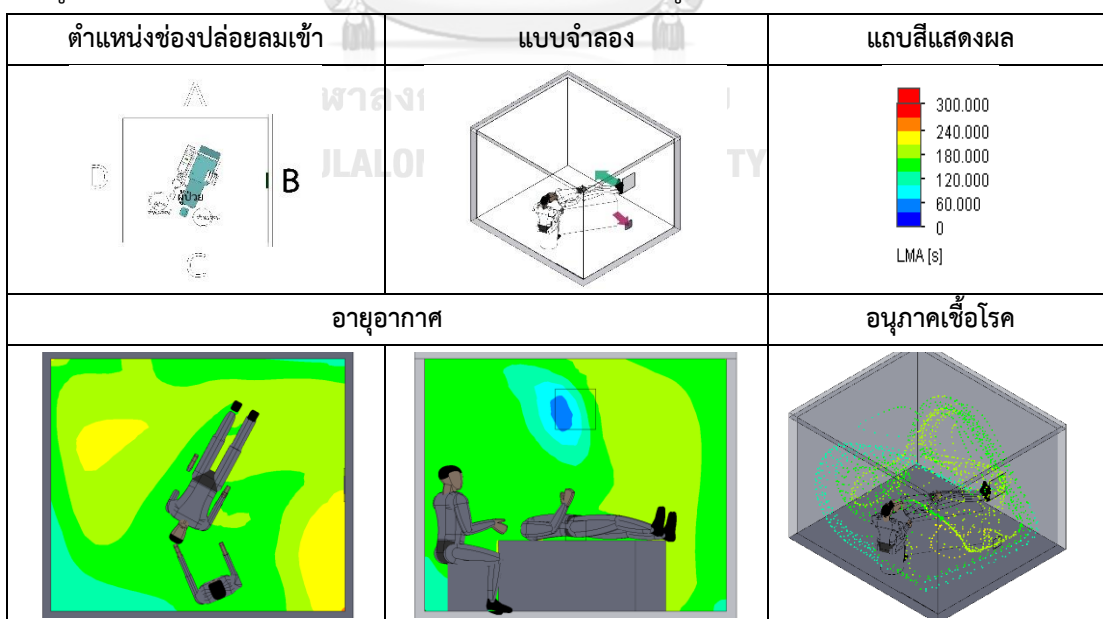


2.2 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

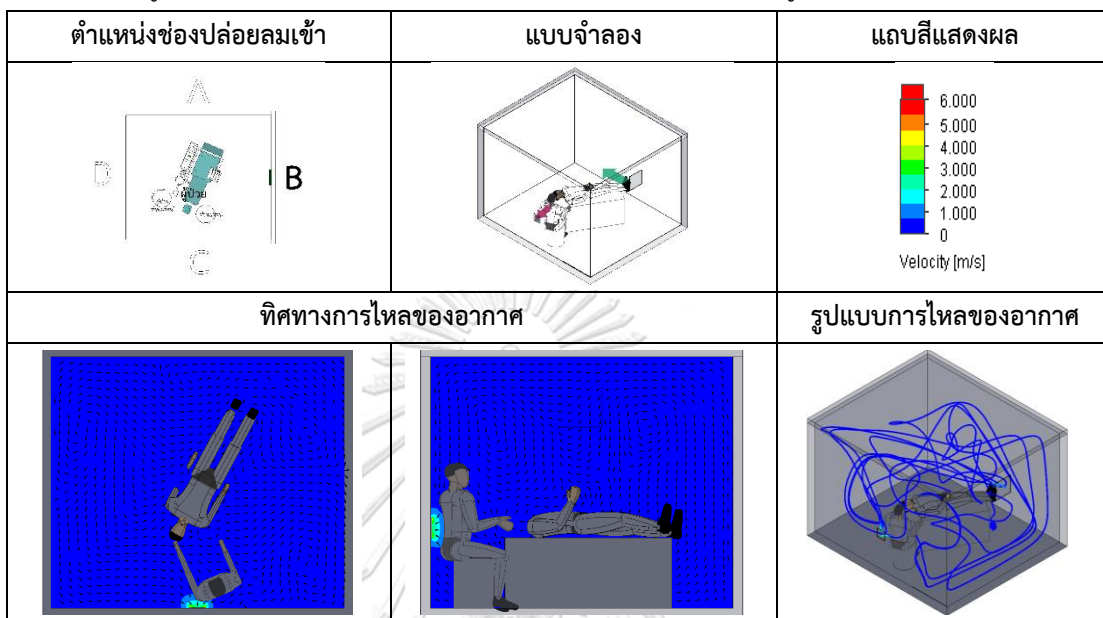


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

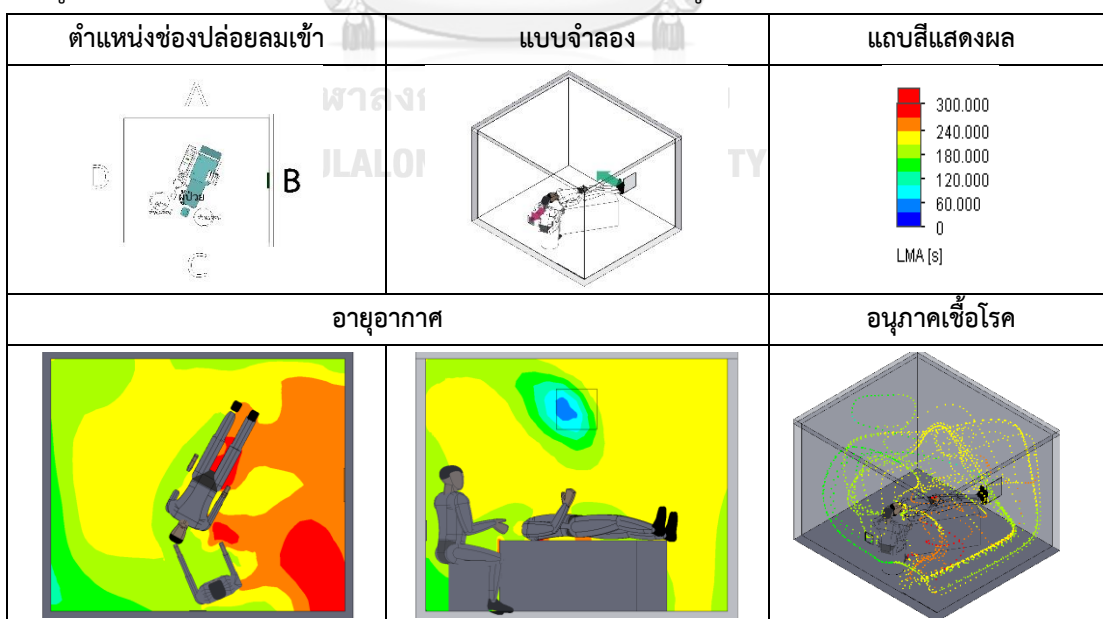


2.3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

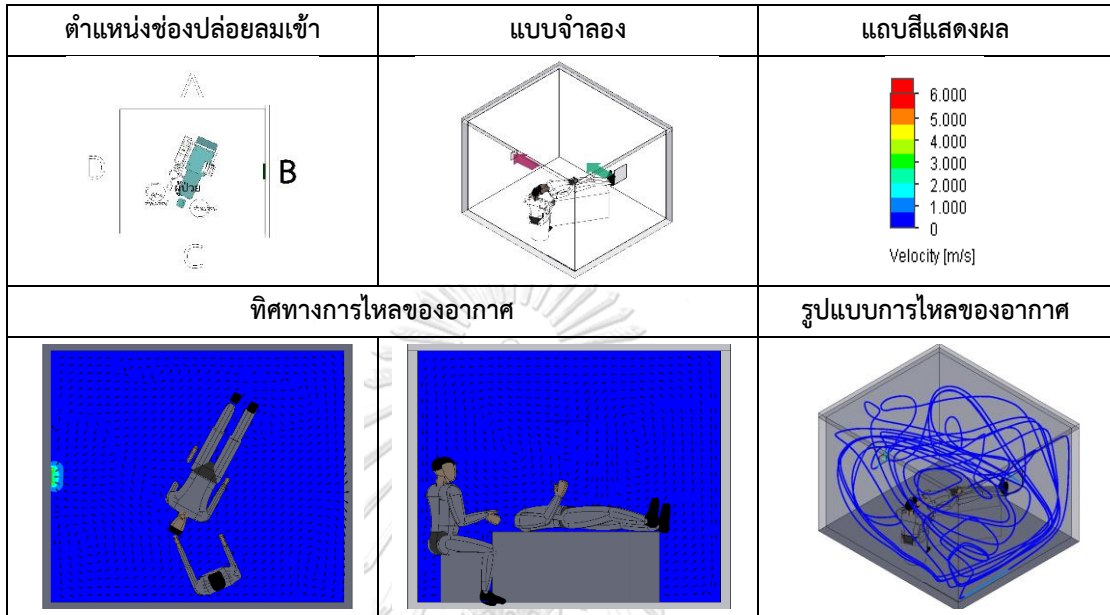


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

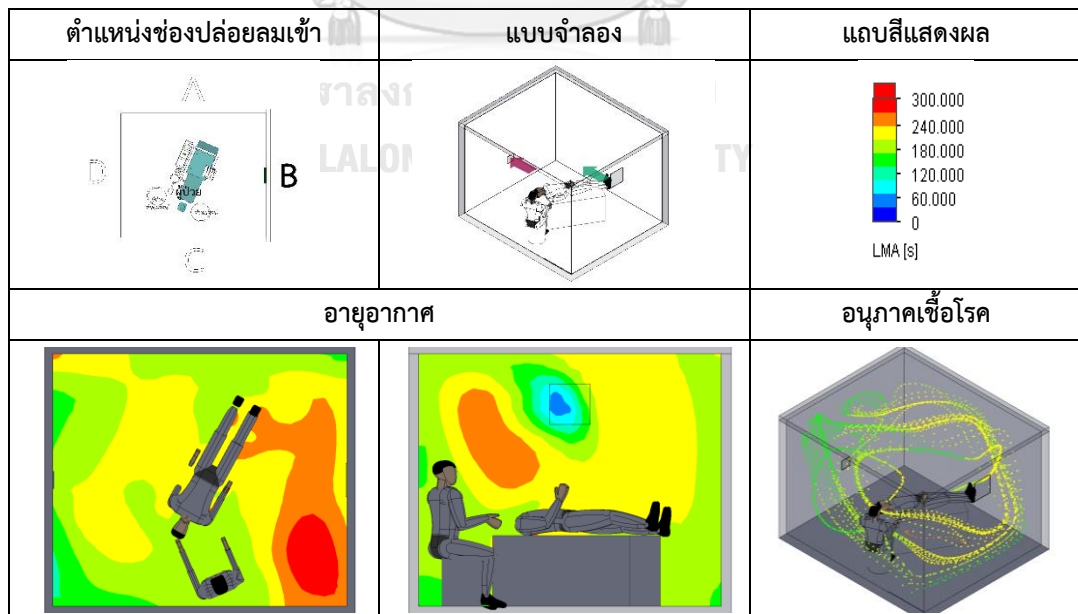


2.4 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

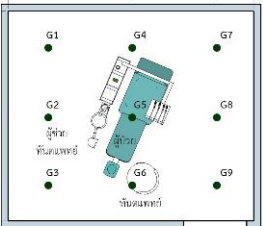
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม ที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH

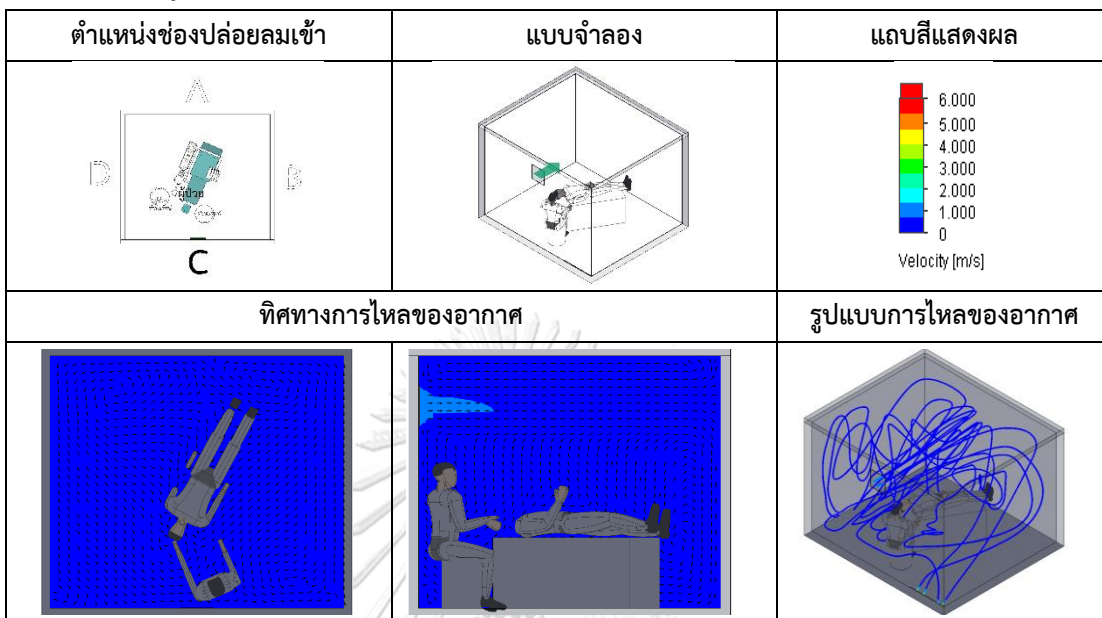
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย				
		ไม่ติดตั้ง	ปลายเท้า	ขวา	ศีรษะ	ซ้าย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	178.85	213.87	203.19	209.62	201.96
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	183.48	180.86	179.72	217.41	199.20
	G3	186.37	170.44	143.02	187.04	195.44
	G4	178.15	172.31	166.70	200.23	199.30
	G5 ผู้ป่วย	186.99	164.10	146.29	199.35	182.72
	G6 ทันตแพทย์	176.10	159.39	142.53	192.39	180.05
	G7	218.67	213.31	177.52	241.45	237.69
	G8	213.41	194.50	163.24	228.68	225.67
	G9	207.21	184.00	159.85	250.029	226.98
	ค่าเฉลี่ย	192.14	183.64	164.67	214.022	205.45

ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B) และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วยในห้องตรวจทันตกรรม ที่อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH

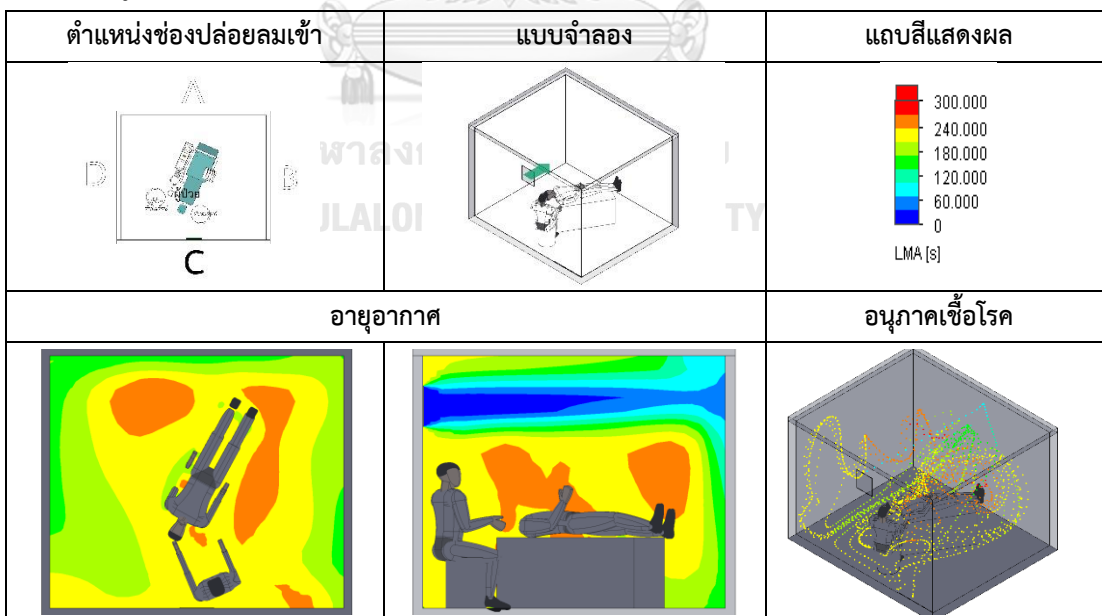
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกด้านปลายเท้าของผู้ป่วย ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	209.67
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	196.01
	G3	192.79
	G4	204.10
	G5 ผู้ป่วย	198.72
	G6 ทันตแพทย์	196.46
	G7	209.39
	G8	210.86
	G9	174.24
	ค่าเฉลี่ย	199.14

3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

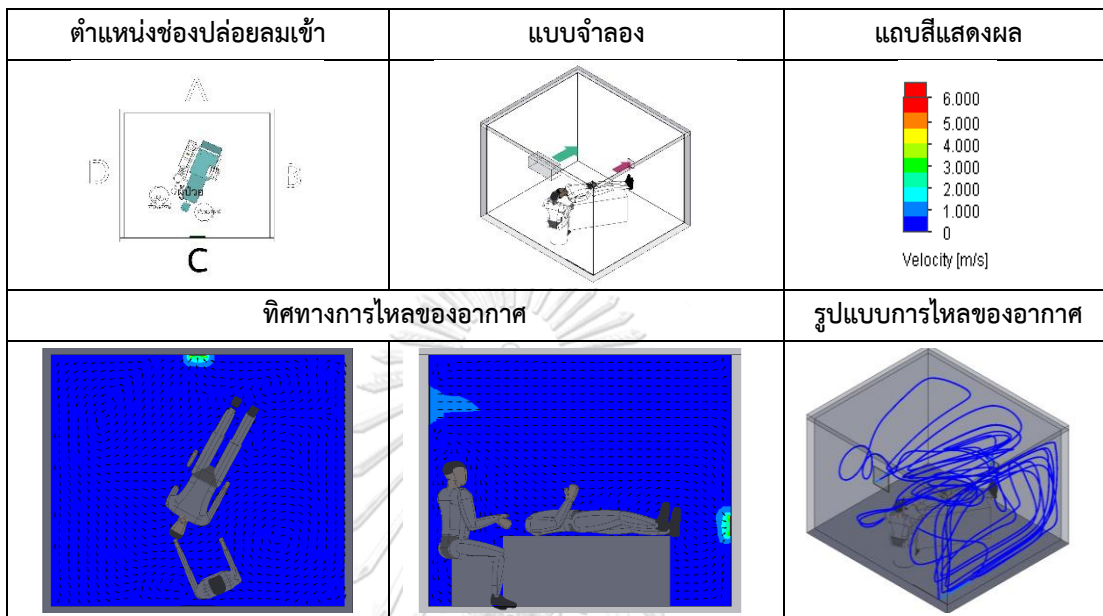


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

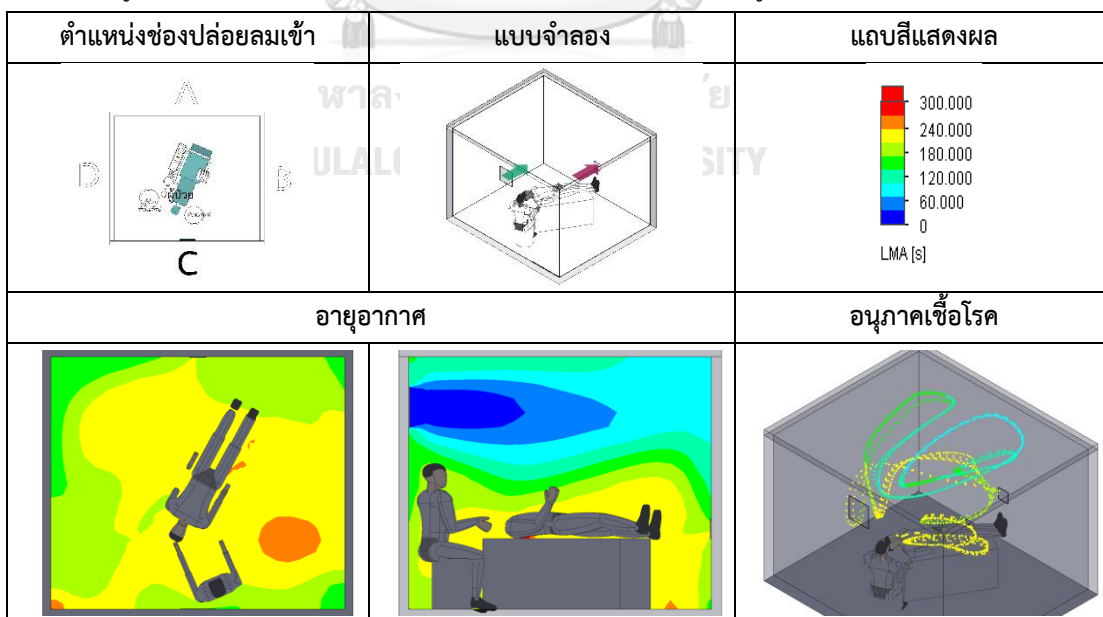


3.1 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

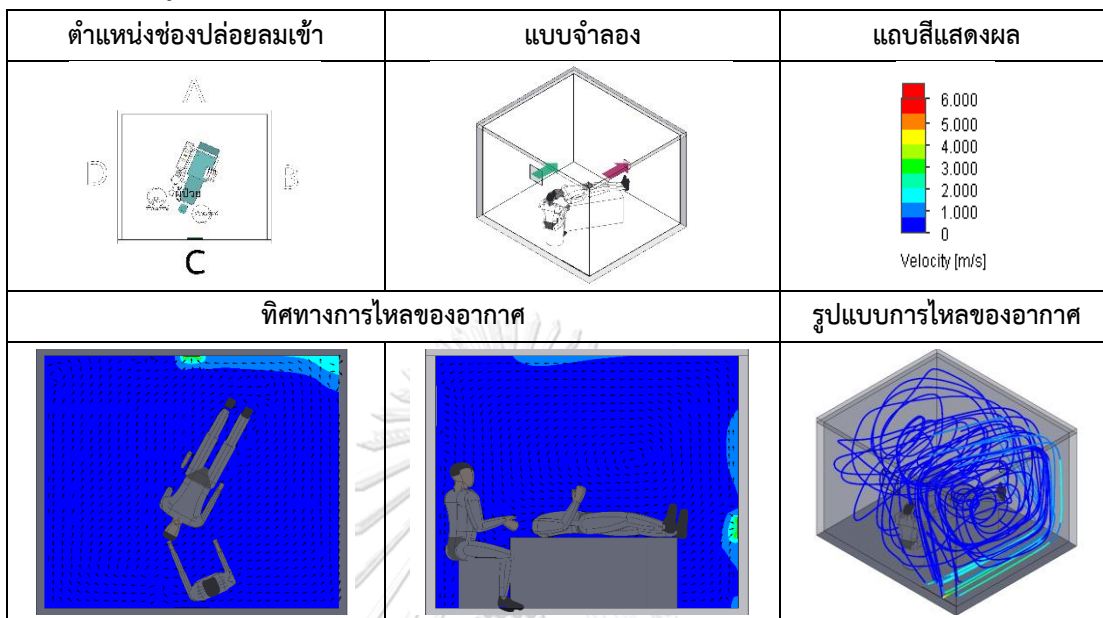
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)



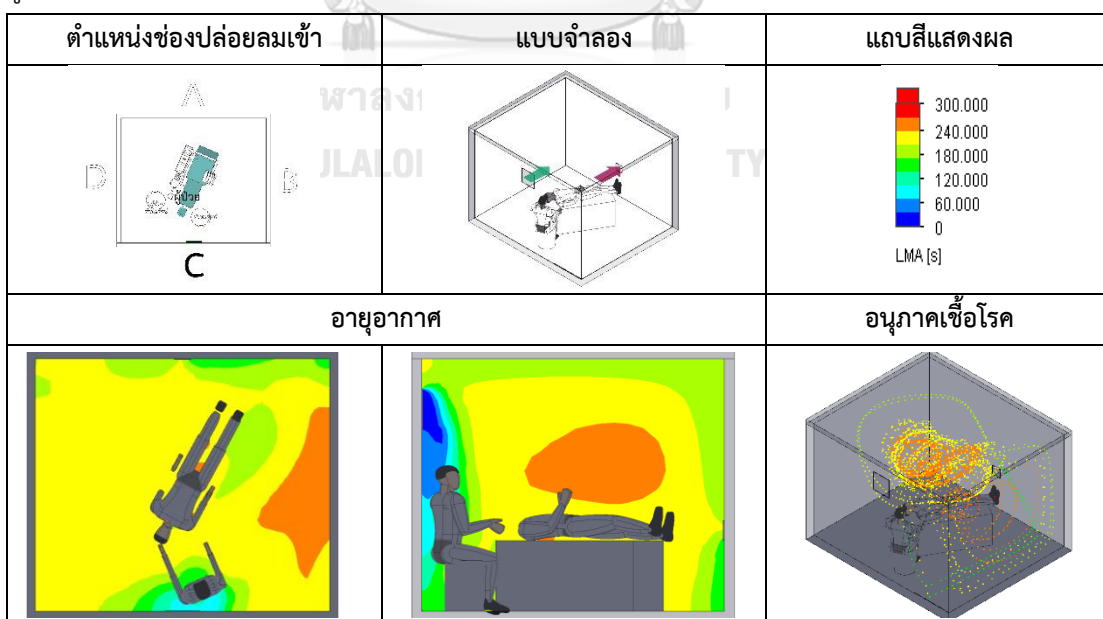
แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)



แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH
 สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนัง
 ด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

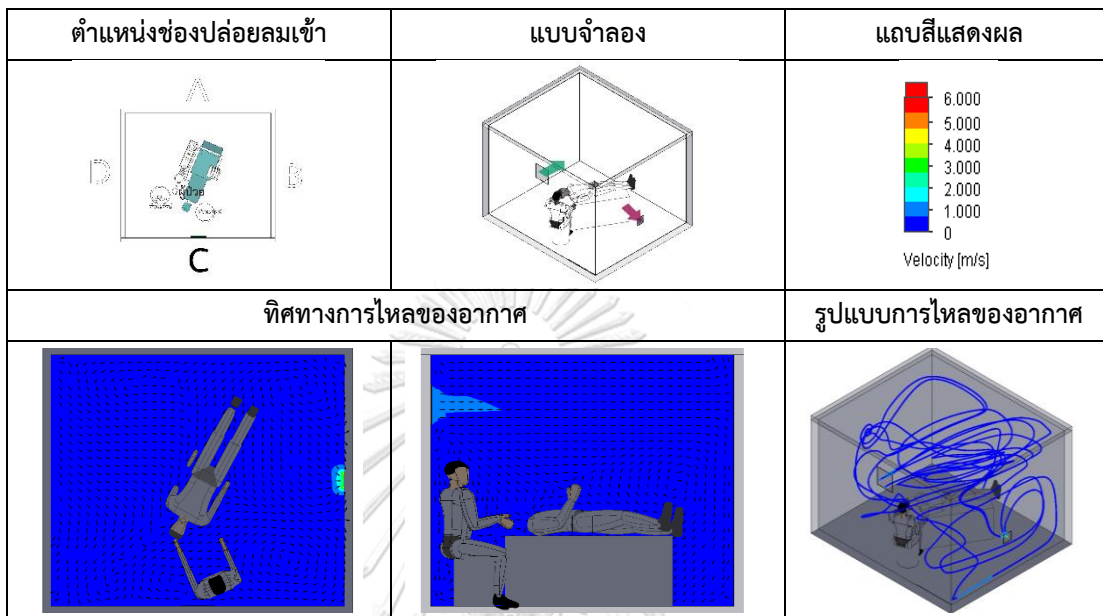


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH สถานการณ์
 ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้า
 ผู้ป่วย (ผนัง A)

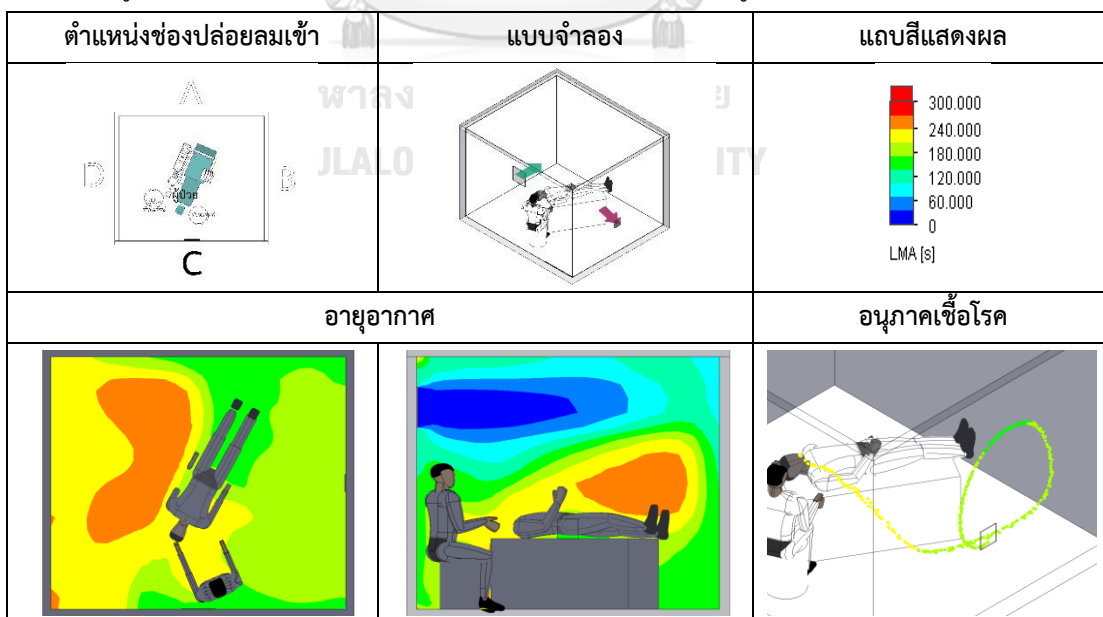


3.2 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

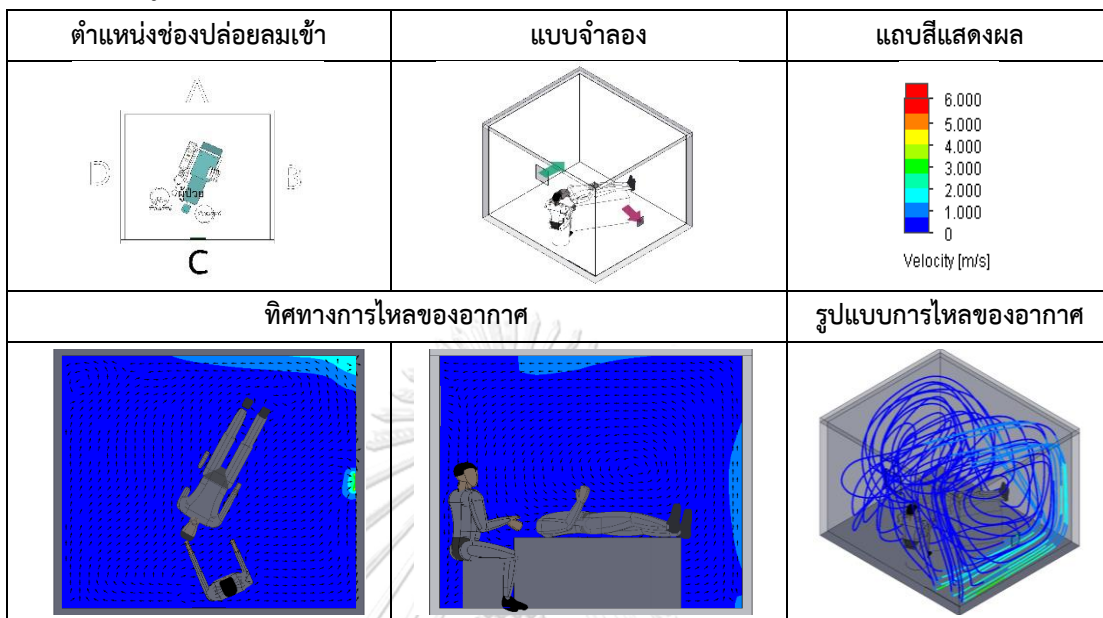
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)



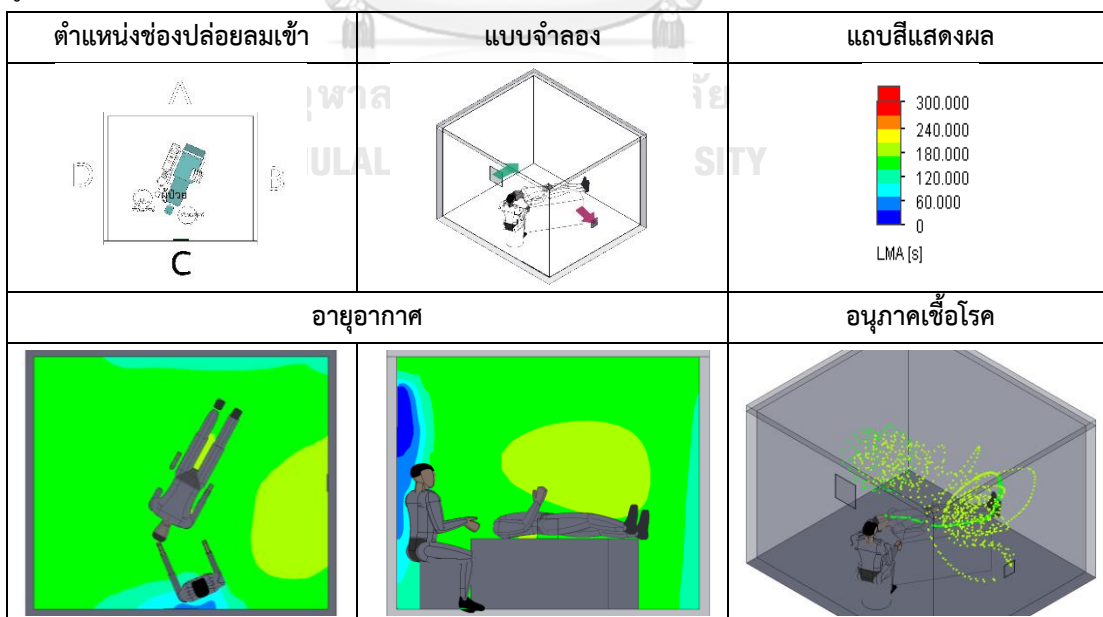
แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)



แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

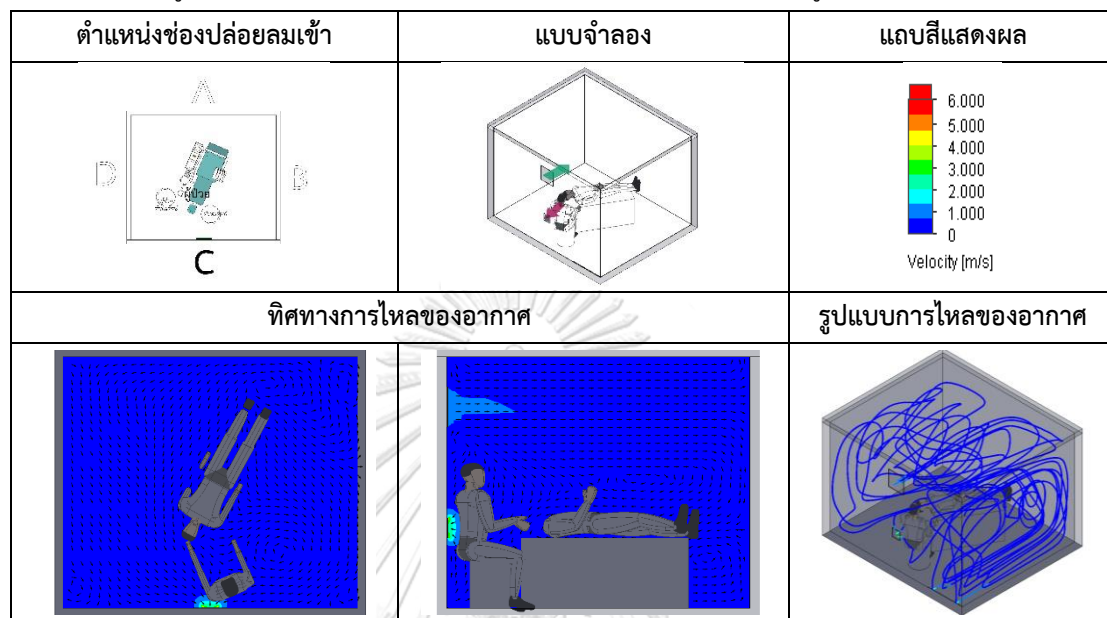


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

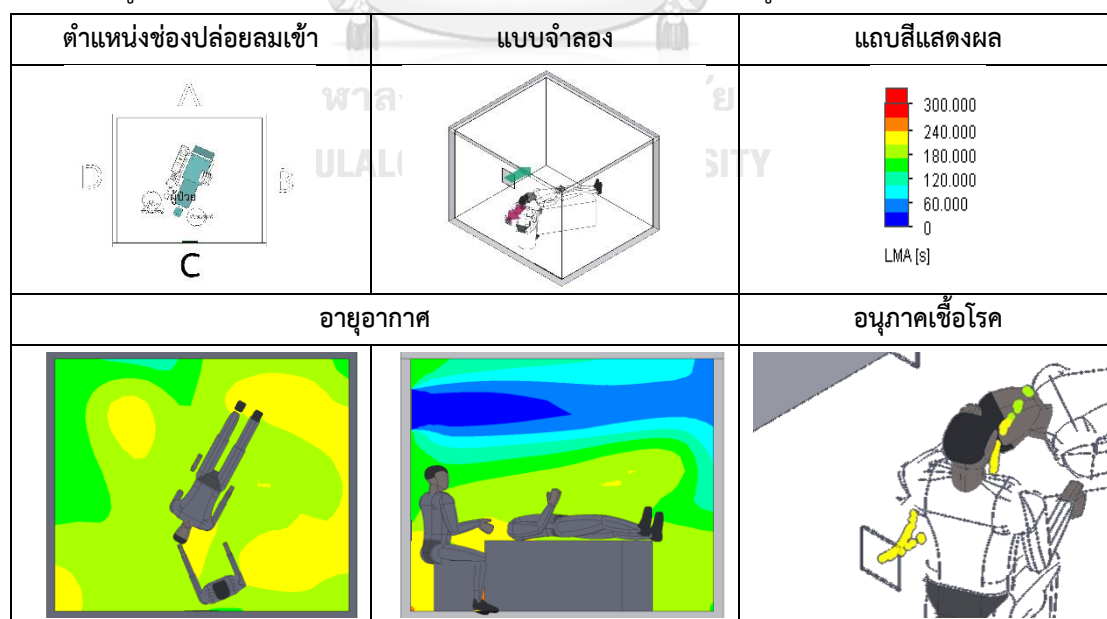


3.3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

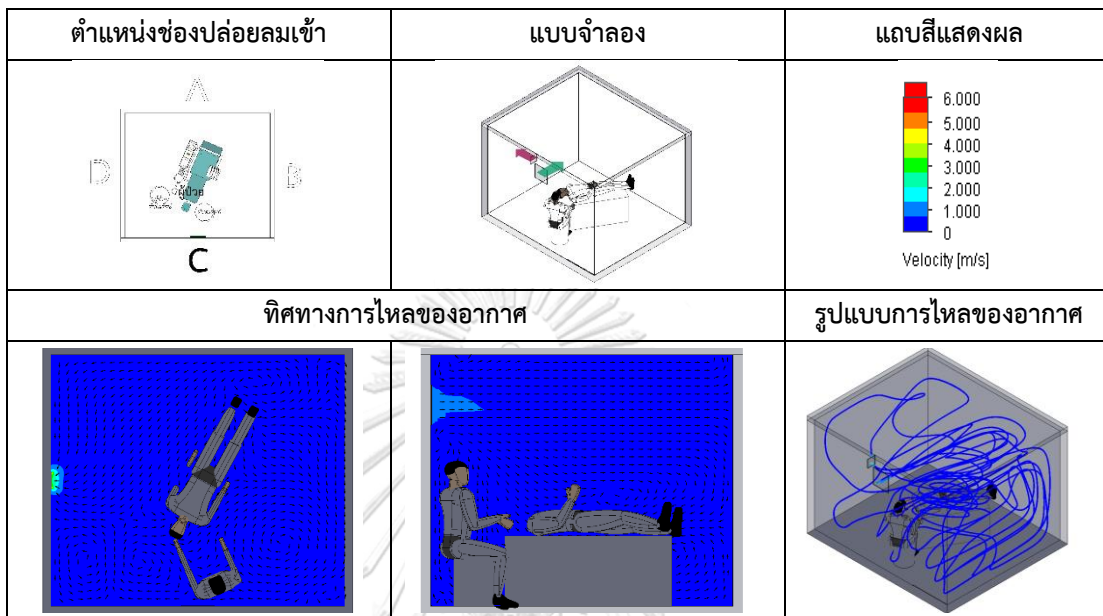


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

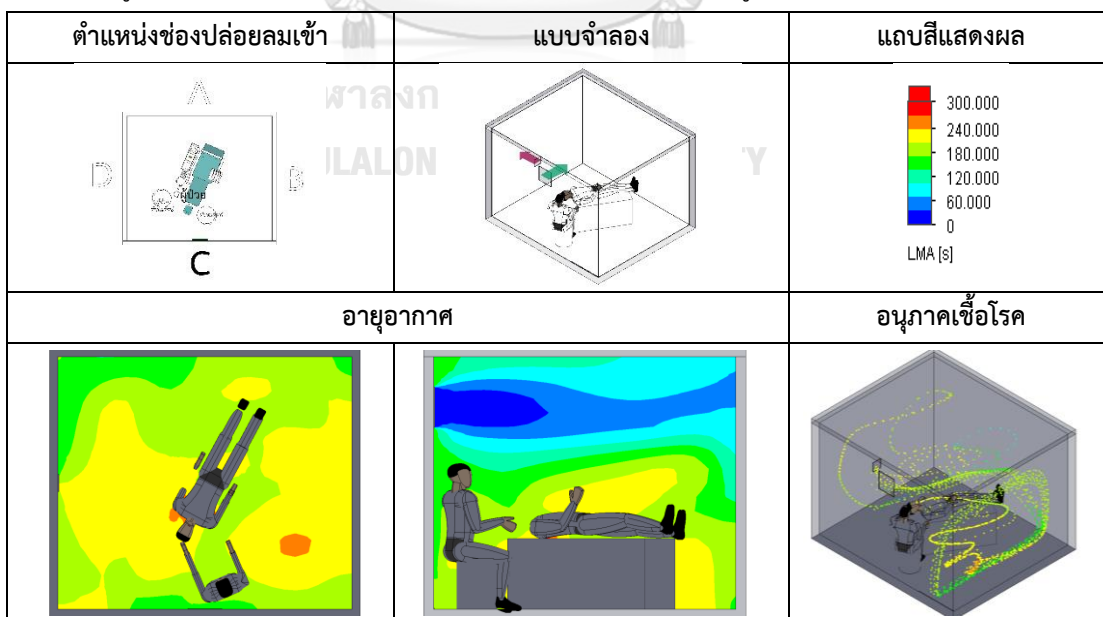


3.4 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

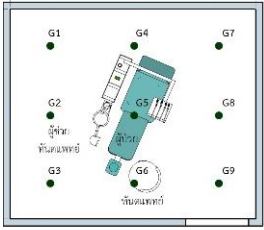
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



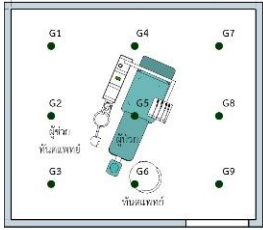
แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 12 ACH

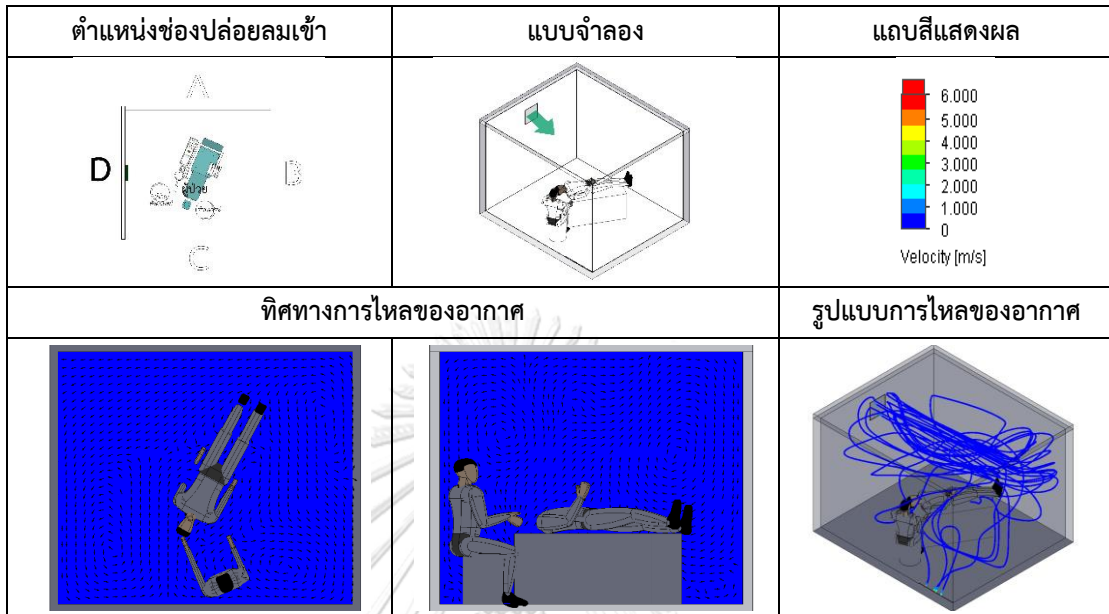
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย				
		ไม่ติดตั้ง	ปลายเท้า	ขวา	ศีรษะ	ซ้าย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	234.93	214.54	235.24	209.10	202.92
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	203.25	201.01	241.89	181.89	208.83
	G3	188.84	206.54	218.93	184.83	197.18
	G4	217.79	220.33	214.91	174.95	186.38
	G5 ผู้ป่วย	231.90	223.03	220.80	213.13	223.15
	G6 ทันตแพทย์	219.17	220.67	211.60	198.65	180.23
	G7	237.77	221.88	166.75	193.41	199.89
	G8	235.48	223.553	181.99	196.47	203.96
	G9	230.93	222.20	187.42	209.63	218.75
	ค่าเฉลี่ย	222.23	217.084	208.84	195.78	202.37

ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH

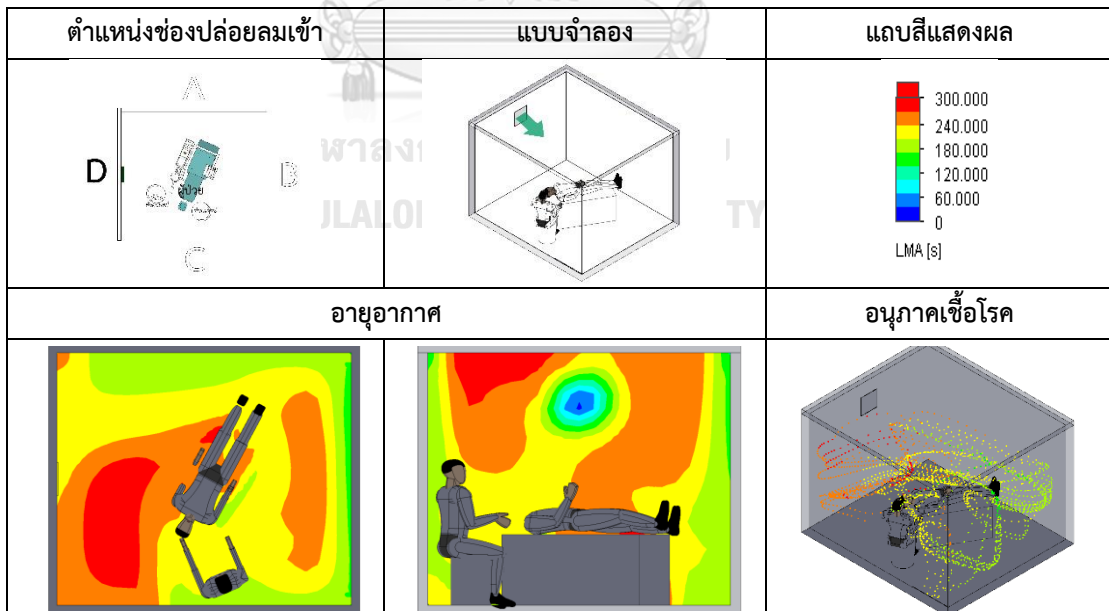
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย ที่อัตราแลกเปลี่ยนอากาศ 6 ACH	
		ปลายเท้า	ขวา
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	224.31	159.03
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	210.64	156.34
	G3	207.69	149.79
	G4	215.98	162.38
	G5 ผู้ป่วย	200.68	154.38
	G6 ทันตแพทย์	163.73	135.10
	G7	183.61	143.14
	G8	227.78	166.42
	G9	210.74	164.49
	ค่าเฉลี่ย	205.02	154.56

4. รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

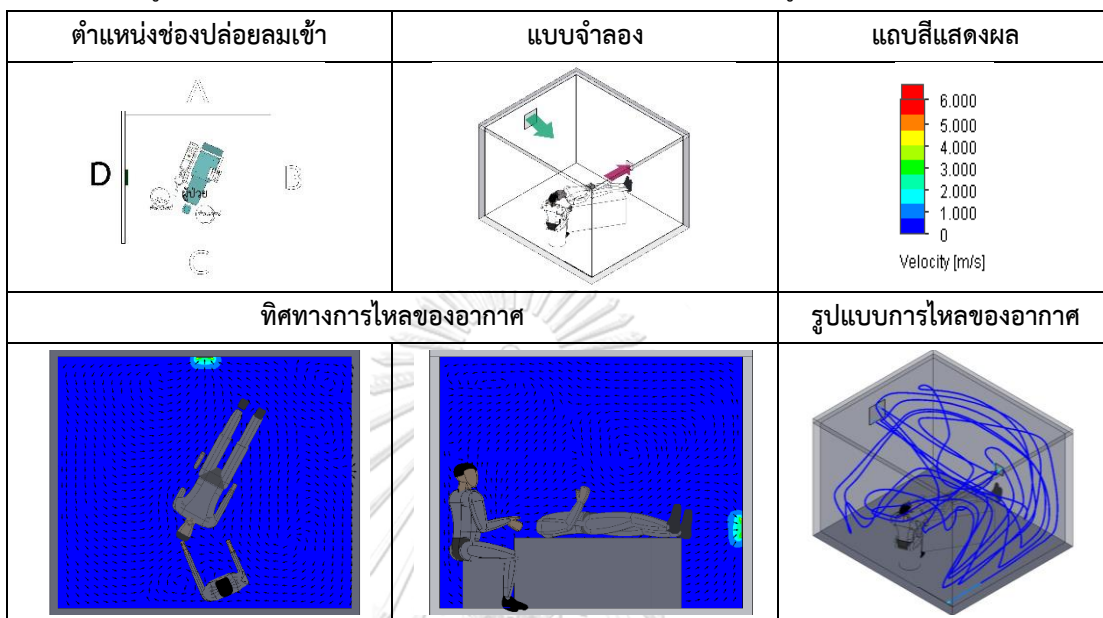


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

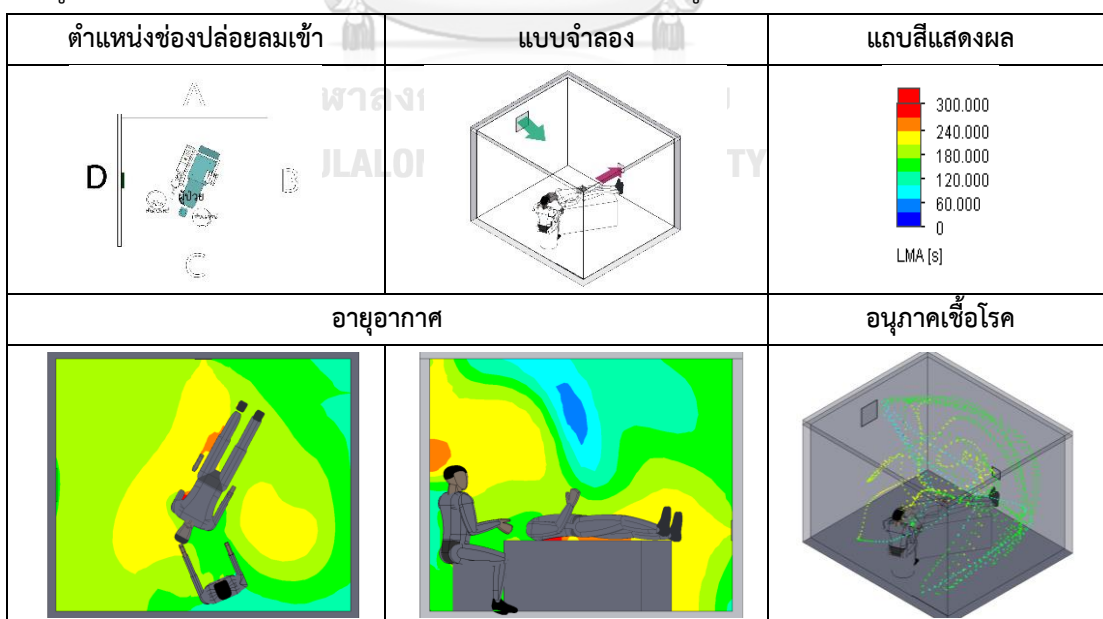


4.1 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

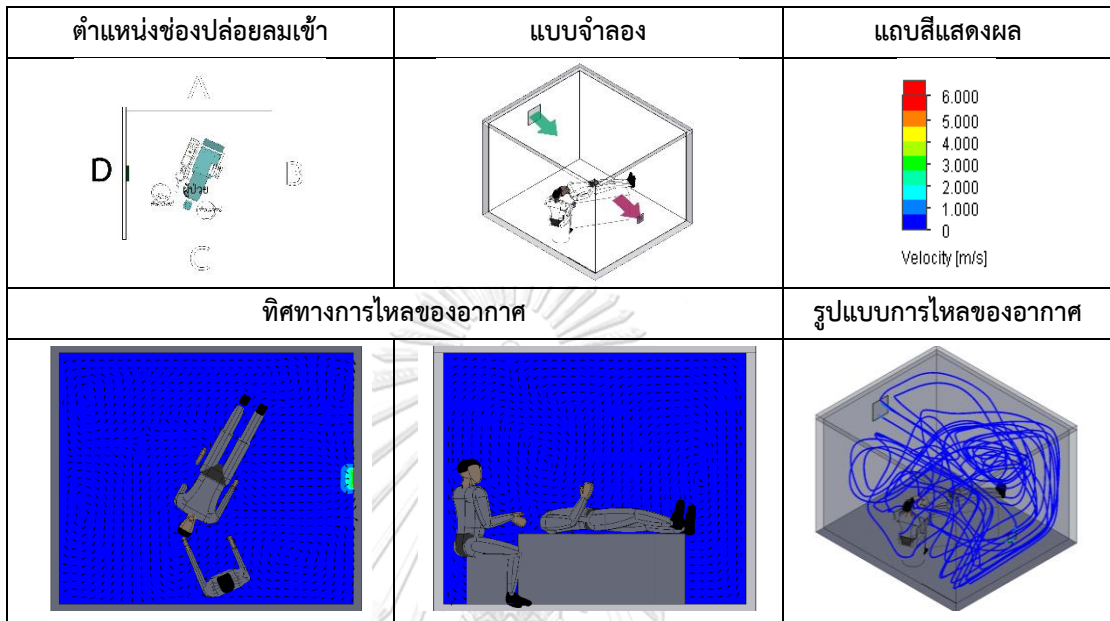


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

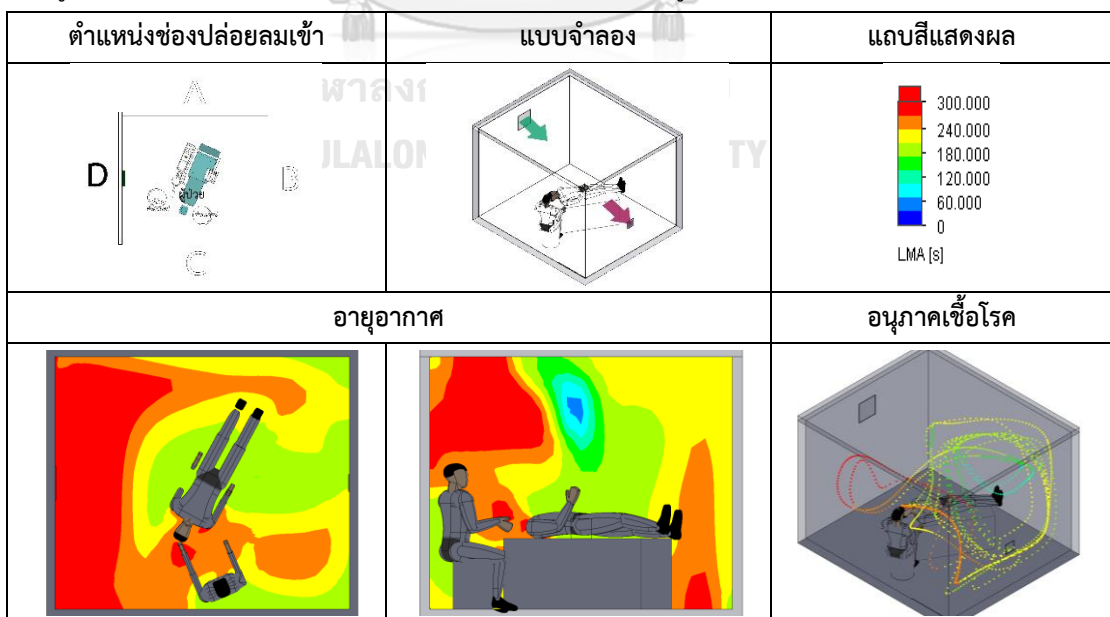


4.2 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

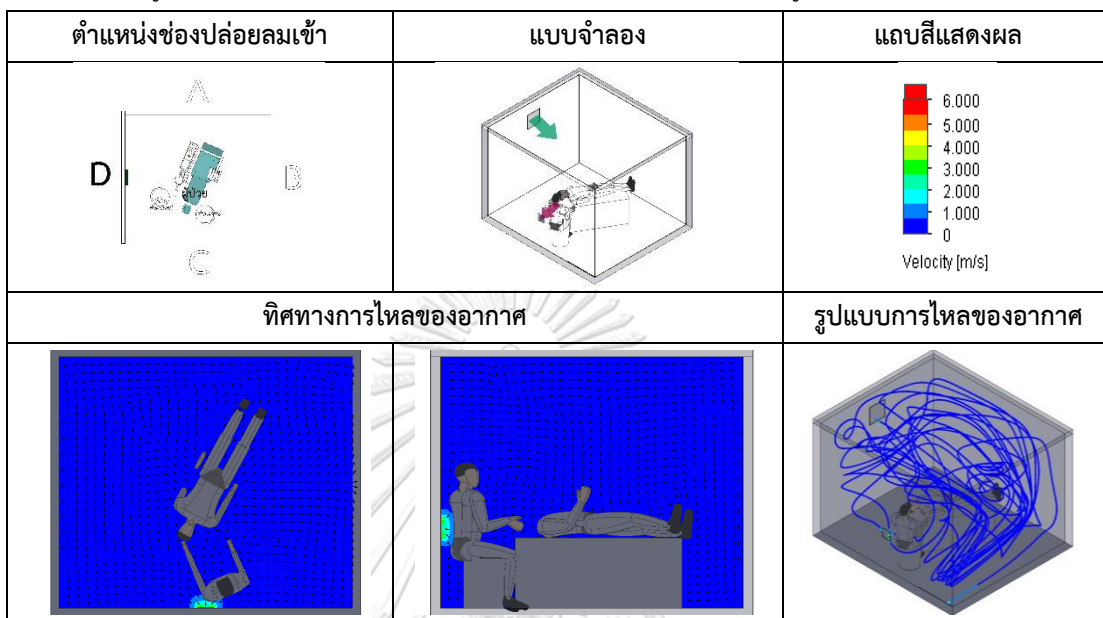


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

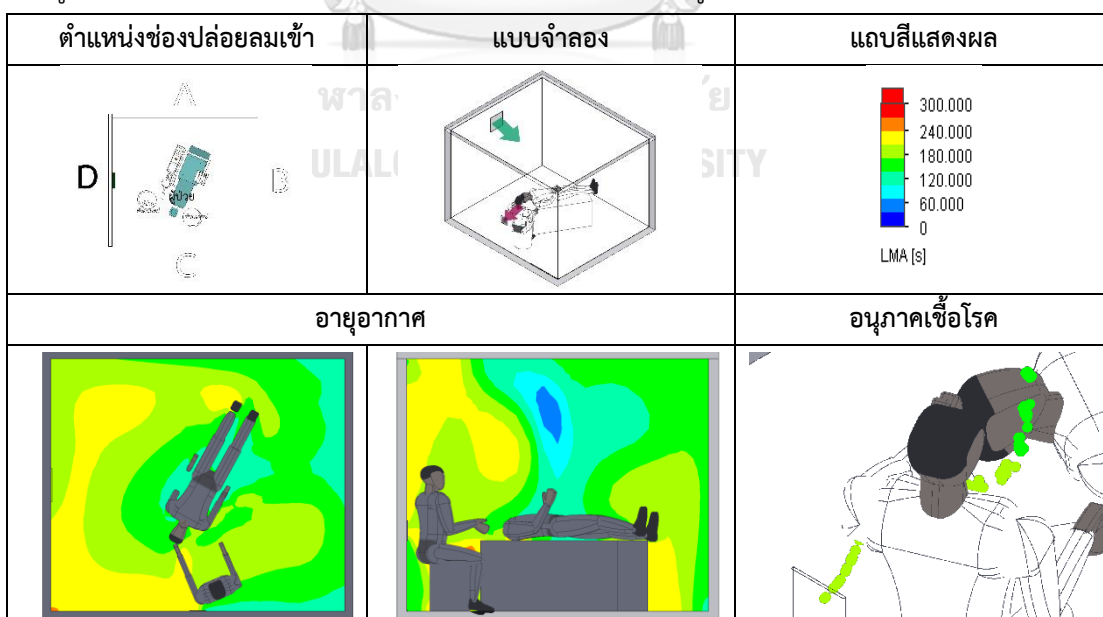


4.3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

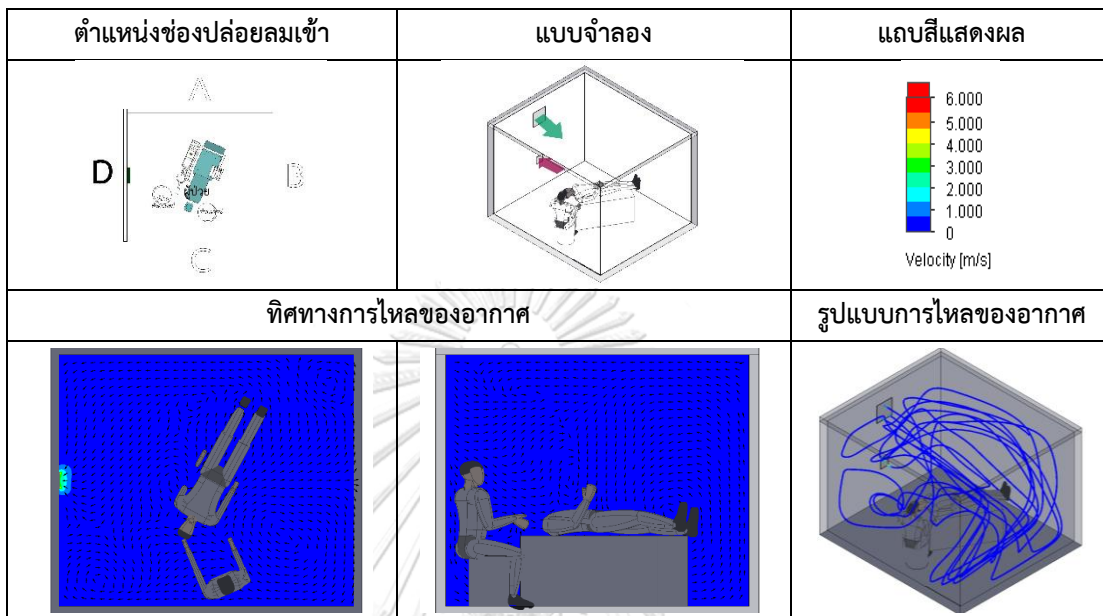


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

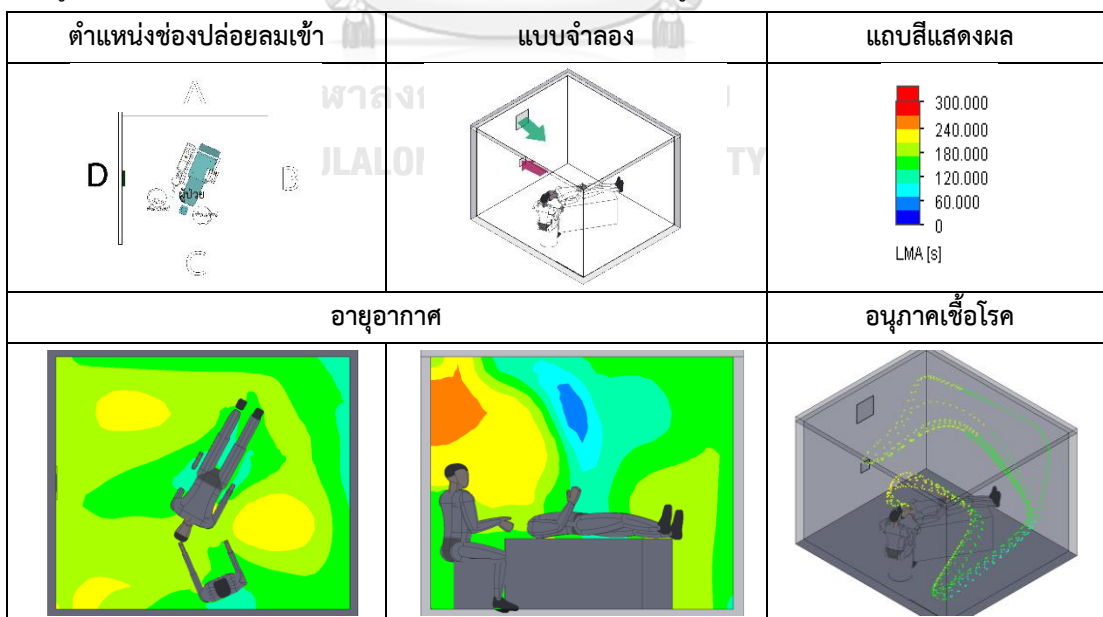


4.4 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

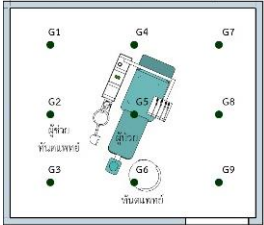
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

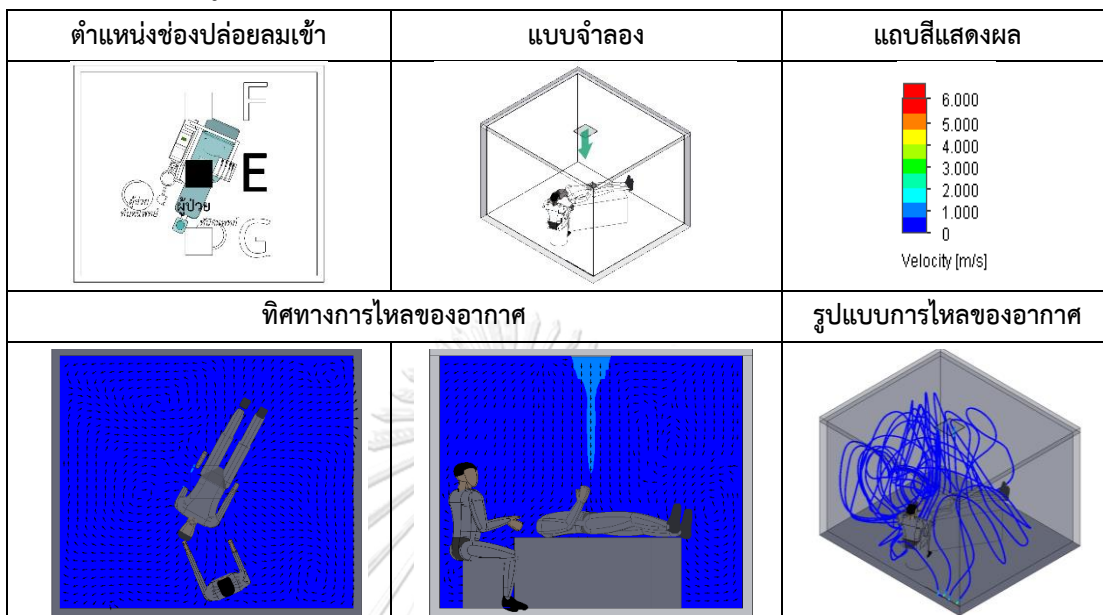


ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม

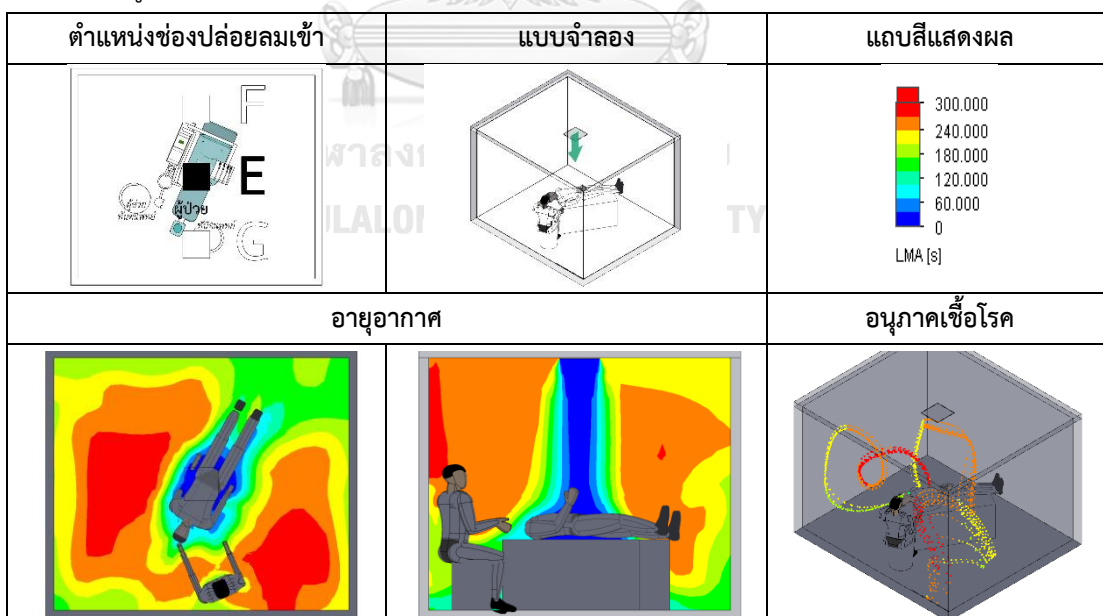
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย				
		ไม่ติดตั้ง	ปลายเท้า	ขวา	ศีรษะ	ซ้าย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	217.26	191.83	277.49	201.65	201.92
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	279.01	205.64	249.29	165.00	150.47
	G3	274.18	199.40	252.31	200.54	195.85
	G4	244.65	222.44	198.42	158.79	179.83
	G5 ผู้ป่วย	229.88	162.03	264.63	165.22	175.33
	G6 ทันตแพทย์	213.63	165.76	242.69	180.66	172.24
	G7	228.27	178.43	207.68	172.319	174.43
	G8	226.51	204.55	181.22	165.60	206.97
	G9	225.34	177.54	240.77	163.46	164.63
	ค่าเฉลี่ย	237.64	189.74	234.94	174.804	180.19

5. รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E)

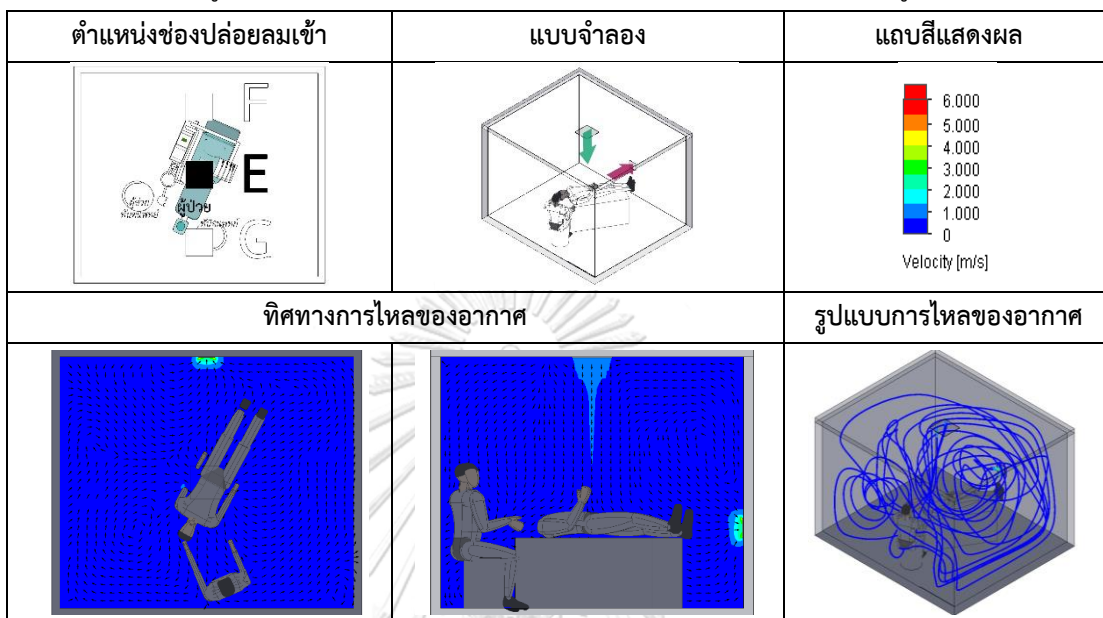


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E)

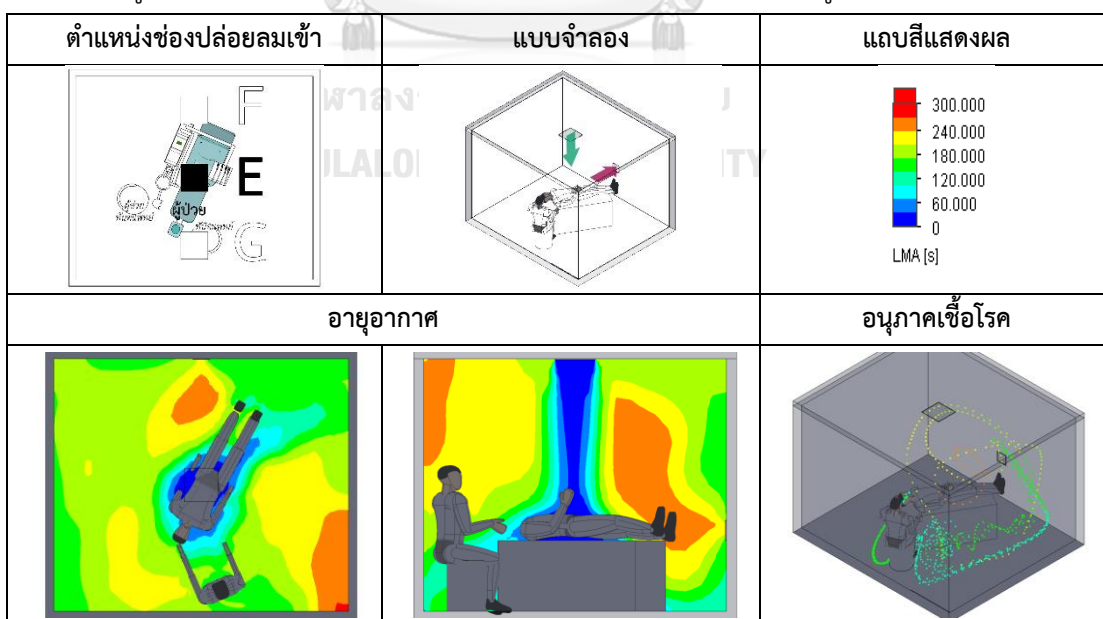


5.1 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

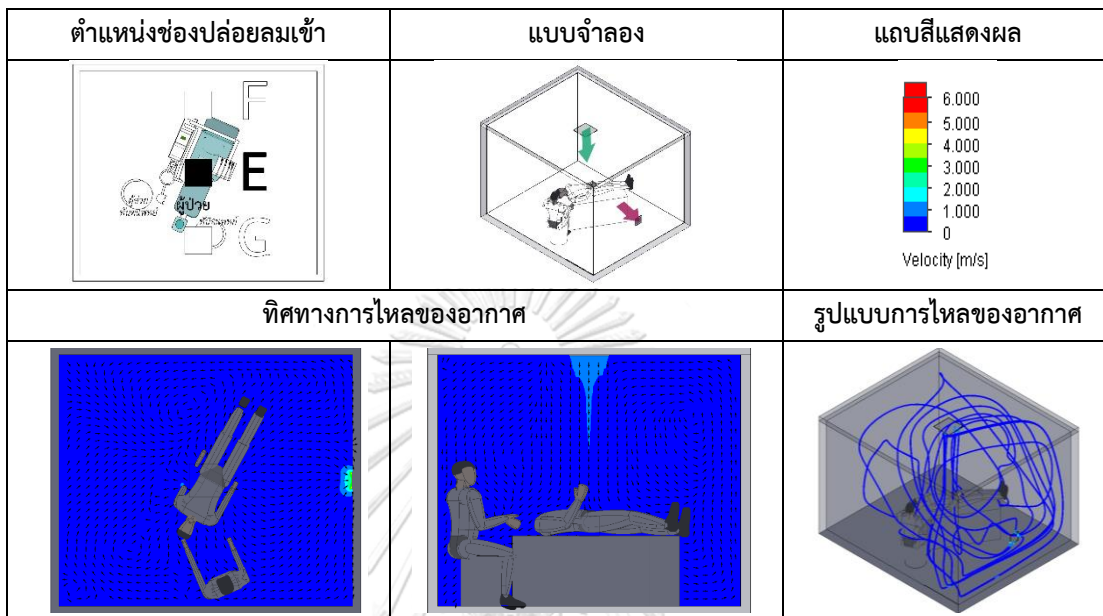


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

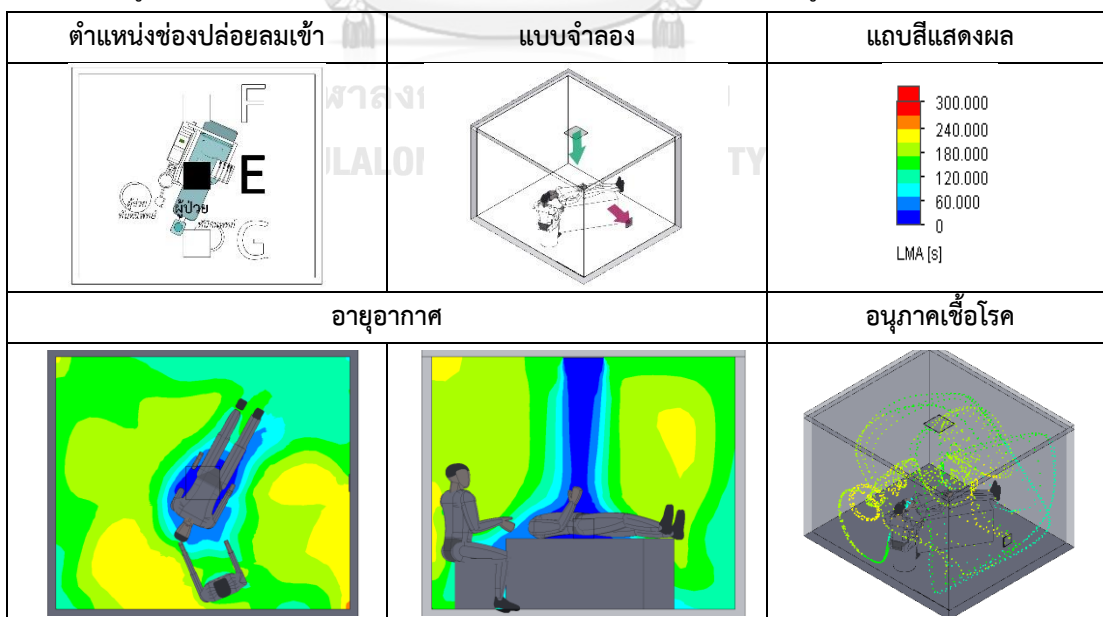


5.2 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

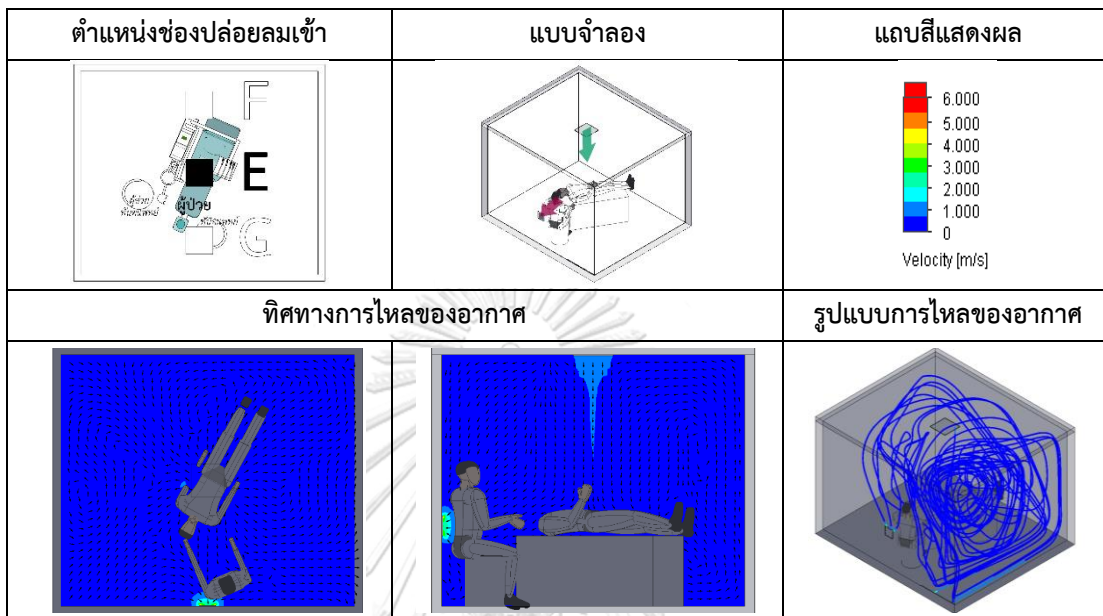


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

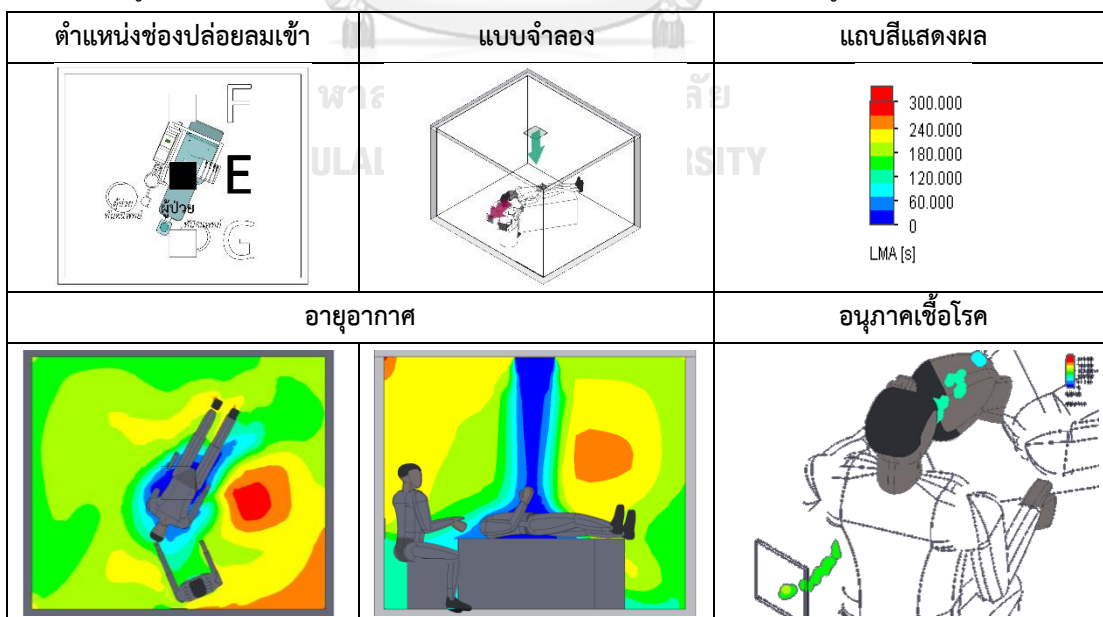


5.3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

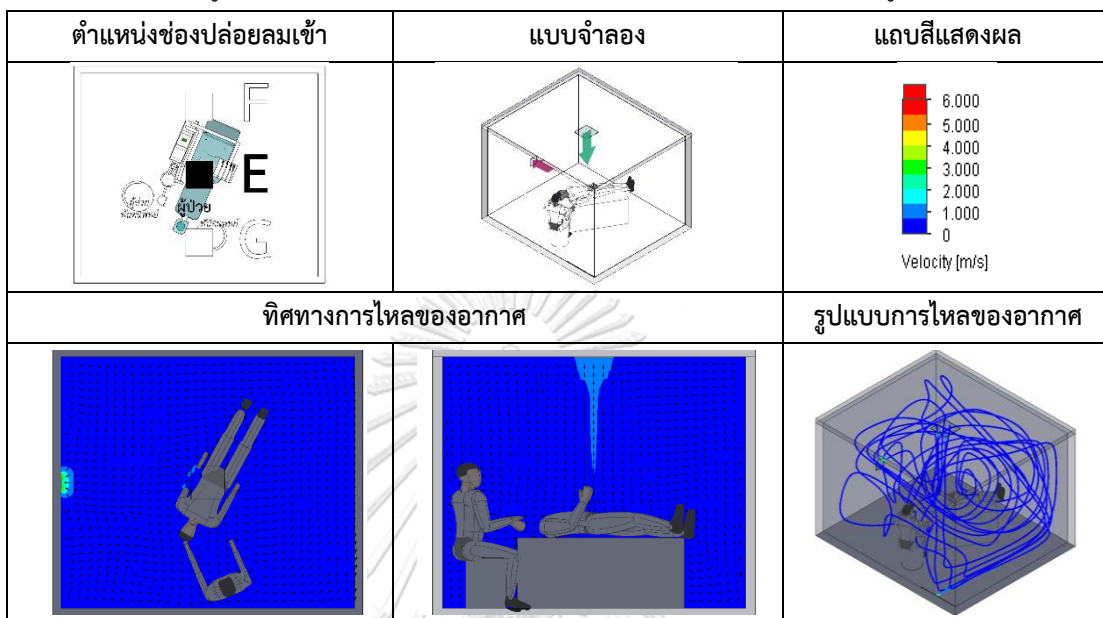


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

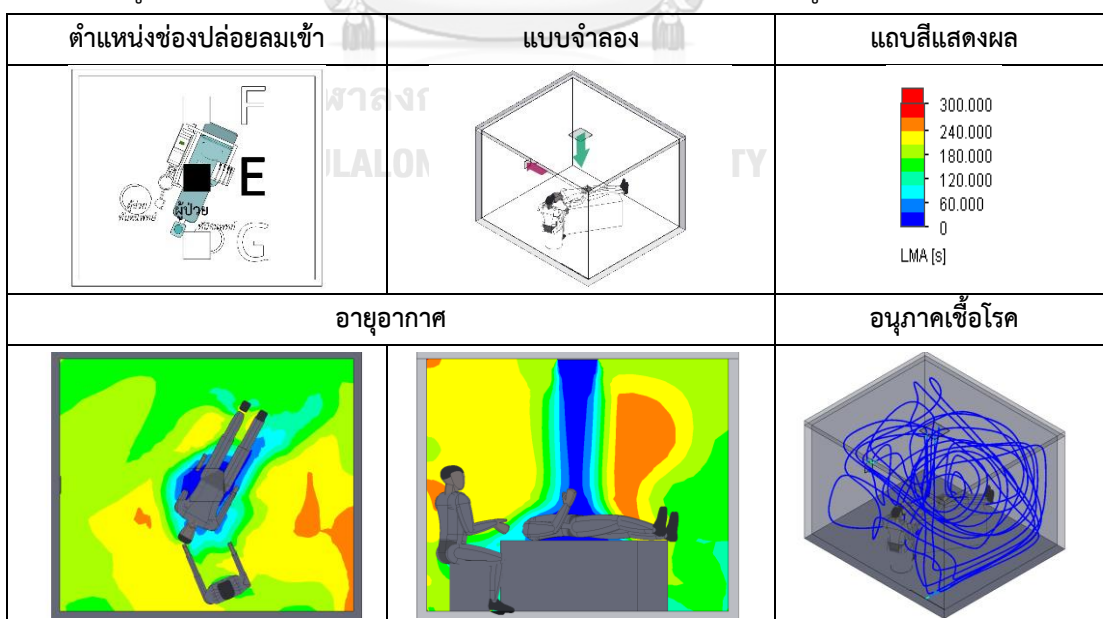


5.4 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

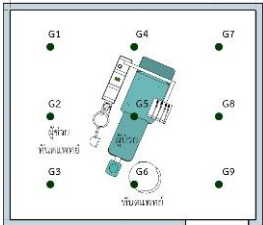
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

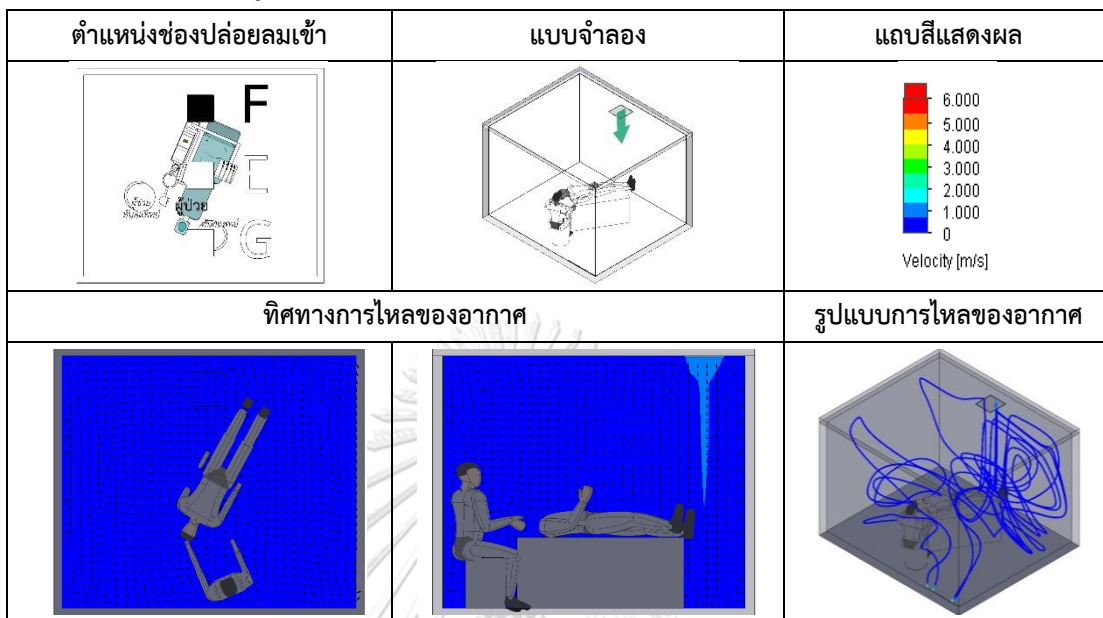


ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน E) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม

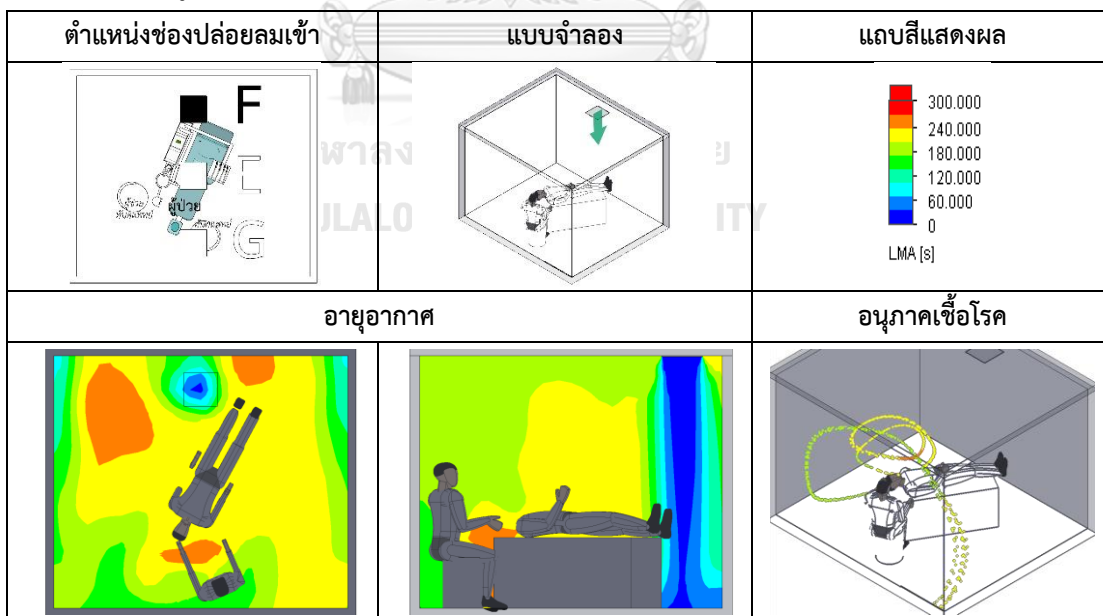
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือลำตัวผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย				
		ไม่ ติดตั้ง	ปลายเท้า	ขวา	ศีรษะ	ซ้าย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	261.52	190.74	166.75	199.09	169.84
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	287.41	196.60	180.51	172.75	219.57
	G3	242.96	203.20	222.22	199.44	212.77
	G4	243.88	215.17	163.77	207.61	229.76
	G5 ผู้ป่วย	68.98	55.79	47.71	61.49	62.76
	G6 ทันตแพทย์	254.07	177.71	166.78	134.79	187.37
	G7	122.87	92.35	83.07	113.25	96.74
	G8	245.50	223.87	201.83	284.18	218.23
	G9	286.10	179.84	173.35	206.57	208.28
	ค่าเฉลี่ย	223.70	170.59	156.22	175.46	178.37

6. รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F)

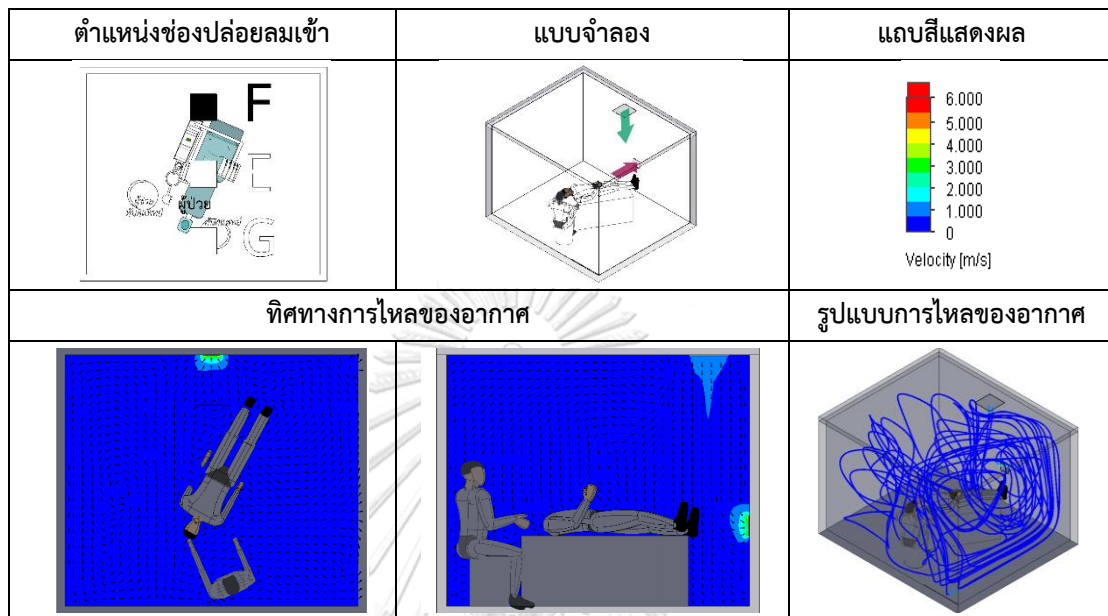


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F)

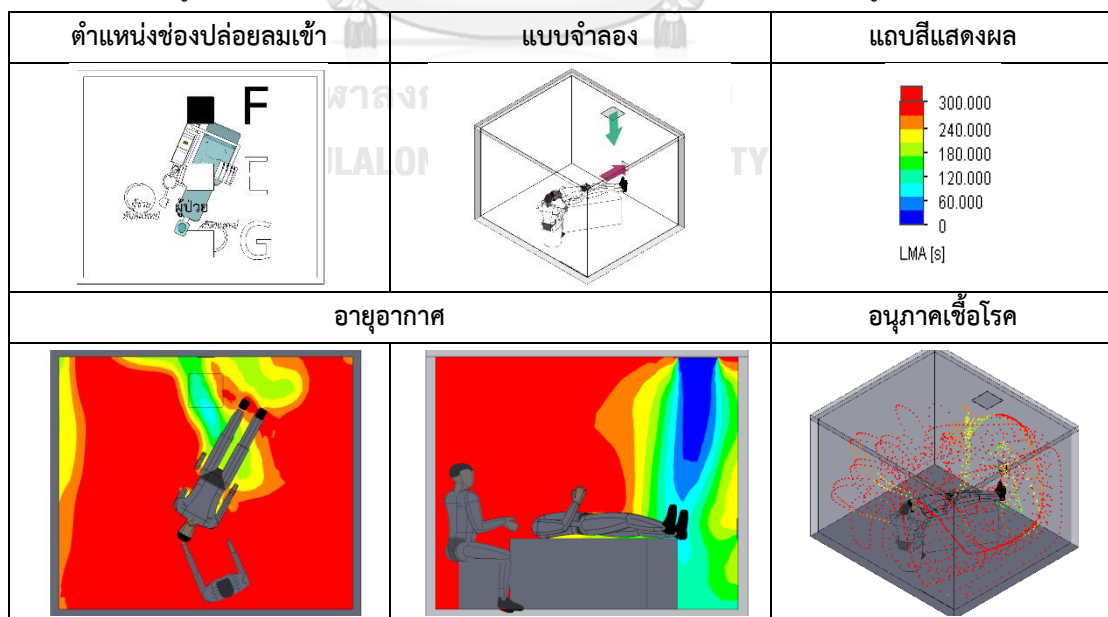


6.1 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

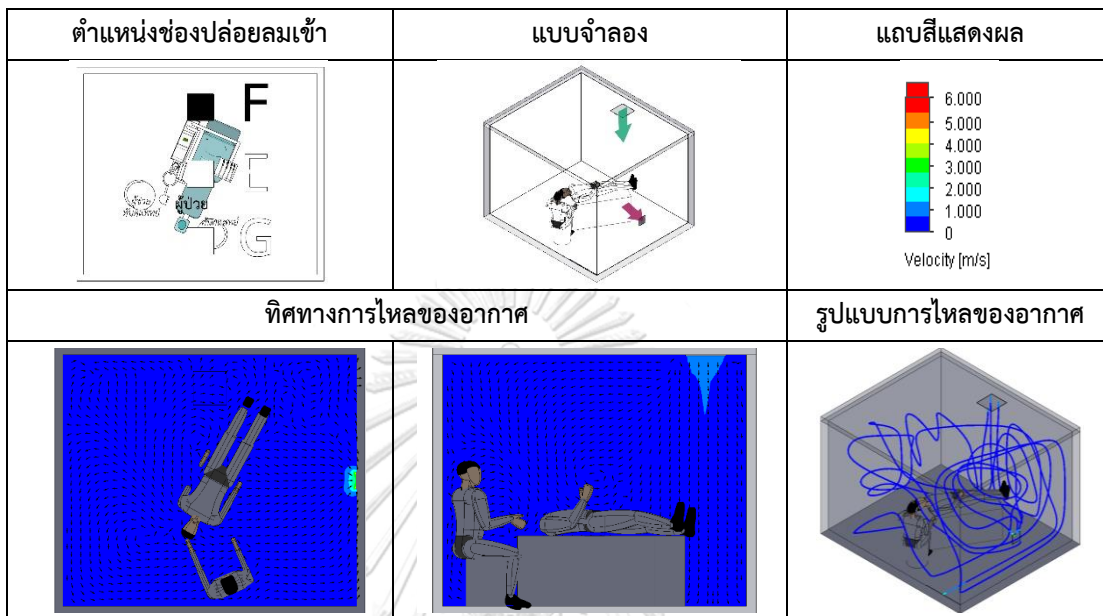


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

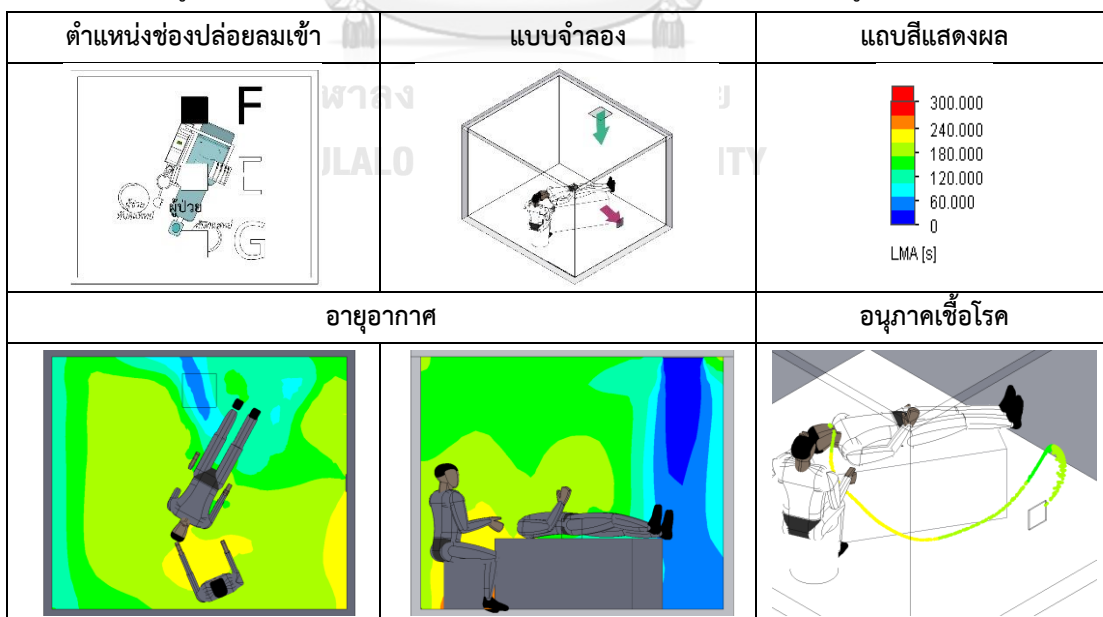


6.2 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

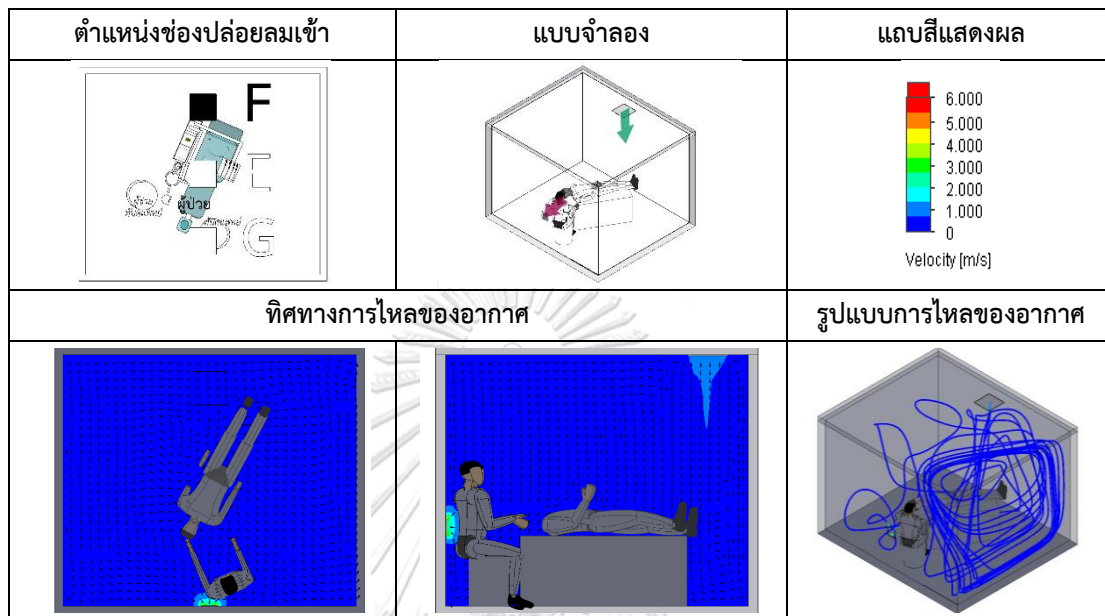


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

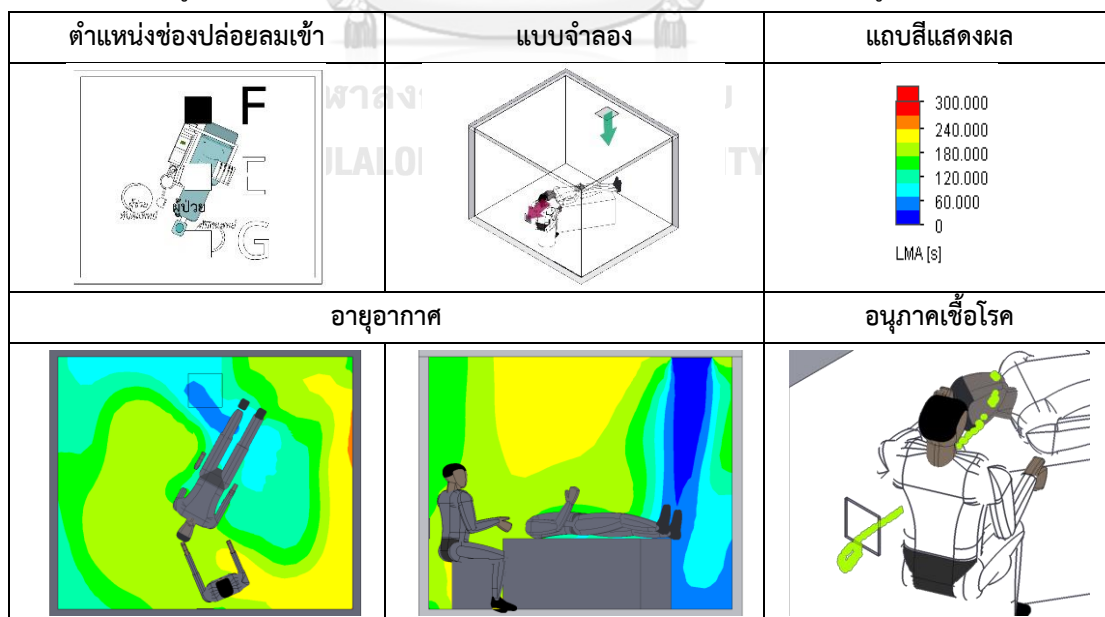


6.3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

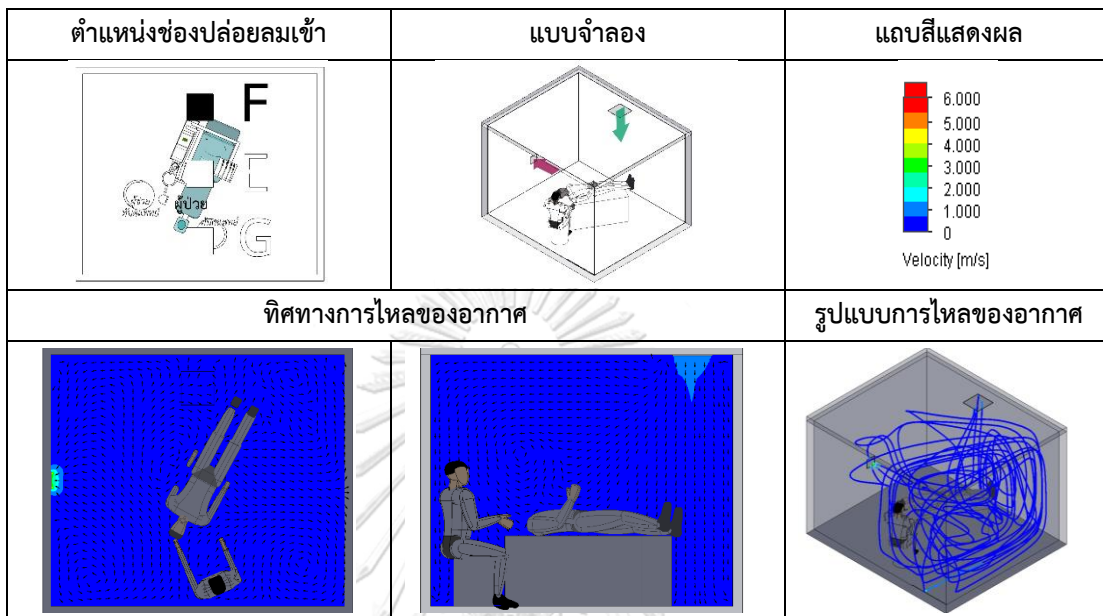


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

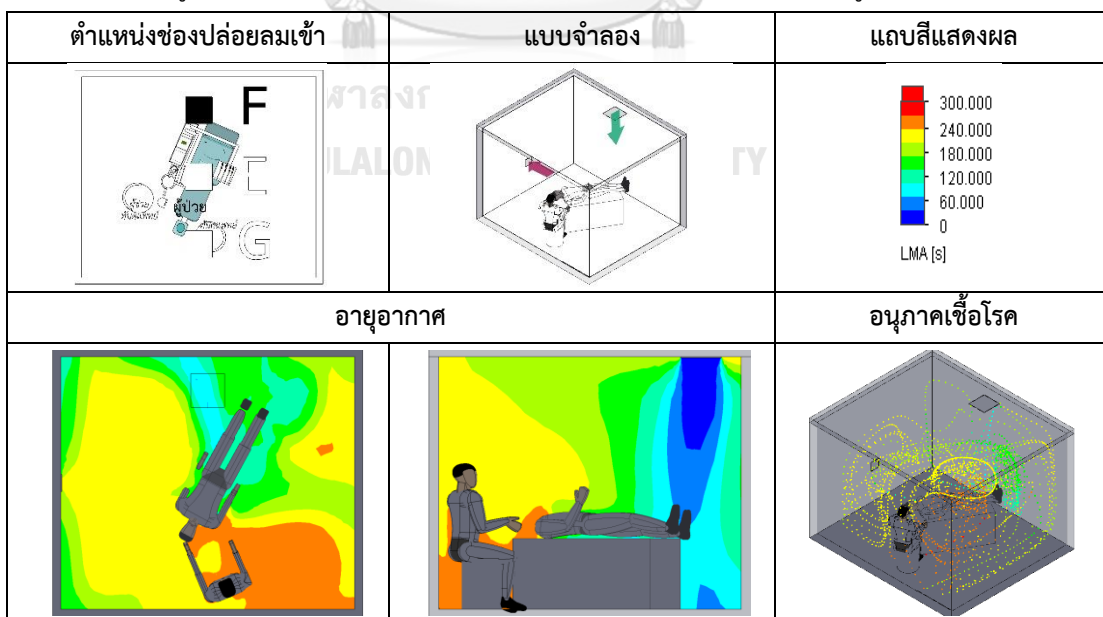


6.4 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

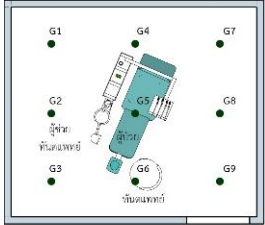
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

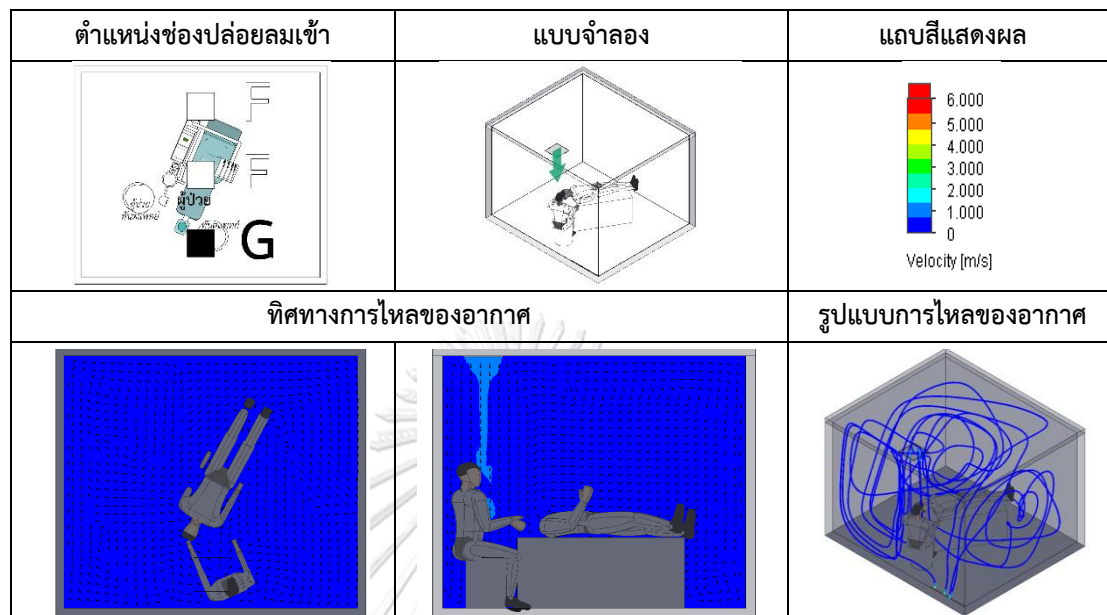


ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน F) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม

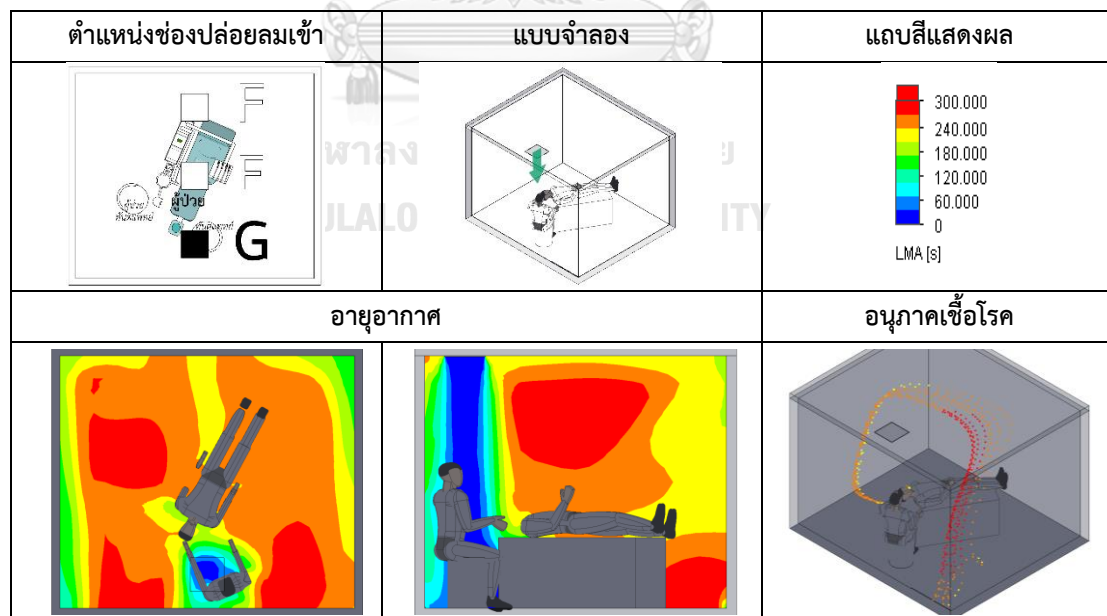
อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือปลายเท้าผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย				
		ไม่ติดตั้ง	ปลายเท้า	ขวา	ศีรษะ	ซ้าย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	246.06	372.08	177.27	194.00	226.63
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	210.78	370.30	175.13	195.29	215.31
	G3	176.86	328.22	185.72	192.39	214.65
	G4	213.42	148.75	114.50	97.73	97.37
	G5 ผู้ป่วย	209.77	322.00	197.44	182.33	239.78
	G6 ทันตแพทย์	207.68	335.89	213.02	188.75	232.59
	G7	219.92	269.38	102.14	108.11	140.78
	G8	207.10	293.27	175.86	106.69	173.73
	G9	196.05	345.75	185.71	187.05	246.19
	ค่าเฉลี่ย	209.74	309.52	169.64	161.37	198.56

7. รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G)

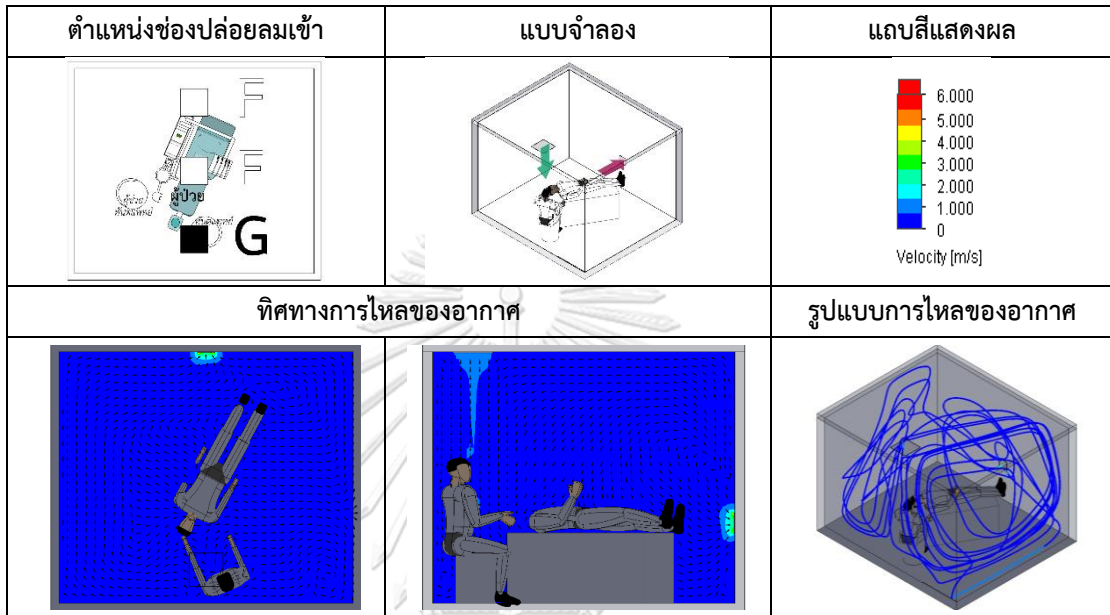


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G)

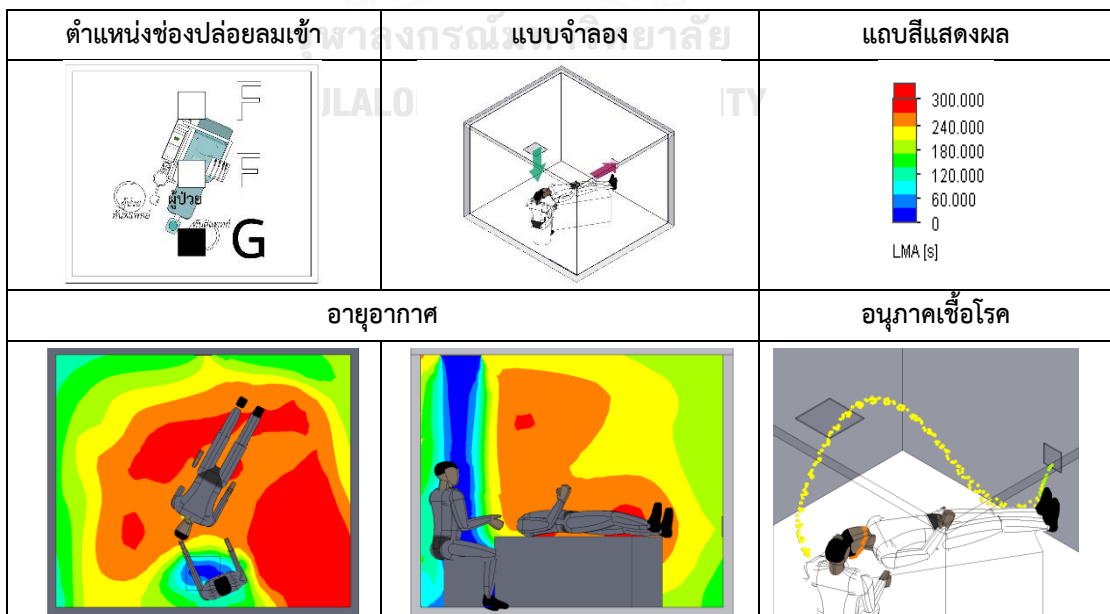


7.1 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

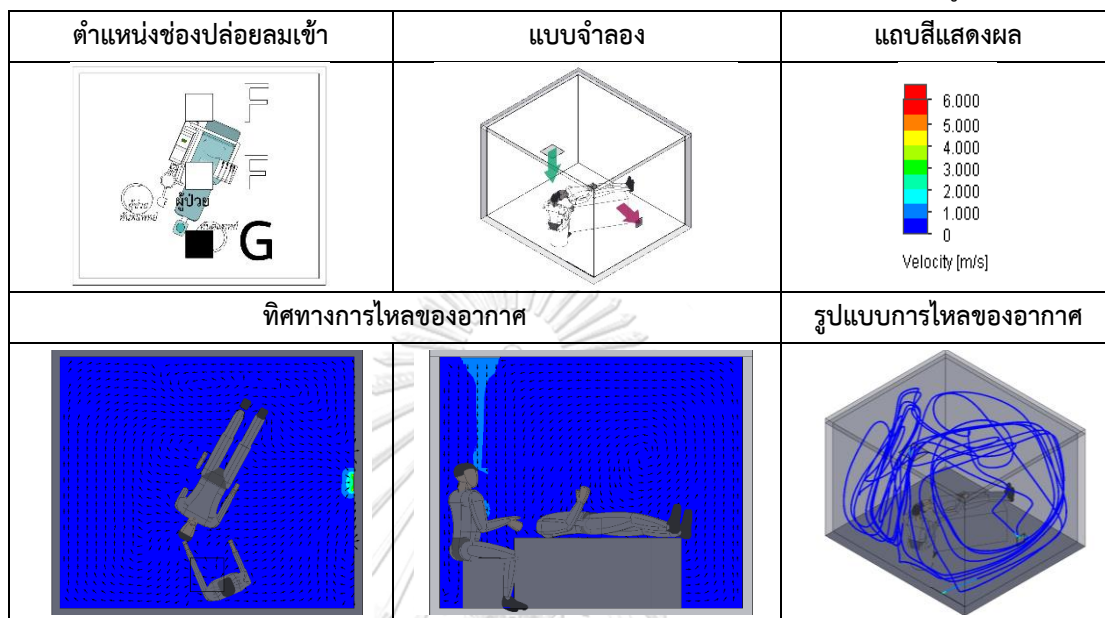


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านปลายเท้าผู้ป่วย (ผนัง A)

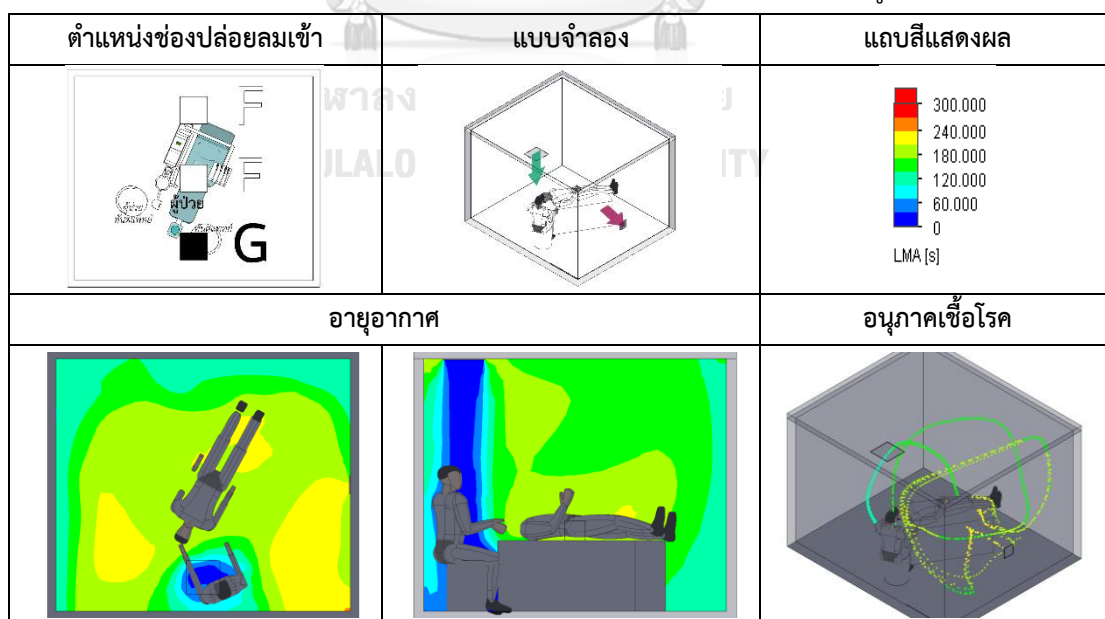


7.2 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

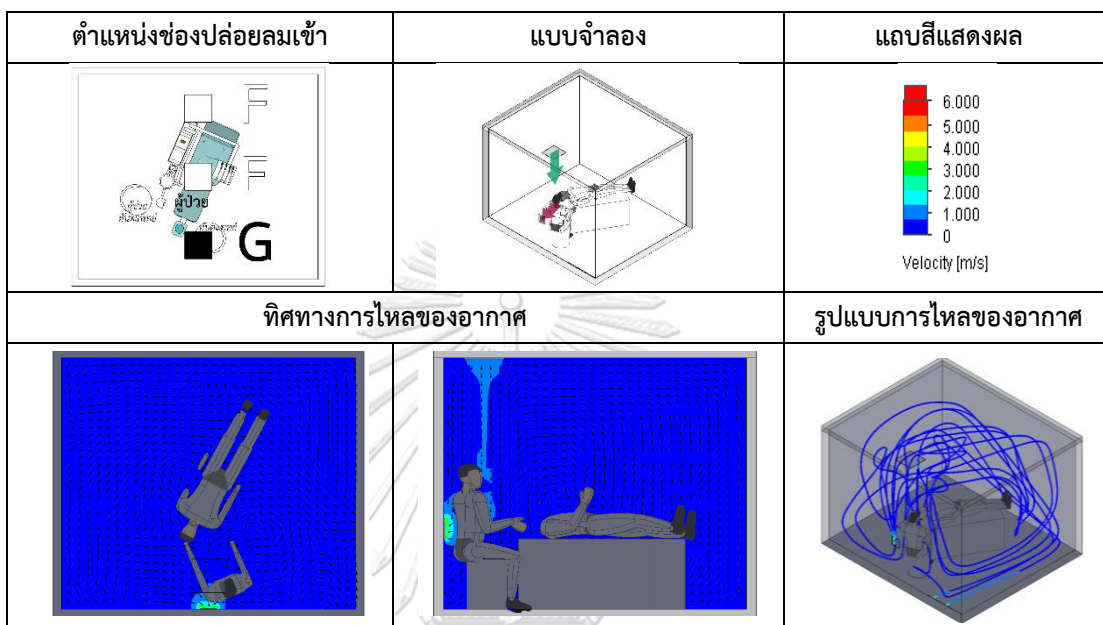


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านขวาของผู้ป่วย (ผนัง B)

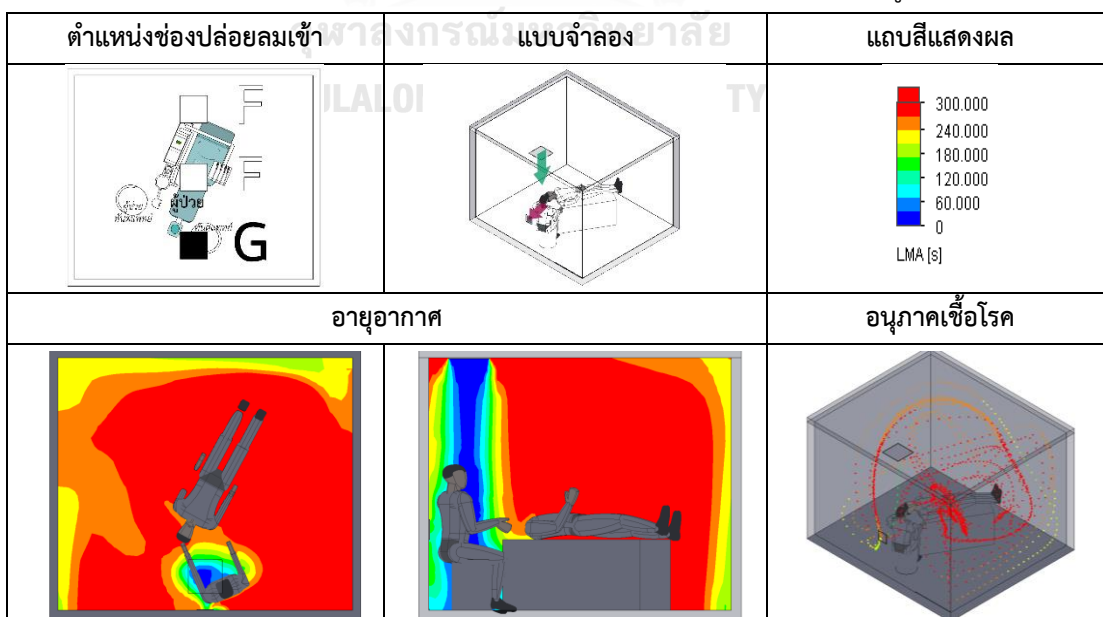


7.3 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง c)

แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

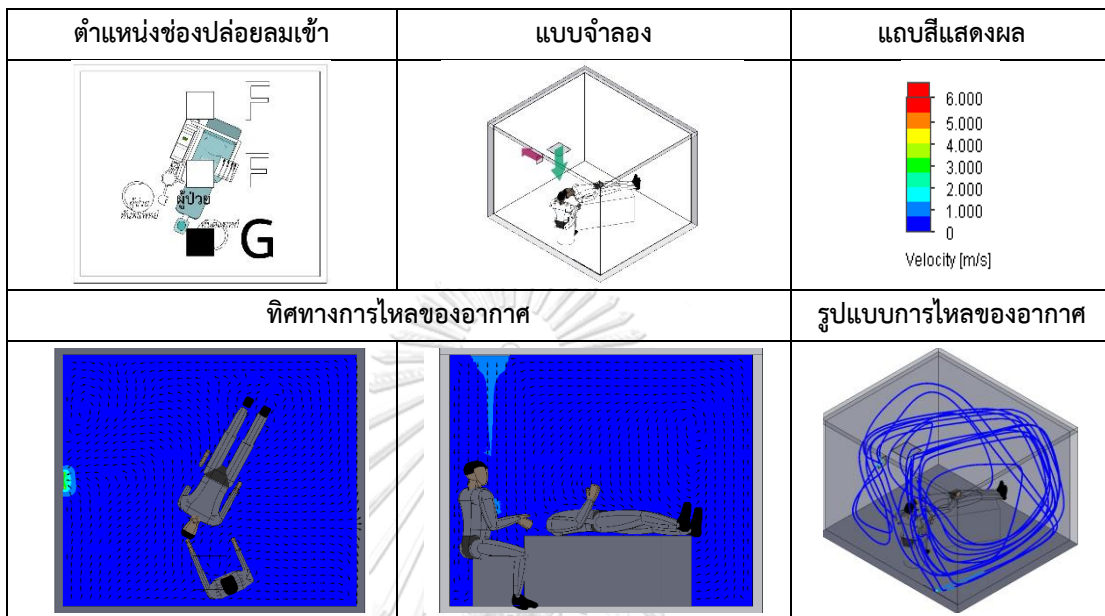


แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านศีรษะของผู้ป่วย (ผนัง C)

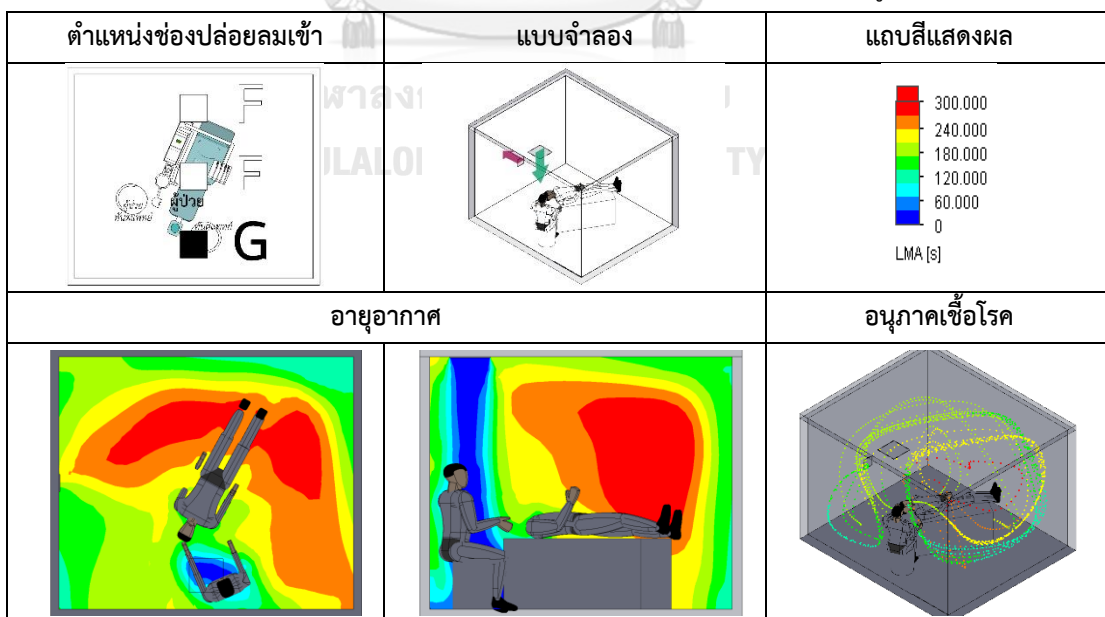


7.4 รูปแบบติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)

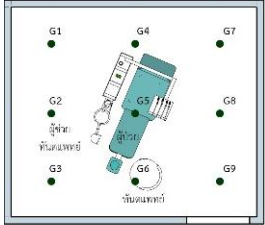
แบบจำลองทิศทางและรูปแบบการไหลของอากาศ สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



แบบจำลองอายุอากาศและอนุภาคเชื้อโรค สถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะทันตแพทย์ (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกที่ผนังด้านซ้ายของผู้ป่วย (ผนัง D)



ค่าอายุอากาศสถานการณ์ติดตั้งช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะผู้ป่วย (ฝ้าเพดาน G) และช่องปล่อยลมออกบนผนังในห้องตรวจทันตกรรม

อายุอากาศ	ตำแหน่ง	ช่องปล่อยลมเข้าที่ฝ้าเพดานเหนือศีรษะผู้ป่วย และช่องปล่อยลมออกบนผนังด้านต่างๆ ของผู้ป่วย				
		ไม่ติดตั้ง	ปลายเท้า	ขวา	ศีรษะ	ซ้าย
 <p>ที่ระดับ 0.80 เมตร</p>	G1	275.94	236.34	189.36	280.26	267.04
	G2 ผู้ช่วยทันตแพทย์	249.38	264.57	185.55	268.35	211.57
	G3	262.94	249.66	204.58	274.56	194.47
	G4	228.69	269.00	191.31	314.82	275.63
	G5 ผู้ป่วย	198.08	243.55	178.84	250.90	141.65
	G6 ทันตแพทย์	10.57	19.42	11.12	21.37	16.06
	G7	252.85	269.93	191.60	404.66	279.45
	G8	253.09	287.00	185.37	380.00	248.12
	G9	285.51	321.56	204.62	313.26	239.14
	ค่าเฉลี่ย	224.12	240.11	171.37	278.69	208.13

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นางสาวธัญจิรา เตชะสนธิชัย เกิดวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2533 จบการศึกษาปริญญา
สถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม (เกียรตินิยมอันดับ2) จากสถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญา
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา
2559 ปัจจุบันทำงานตำแหน่งสถาปนิก บริษัท สถาปนิกหนึ่งร้อยสิบ จำกัด

