การตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงสูง ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

นางสาวจามรี สอนบุตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาการวิจัยและการจัดการด้านสุขภาพ ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Detection of airborne *Mycobacterium tuberculosis* complex and microorganism in high-risk area of healthcare facilities in central Thailand

Miss Jarmmaree Sornboot

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Health Research and Management
Department of Preventive and Social Medicine
Faculty of Medicine
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงสูงของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย
โดย	นางสาวจามรี สอนบุตร
สาขาวิชา	การวิจัยและการจัดการด้านสุขภาพ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. สมหญิง ธัมวาสร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิต

.....คณบดีคณะแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุทธิพงศ์ วัชรสินธุ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ พรชัย สิทธิศรัณย์กุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมหญิง ธัมวาสร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมรัตน์ เลิศมหาฤทธิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ สุนทร ศุภพงษ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงศ์ราม รามสูต)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. นายแพทย์ ปรีชา เปรมปรี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จามรี สอนบุตร : การตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงสูงของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย (Detection of airborne *Mycobacterium tuberculosis* complex and microorganism in high-risk area of healthcare facilities in central Thailand) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. นพ. วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร. สมหญิง ธัมวาสร, ผศ. ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ, 131 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ (แบคทีเรียและเชื้อรา) ในอากาศ และการพิจารณาสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ในพื้นที่เสี่ยงของสถานพยาบาล 7 แห่ง ที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียงในภาคกลางของประเทศไทย การตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศใช้เทคนิคการการเก็บจุลชีพในอากาศด้วยวิธีการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinger method) และตรวจหาเชื้อวัณโรคด้วยวิธี quantitative real-time polymerase chain reaction (real-time qPCR) ส่วนการตรวจหาจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศใช้เครื่อง the six-stage viable Andersen cascade impactor และนับจำนวนด้วยเทคนิคการเพาะเลี้ยง ผลการศึกษาพบเชื้อวัณโรคในอากาศคิดเป็นร้อยละ 3 (3/99 บริเวณ) โดยพบที่ห้องเก็บเสมหะ 2 บริเวณ และห้องผู้ป่วยสำหรับผู้ป่วย 1 บริเวณ ตัวแปรที่มีความแตกต่างกันระหว่างสถานที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ ส่วนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำ (ชั่วโมง$^{-1}$) ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง (%) แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ สรุปผลการวิจัยครั้งนี้สนับสนุนว่าการประเมินด้านสิ่งแวดล้อมอาจเป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นของความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อวัณโรคในบุคลากรทางการแพทย์ และแสดงให้เห็นว่าการป้องกันและควบคุมแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในสถานพยาบาลยังคงเป็นปัญหาที่ควรได้รับการพิจารณาปรับปรุงแก้ไข

ภาควิชา	เวชศาสตร์ป้องกันและสังคม	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	การวิจัยและการจัดการด้านสุขภาพ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5574902130 : MAJOR HEALTH RESEARCH AND MANAGEMENT
KEYWORDS: AIRBORNE BACTERIA / AIRBORNE FUNGI / AIRBORNE M. TUBERCULOSIS

JARMMAREE SORNBOOT: Detection of airborne *Mycobacterium tuberculosis* complex and microorganism in high-risk area of healthcare facilities in central Thailand. ADVISOR: ASSOC. PROF. DR WIROJ JIAMJARASRANGSI, CO-ADVISOR: ASSOC. PROF. DR SOMYING TUMWASORN, ASST. PROF. DR. SURAT BUALERT, 131 pp.

This study aimed to detect airborne *M. tuberculosis* complex and other microorganisms, and to examine their relating environmental parameters in high–risk areas in 7 healthcare facilities located in Bangkok and its periphery in central Thailand. The detection of airborne *M. tuberculosis* was conducted by the liquid impinger technique with the quantitative real-time polymerase chain reaction (real-time qPCR) technique, while the airborne bacteria and fungi were collected by the six-stage viable Andersen cascade impactor and were simultaneously quantitated by culture technique. The positive airborne *M. tuberculosis* samples of 3.0% (3 out of 99 air samples) included two sputum collection rooms and one TB in patient room. A lower air change rate, higher relative humidity, and the number of unprotected coughs were significantly different ($p < 0.05$) between the airborne *M. tuberculosis* positive and negative areas. In addition, higher total bacteria and fungi counts were significantly associated with lower air change rate, higher relative humidity, and central type air conditioner ($p < 0.05$). In conclusion, this study support that environmental assessments may be an early indicator of nosocomial *M. tuberculosis* risk and control measures of airborne bacteria and fungus in healthcare facilities remain a problem that should be considered.

Department:	Preventive and Social Medicine	Student's Signature .....
		Advisor's Signature .....
Field of Study:	Health Research and Management	Co-Advisor's Signature .....
		Co-Advisor's Signature .....
Academic Year:	2016	

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สัญญาทุนเลขที่ RA 58/015 “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ประจำปี 2558 สัญญาทุนเลขที่ 16, 2/2558 และทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2559 สัญญาทุนเลขที่ กบง. 1/19, 2559 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.นพ.วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมหญิง ธัมวาสร และ ผศ.ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้โอกาสคำแนะนำในกระบวนการวิจัย และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ จนการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.นพ.พรชัย สิทธิศรัณย์กุล รศ.สมรัตน์ เลิศมหาฤทธิ์ รศ.ดร.นพ.สุนทร ศุภพงษ์ รศ.ดร.พงศ์ราม รามสูต และ ดร.นพ.ปรีชา เปรมปรี คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการและบุคลากรของสถานพยาบาลในการวิจัยครั้งนี้ที่ให้การสนับสนุน ให้ข้อมูลและความร่วมมือ จนการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณนางสาวอัจราพร สวัสดิ์พานิช นางสาวกมลธาดา นาวีวิตรผดุง นางกาญจนา ม่วงศรีสันต์ นายเอกลักษณ์ ไผ่เจริญ นางสาวศิริพร วงศ์ดินดำ และนางสุมาณี นิลเกต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในการเตรียมอุปกรณ์และการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างสิ่งแวดล้อมด้านจุลชีววิทยา ตลอดจนผู้ช่วยวิจัยทุกท่าน

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม และภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และกำลังใจอย่างดี

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนทั้งกำลังกายและกำลังใจ จนผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง i

สารบัญภาพ iv

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 คำถามการวิจัย 3

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.4 สมมติฐานการวิจัย 5

1.5 ขอบเขตการวิจัย 5

1.6 การให้คำนิยามเชิงปฏิบัติการ 6

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและการนำไปประยุกต์ใช้ 7

1.8 กรอบแนวคิด 8

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 9

2.1 ประวัติและกลไกการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ 9

2.2 จุลินทรีย์ในอากาศ 11

2.3 ระบาดวิทยาของวัณโรคในสถานพยาบาล 17

2.4 การควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล 21

2.5 การระบายอากาศ 24

2.6 การวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศหรืออัตราการระบายอากาศ 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.7 การตรวจวัดจุลินทรีย์และเชื้อวัณโรคในอากาศ....27
2.8 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ....30
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย....37
3.1 รูปแบบการวิจัย....37
3.2 ประชากรและตัวอย่าง....37
3.3 ตัวแปรในการวิจัย....38
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย....39
3.5 การรวบรวมข้อมูล....42
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้วิเคราะห์....50
3.7 ข้อพิจารณาด้านจริยธรรม....52
บทที่ 4 ผลการวิจัย....53
4.1 ข้อมูลทั่วไปของหน่วยงานที่ดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัย....53
4.2 ข้อมูลผลตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค....54
4.3 ข้อมูลผลการวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค....68
4.4 ข้อมูลสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค....73
4.5 ข้อมูลตัวแปรร่วมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อวัณโรค แบคทีเรียและเชื้อรา ในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค....75
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย....92
5.1 สรุปผลการวิจัย....92
5.2 อภิปรายผลการวิจัย....96
5.3 ปัญหาและข้อจำกัดการวิจัย....106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

5.4 ข้อเสนอแนะการวิจัย 107

รายการอ้างอิง 109

ภาคผนวก ก 119

ภาคผนวก ข 121

ภาคผนวก ค 127

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 131

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกพื้นที่ต่างๆ ในสถานพยาบาลตามความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ 10

ตารางที่ 2 ข้อแตกต่างของ droplet nuclei และ dust particle 12

ตารางที่ 3 จุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศที่พบมาก 15

ตารางที่ 4 แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร 17

ตารางที่ 5 อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง 26

ตารางที่ 6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ 30

ตารางที่ 7 จำนวนร้อยละของบริเวณที่เก็บข้อมูล แยกตามประเภทสถานพยาบาล และจำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 54

ตารางที่ 8 จำนวนบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค แบคทีเรีย และเชื้อรา ในอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 55

ตารางที่ 9 จำนวนการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 55

ตารางที่ 10 จำนวนบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค จำนวน IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ และค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 57

ตารางที่ 11 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกตามแผนกที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรค จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 59

ตารางที่ 12 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราแยกตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 61

ตารางที่ 13 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 63

ตารางที่ 14 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกตามขนาด จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 15 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) กับแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาด 66

ตารางที่ 16 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศภายในอาคารและนอกอาคาร จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล.....67

ตารางที่ 17 อัตราการหมุนเวียนอากาศเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน จำแนกตามแผนก ของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล.....69

ตารางที่ 18 อัตราการหมุนเวียนอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนก ของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล.....71

ตารางที่ 19 ความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล.....72

ตารางที่ 20 คะแนนและระดับสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการ แพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำแนกตามแผนก.....74

ตารางที่ 21 อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต่างๆ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล.....76

ตารางที่ 22 จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้ อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายใน สถานพยาบาล 77

ตารางที่ 23 ข้อมูลการเปรียบเทียบลักษณะบริเวณที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ จำแนกตามตัวแปรต่างๆ.....80

ตารางที่ 24 แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) กับตัวแปรต่างๆ 83

ตารางที่ 25 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Bivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวน แบคทีเรียในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Linear regression 85

ตารางที่ 26 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Bivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวน เชื้อราในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Linear regression.....86

ตารางที่ 27 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Multivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Multiple linear regression.....88

ตารางที่ 28 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Multivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวนเชื้อราในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Multiple linear regression.....89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด....8

ภาพที่ 2 การแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในอากาศ....18

ภาพที่ 3 พยาธิกำเนิดของการติดเชื้อวัณโรคระยะแฝง (LTBI) และโรควัณโรค (TB disease)....19

ภาพที่ 4 เครื่อง Kimo AQ 200 Indoor Air Quality Meter....40

ภาพที่ 5 เครื่องเก็บเชื้อจุลชีพแบบดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (Impigement) ประกอบด้วย Duran®Gas washing bottle และ vacuum air pump model: IM115D....41

ภาพที่ 6 เครื่อง The six-stage viable Andersen cascade impactor....42

ภาพที่ 7 กราฟแสดง qPCR standard curve โดยใช้ DNA ของ *M. tuberculosis* สายพันธุ์ H37Rv....46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

คุณภาพอากาศภายในอาคารควรถือเป็นเรื่องที่ควรให้ความสนใจ เพราะคนส่วนใหญ่ในปัจจุบันใช้เวลาในแต่ละวันอยู่ภายในอาคาร[1] องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) คาดว่าร้อยละ 30 ของอาคารทั่วโลกอาจมีปัญหาด้านคุณภาพอากาศภายในอาคาร (indoor air quality) โดยเฉพาะหากภายในอาคารนั้นมีการระบายอากาศที่ไม่ดีอาจก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษ เช่น ก๊าซ สารอินทรีย์ระเหยที่เกิดจากการใช้สารเคมีในอาคาร ฝุ่น แบคทีเรีย และเชื้อรา ภายในอาคารได้ และอาจมีปริมาณสูงขึ้นหากอาคารดังกล่าวมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก เช่น ห้างสรรพสินค้า โรงแรม และสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาล เป็นต้น[2] สถานพยาบาลเป็นแหล่งรวมของผู้ป่วยโรคต่างๆ ดังนั้นในอากาศจึงมีจุลินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ซึ่งที่พบส่วนมาก ได้แก่ แบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อไวรัสต่างๆ โดยเฉพาะโรคติดเชื้อที่มาจากโรคระบบทางเดินหายใจ ทั้งนี้จุลินทรีย์อาจปนเปื้อนมากับเสมหะ น้ำมูก น้ำลาย จากการจาม ไอ หรือพูดคุยของผู้ป่วย และล่องลอยอยู่ในอากาศเป็นอนุภาคขนาดเล็ก ทำให้สามารถติดต่อไปสู่บุคคลอื่นได้[3] การศึกษาเกี่ยวกับจุลินทรีย์ในอากาศในสถานพยาบาลที่ผ่านมาพบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศภายในสถานพยาบาลส่วนใหญ่ทั้งในประเทศไทย[4, 5] และต่างประเทศ[6, 7] เกินค่าแนะนำจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารของ American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH (แบคทีเรียและเชื้อรา ≤ 500 cfu/m^3)[8] และจากการศึกษาการปนเปื้อนจุลินทรีย์ในบรรยากาศในโรงพยาบาลขนาดที่แตกต่างกันในประเทศไทยในแผนกคลินิกวัณโรค ผู้ป่วยนอก ฉุกเฉิน และห้องทำงานบริหารงานทั่วไป ผลการศึกษาพบว่าแผนกผู้ป่วยนอก และคลินิกวัณโรคพบจุลินทรีย์มากที่สุด[9]

วัณโรคเป็นโรคทางระบบทางเดินหายใจที่มีสาเหตุมาจากเชื้อแบคทีเรีย (*Mycobacterium tuberculosis*: *M. tuberculosis*) ที่เป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญของโลก สถานการณ์วัณโรคในปัจจุบัน WHO รายงานว่าระหว่างปี ค.ศ. 2000-2015 มีผู้เสียชีวิตเพราะวัณโรคประมาณ 49 ล้านคนทั่วโลก และในปี ค.ศ. 2015 พบว่าวัณโรคจัดเป็นหนึ่งใน 10 อันดับแรกของสาเหตุของการเสียชีวิตทั่วโลก ประเทศไทยมีผู้ป่วยวัณโรครายใหม่คิดเป็น 172 ต่อประชากรแสนคน WHO ได้จัดให้ประเทศ

ไทยอยู่ในอันดับที่ 18 จากประเทศทั้งหมด 20 ประเทศ ที่มีการแพร่ระบาดของวัณโรค และอันดับที่ 17 จากประเทศทั้งหมด 20 ประเทศ ที่มีการแพร่ระบาดของวัณโรคดื้อยาหลายขนาน (multidrug resistant tuberculosis: MDR-TB)[10] จากการทบทวนผลการศึกษาที่มาจากระบบรายงานโรคและแบบสอบถาม ของประเทศต่างๆ ทั้งในประเทศแถบยุโรป อเมริกา จีน และญี่ปุ่น ในกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข พบว่าส่วนหนึ่งมีการเพิ่มขึ้นของโอกาสเสี่ยงของการเกิดวัณโรค[11] โดยจากการศึกษาพบว่าบุคลากรสาธารณสุขในโรงพยาบาลมีความชุกของการติดเชื้อวัณโรคแฝงเฉลี่ยร้อยละ 8.4 (95% CI 2.75-14.05) และอุบัติการณ์วัณโรคสูงกว่าประชาชนทั่วไป 3.7-10.0 เท่า[11, 12] นอกจากนี้การพบเชื้อวัณโรคดื้อยาหลายขนาน (MDR-TB) ถือเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรคในกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์[13] การศึกษาในประเทศเบลารุสทำการศึกษาย้อนหลังระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012 โดยศึกษาในบุคลากรทางการแพทย์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับวัณโรค จำนวน 116 ราย ผลการศึกษาพบว่ามีบุคลากรทางการแพทย์ป่วยเป็นวัณโรค 107 ราย (92%) โดย 38 ราย ได้ตรวจเพาะเชื้อวัณโรคและทดสอบความไวของเชื้อต่อยาต้านวัณโรค และในจำนวนดังกล่าวข้างต้นนี้ตรวจพบว่าเป็นวัณโรคดื้อยาหลายขนานและชนิดรุนแรงจำนวน 28 ราย (74%)[14] นอกจากนี้การศึกษาในประเทศแอฟริกาใต้พบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีอุบัติการณ์วัณโรคดื้อยาหลายขนานสูงกว่าประชาชนทั่วไป 5.5 เท่า (95% CI, 4.75-6.28)[15] และการศึกษาในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิพบว่าการติดเชื้อวัณโรคและวัณโรคดื้อยาในบุคลากรทางการแพทย์อาจเกี่ยวข้องกับการเกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาล[16, 17]

WHO ได้เสนอแนะมาตรการหลักในการควบคุมและการป้องกันวัณโรค 3 มาตรการ คือ การบริหารจัดการและการควบคุมที่แหล่งแพร่เชื้อ การควบคุมสภาพแวดล้อมหรือทางผ่าน และการควบคุมป้องกันระดับบุคคล และที่ผ่านมาประเมินผลของของมาตรการควบคุมและป้องกันวัณโรคด้วยการเฝ้าระวังการติดเชื้อวัณโรคในบุคลากรโดยการทดสอบทูเบอร์คูลินทางผิวหนัง ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดหลายประการ คือ ผลการประเมินอาจมีการรบกวนจากการให้วัคซีนบีซีจี (bacillus Calmette-Guerin vaccine: BCG) ในอดีต เกิดภาวะแทรกซ้อนจากการทดสอบทูเบอร์คูลินทางผิวหนัง และที่สำคัญเป็นการประเมินที่ใกล้กับ health effect ซึ่งเป็นระยะหลังๆ ของเส้นทางความเสี่ยงแล้ว ซึ่งทำให้ผลการประเมินที่ได้อาจไม่มีโอกาสถูกนำไปใช้ป้องกันการเกิดวัณโรคในบุคลากรอย่างทันกาล[18, 19] ดังนั้นการควบคุมสภาพแวดล้อมหรือทางผ่าน โดยการตรวจหาปริมาณเชื้อวัณโรคในอากาศโดยที่บุคลากรยังมิได้มีการติดเชื้อจึงเป็นทางเลือกสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของ

มาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคอีกวิธีการหนึ่งที่น่าจะมีผลต่อการควบคุมป้องกันวัณโรคในสถานพยาบาลได้ดีกว่าการเฝ้าระวังการติดเชื้อในบุคลากรแต่เพียงอย่างเดียว[20, 21]

ปัจจุบันมีการตรวจหาปริมาณเชื้อวัณโรคในอากาศ เพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลหรือโรงพยาบาลแล้วในประเทศไต้หวัน สโลวีเนีย และแอฟริกาใต้[20-22] แต่การศึกษาที่มีจำกัดอยู่ในโรงพยาบาลเฉพาะทางโรคปอดเพียงแห่งเดียว และไม่ได้แยกว่าเชื้อวัณโรคในอากาศที่ตรวจพบนั้นเป็นเชื้อวัณโรคดื้อยาด้วยหรือไม่ นอกจากนี้ข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ระบบระบายอากาศ การมีมาตรการต่างๆ ในการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล และข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ซึ่งมีการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศยังมีอยู่น้อย อีกทั้งการตรวจหาจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศของสถานพยาบาลในประเทศไทยนั้นยังไม่พบข้อมูลการรายงานที่ชัดเจน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศของสถานพยาบาลในประเทศไทยและได้ขยายขอบเขตการศึกษาให้กว้างขึ้น โดยศึกษาในแผนกที่มีความเสี่ยงสูงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของสถานพยาบาลที่เป็นโรงพยาบาลระดับตติยภูมิขั้นสูง (super tertiary care) โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ (tertiary care) และสถาบันโรคติดเชื้อแห่งชาติ (National Infectious Disease Institute) ในเขตภาคกลางของประเทศไทย และศึกษาข้อมูลด้านอื่นๆ ดังกล่าวข้างต้นร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสิ่งแวดล้อมการทำงานของหน่วยงานที่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 คำถามการวิจัย

คำถามการวิจัยหลัก

1. มีเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทยหรือไม่ อย่างไร

2. มีความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ กับ (ก) อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ข) สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงานในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทยหรือไม่

3. ความแตกต่างของจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศระหว่างพื้นที่ภายในอาคารกับนอกอาคาร ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทยเป็นอย่างไร

คำถามการวิจัยรอง

1. อัตราการหมุนเวียนอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทยเพียงพอหรือไม่

2. สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทยเป็นอย่างไร

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก

1. เพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ กับ (ก) อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ข) สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

3. เพื่อศึกษาความแตกต่างของจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศระหว่างพื้นที่ภายในอาคารกับนอกอาคาร ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

วัตถุประสงค์รอง

1. เพื่อวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย และเทียบกับค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

2. เพื่อศึกษาสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

1.4 สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานการวิจัยหลัก

1. มีเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

2. เชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศมีความสัมพันธ์กับ (ก) อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ข) สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

3. มีความแตกต่างของจำนวนจุลินทรีย์ในระหว่างพื้นที่ภายในอาคารกับนอกอาคาร ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย

สมมติฐานการวิจัยรอง

1. อัตราการหมุนเวียนอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย ผ่านมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

2. สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย อยู่ในระดับดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาในสถานพยาบาลได้จำนวน 7 แห่ง ประกอบด้วยโรงพยาบาลระดับตติยภูมิขั้นสูง (super tertiary care) 3 แห่ง โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ (tertiary tare) 3 แห่ง และสถาบันโรคติดเชื้อแห่งชาติ (National Infections Disease Institute) 1 แห่ง และได้ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศและข้อมูลต่างๆ จากแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ซึ่งเป็นแผนกที่มีความเสี่ยงสูงของสถานพยาบาล ระหว่างเดือนมกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2558

1.6 การให้คำนิยามเชิงปฏิบัติการ

ระบบระบายอากาศ หมายถึง การระบายอากาศที่มีลักษณะดังนี้ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation) ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (central air-conditioning system) และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type systems)

อัตราการหมุนเวียนอากาศ หรือปริมาตรอากาศหมุนเวียนต่อชั่วโมง หมายถึง การผลัดเปลี่ยนลม อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ หรืออัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง มีหน่วยเป็น air-changer/hr หรืออัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$) สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธี tracer gas ในการวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ และใช้วิธีการคำนวณจาก American society for testing and materials (ASTM) standard E741-00 (reapproved)[23] หลังจากนั้นนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] และหากมาตรฐานดังกล่าวไม่ได้ระบุรายละเอียดเฉพาะไว้ให้เทียบกับค่ามาตรฐานของ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008[25]

สภาพการดำเนินการตามมาตรควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน หมายถึง การดำเนินการตามมาตรการลดความเสี่ยงต่อการแพรกระจายและติดเชื้อวัณโรคตามคำแนะนำของ WHO 3 ด้าน ได้แก่ การบริหารจัดการ การควบคุมสภาพแวดล้อม และการควบคุมป้องกันระดับบุคคล โดยการแปลผลแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับดี ระดับปานกลาง และระดับไม่ดี

เชื้อวัณโรคในอากาศ หมายถึง เชื้อวัณโรคในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงสูงของสถานพยาบาล สุ่มเก็บตัวอย่างอากาศโดยวิธีการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinge method) และตรวจหาเชื้อวัณโรค (*M. tuberculosis* complex) ด้วยวิธี quantitative real-time polymerase chain reaction (real-time qPCR) และคำนวณจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (IS*6110* copy number per m^3 of air) จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (the number of *M. tuberculosis* cell equivalents per m^3 of air) และค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อวัณโรคในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) สำหรับตัวอย่างอากาศที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคได้นำไปวิเคราะห์ว่า

เป็นวัณโรคดื้อยาหรือไม่ด้วยวิธี Anyplex^{TM}II MTB/MDR/XDR Detection Assay (Seegene, South Korea) เพื่อตรวจวิเคราะห์เชื้อวัณโรคดื้อยา rifampicin-resistance และ isoniazid-resistance

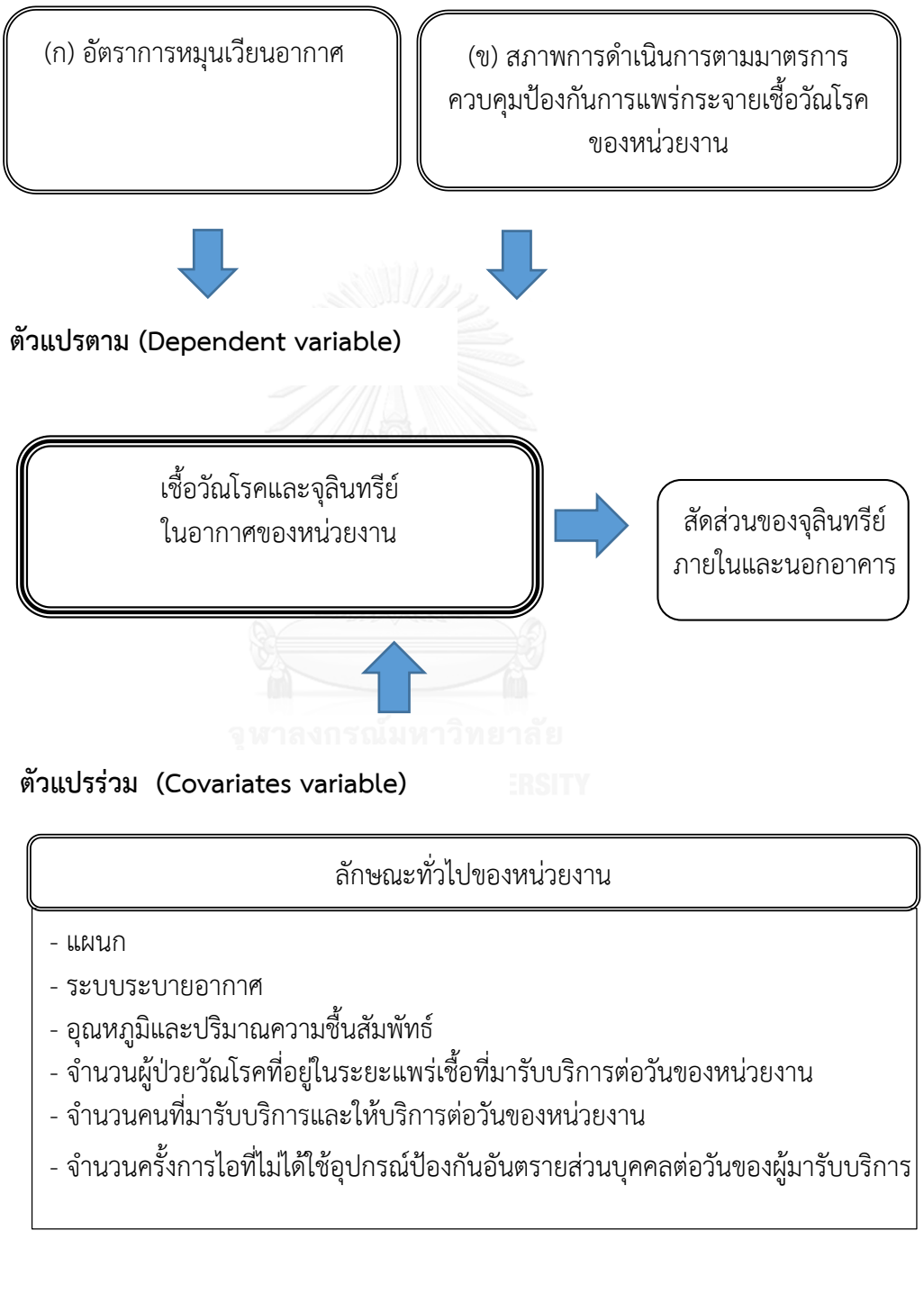
จุลินทรีย์ในอากาศ หมายถึง แบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงสูงของสถานพยาบาล สุ่มเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง the six-stage viable Andersen cascade impactor ใช้อาหารเลี้ยงแบคทีเรียชนิด Tryptic Soy Agar (TSA) และอาหารเลี้ยงเชื้อราชนิด Sabouraud Dextrose Agar (SDA) คำนวณจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเป็นหน่วยโคโลนีต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (colony forming unit per cubic meter: cfu/m^3) จำนวนจุลินทรีย์ในอากาศ คือ จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) ส่วนจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศแยกขนาด คือ จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศที่แบ่งเป็น 3 ขนาด ดังนี้ ชั้นที่ 1-2 (4.7->7.0 µm) ชั้นที่ 3-4 (2.1-4.7 µm) และชั้นที่ 5-6 (0.65-2.1 µm)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและการนำไปประยุกต์ใช้

1. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ในหน่วยงานที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ของสถานพยาบาลในเขตภาคกลางของประเทศไทย
2. เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยด้านการติดเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลต่อไป
3. เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการประเมินผลมาตรการควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ และการปรับปรุงระบบระบายอากาศและอัตราการหมุนเวียนอากาศภายในสถานพยาบาลต่อไป

Chulalongkorn University

1.8 กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

การแพร่กระจายเชื้อทางอากาศในสถานพยาบาลเป็นปัญหาสำคัญ และวัณโรคเป็นโรคทางระบบทางเดินหายใจที่มีสาเหตุมาจากเชื้อแบคทีเรียที่เป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญของโลก สถานการณ์วัณโรคในปัจจุบัน WHO รายงานว่าในปี ค.ศ. 2015 พบว่าวัณโรคจัดเป็นหนึ่งใน 10 อันดับแรกของสาเหตุของการเสียชีวิตทั่วโลก และสำหรับประเทศไทยวัณโรคเป็นโรคที่สามารถแพร่กระจายทางอากาศที่ยังเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากอุบัติการณ์ของวัณโรคที่เพิ่มขึ้น[10]

2.1 ประวัติและกลไกการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ

ในปี ค.ศ. 1930 วิศวกรด้านสุขาภิบาลจากมหาวิทยาลัย Harvard William F.Wells ได้ทำการศึกษาร่วมกับนักศึกษาแพทย์ Richard Reiley และรายงานว่าแก่นของฝอยละออง (droplet nuclei) ซึ่งมีจุลชีพอยู่เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ ทั้งนี้เพราะอนุภาคซึ่งมีขนาด ≤5 ไมโครเมตร สามารถล่องลอยอยู่ในอากาศไปได้ไกลมากจากจุดกำเนิด และแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานโดยไม่ตกลงสู่พื้น และเมื่อถูกหายใจเข้าไปอนุภาคขนาด 1-5 ไมโครเมตร จะสามารถผ่าน cilia และ mucosal defences ในบริเวณทางเดินหายใจส่วนบนลงไปสะสมในถุงลมปอด (alveoli) หากเชื้อโรคนั้นยังคงมีชีวิตอยู่บน droplet nuclei ก็จะก่อให้เกิดโรคได้

การแบ่งเชื้อโรคที่แพร่กระจายทางอากาศอาจแบบ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. เชื้อโรคที่ใช้วิธีการแพร่กระจายทางอากาศเป็นวิธีหลัก หรือเรียกว่า obligated airborne transmission โรคที่มีหลักฐานว่าแพร่กระจายแบบนี้ คือ วัณโรค (วัณโรคปอดและกล่องเสียง) และที่อาจจัดอยู่ในกลุ่มนี้เนื่องจากมีหลักฐานชัดเจนว่ามีการแพร่กระจายทางอากาศเป็นช่องทางหลัก นอกจากนี้ ได้แก่ โรคหัด (Measles) และเชื้อรากลุ่ม *Aspergillus* spp. และ *Rhizopus* spp.

2. เชื้อโรคที่สามารถแพร่กระจายได้หลายวิธี แต่หากแพร่กระจายทางอากาศหรืออยู่ในรูปละอองลอยชีวภาพ (aerosol) และเข้าไปสะสมบริเวณส่วนปลายของปอดแล้วเชื้อโรคแพร่กระจายไปทั่วร่างกายและมีการดำเนินโรคเต็มรูปแบบ (full-blown disease) หรือเรียกว่า preferential airborne transmission เชื้อโรคในกลุ่มนี้ ได้แก่ โรคฝีดาษหรือไข้ทรพิษ (Smallpox) เชื้ออีสุกอีใส-งูสวัด (Varicella-Zoster virus) เชื้อรากลุ่ม *Acremonium* spp. และที่มีหลักฐานว่าน่าจะอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่

ไข้หวัดใหญ่และไข้หวัดนก (Influenza A และ H5N1) เชื้อโรคในกลุ่มนี้หากแพร่กระจายโดยวิธีอื่นความรุนแรงของโรคจะลดลง

3. เชื้อโรคที่ตามธรรมชาติจะแพร่กระจายโดยวิธีอื่น แต่ในบางสภาวการณ์ เช่น การทำให้เชื้อโรคอยู่ในรูปของละอองลอยชีวภาพ (aerosol) และถูกสูดดมเข้าไปในส่วนปลายของปอดก็จะก่อให้เกิดโรคได้ หรือเรียกว่า Opportunistically airborne transmission เชื้อโรคที่น่าจะอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ SARS Coronavirus และกลุ่มของ viral hemorrhagic fever ได้แก่ ไวรัสมาร์บูร์ก (Marburg virus) ไวรัสลัสลา (Lassa virus) ไวรัสอีโบลา (Ebola virus) และไวรัสฮันทา (Hanta virus) เป็นต้น[26]

โรงพยาบาลหรือสถานพยาบาลเป็นสถานที่หนึ่งที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อโรคทางอากาศ โดยสามารถจำแนกพื้นที่ต่างๆ ในโรงพยาบาลตามความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ ดังตารางที่ 1[27]

ตารางที่ 1 แสดงการจำแนกพื้นที่ต่างๆ ในสถานพยาบาลตามความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อทางอากาศ[27]

Low risk	Medium risk	High risk	Highest risk
• Office areas	• Cardiology • Echocardiography • Endoscopy • Nuclear medicine • Physical therapy • Radiology/MRI • Respiratory therapy	• Critical-care unit • Emergency room • Labor and delivery • Laboratories (specimen) • Newborn nursery • Outpatient surgery • Pediatrics • Pharmacy • Post-anesthesia-care unit • Surgical units	• Any area caring for immunocompromised patients • Burn unit • Cardiac-catheterization lab • Central sterile supply • Intensive-care units • Medical unit • Negative-pressure isolation rooms • Oncology • Operating rooms including C-section rooms

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 จุลินทรีย์ในอากาศ

จุลินทรีย์ในอากาศ หรือจุลชีพแขวนลอย หรือละอองลอยชีวภาพ หรือชีวอนุภาคมลสาร (bioaerosols) ประกอบด้วย แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส ซากเซลล์ ไบโอฟิล์ม เป็นต้น โดยจะพบอยู่ในลักษณะที่เกาะกับอนุภาคของละอองเสมหะหรือฝุ่นละอองต่างๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ มีขนาดประมาณ 10 นาโนเมตร-100 ไมโครเมตร อาจอยู่ในรูปของเหลว ของแข็ง หรือเป็นส่วนผสมระหว่างของเหลวและของแข็ง โดยอาจเป็นได้ทั้งอนุภาคของสิ่งมีชีวิตหรือเป็นส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิตเกาะติดอยู่[28]

2.2.1 ชนิดของจุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols) แบ่งตามตัวกลางในการแพร่กระจายของอนุภาคได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. ละอองลอยชีวภาพของละอองเสมหะ (Droplet nuclei) ที่เกิดจากการจาม ไอ หรือ พูด คุย หากถูกสร้างขึ้นจากผู้ป่วยที่เป็นโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจจะสามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อได้ เนื่องจากเชื้อโรคใน droplet nuclei สามารถล่องลอยอยู่ในอากาศและมีชีวิตอยู่ในระยะเวลาหนึ่งจากการห่อหุ้มของละอองเสมหะ

2. ละอองลอยชีวภาพของฝุ่นละอองที่เกิดจากแรงลมหรือแรงกระทำของมนุษย์ (Dust particle) ซึ่งการกระทำดังกล่าวก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากแหล่งต่างๆได้

ข้อแตกต่างของ droplet nuclei และ dust particle สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2[3]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 ข้อแตกต่างของ droplet nuclei และ dust particle[3]

ลักษณะเด่น	Droplet nuclei	Dust particle
- แหล่งกำเนิด	- ละอองเสมหะที่เกิดจากการจาม ไอ หรือพูด คุย	- การฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองที่เกิดจากแรงลมหรือแรงกระทำของมนุษย์
- ขนาดอนุภาค	- ≤5 ไมโครเมตร	- >5 ไมโครเมตร
- ลักษณะการแขวนลอยในอากาศ	- แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมาก (การตกสู่พื้นมีอัตราการเฉลี่ย 1.2 ตารางเซนติเมตร/นาที)	- ตกสู่พื้นต่างๆ ได้เร็ว (การตกสู่พื้นมีอัตราการเฉลี่ย 46.0 ตารางเซนติเมตร/นาที)
- 1 อนุภาคต่อชนิดของจุลินทรีย์	- 1 อนุภาค พบจุลินทรีย์ 1 ชนิด	- 1 อนุภาค พบจุลินทรีย์หลายชนิด
- การติดเชื้อเกี่ยวข้องกับเนื้อเยื่อ	- ทำให้เกิดการติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง เนื่องจากเข้าสู่ปอดได้	- ทำให้เกิดการติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจส่วนบน เนื่องจากตกค้างอยู่ที่ระบบทางเดินหายใจส่วนบน
- ลักษณะการแพร่กระจายเชื้อหรือลักษณะก่อให้เกิดโรค	- ถ่ายทอดจากบุคคลสู่บุคคล	- เกี่ยวข้องกับสถานที่เป็นแหล่งสะสมของเชื้อ

2.2.2 แหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols) จำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. แหล่งกำเนิดจากสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร (indoor Environment) ซึ่งทำให้อนุภาคหรือมลสารต่างๆ สะสมอยู่บริเวณนั้น โดยแหล่งกำเนิดดังกล่าว ได้แก่ โรงพยาบาล สถานที่พักอาศัย โรงเรียน โรงงานอุตสาหกรรม โรงภาพยนตร์ หรือตึกอาคารต่างๆ ที่มีอากาศไม่ถ่ายเท ซึ่งที่มาของแหล่งกำเนิดที่สำคัญ ได้แก่

1.1 การจาม ไอ และพูดคุย ก่อให้เกิด 10^4-10^6 droplet nuclei

1.2 วัสดุก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ได้แก่ ผนัง เพดาน ที่เป็นวอลเปเปอร์และทาสี พรมและพื้นผิววัสดุต่างๆ ในห้อง เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น

1.3 กิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร เช่น การเดิน การวิ่ง และการผลิตสินค้าของโรงงานอุสาหกรรม และการทำความสะอาดอาคาร เป็นต้น

2. แหล่งกำเนิดจากสิ่งแวดล้อมนอกอาคาร (outdoor environment) ได้แก่

2.1 กิจกรรมจากการเกษตรกรรม เช่น การเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตร การผลิตปุ๋ย การเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น

2.2 บริเวณระบบบำบัดของเสีย เช่น ถังเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสีย ลานตากตะกอน บ่อฝังกลบขยะมูลฝอย เป็นต้น

2.3 เกิดจากธรรมชาติ เช่น เกิดจากการกระทำของลมเหนือพื้นผิวดิน น้ำหรือทะเล

2.2.3 การแพร่กระจายของจุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols)

จุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols) พบในบรรยากาศชั้นโทรโมสเฟีย (troposphere) ที่มนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อาศัยอยู่เท่านั้น ชนิดที่พบในอากาศจะแตกต่างกันไปตามสถานที่ ส่วนการแพร่กระจายทางอากาศขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการ ดังนี้

1. ลักษณะทางสภาพแวดล้อมของอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ดังนี้

ความเร็วลม มีผลต่อการแขวนลอยอยู่ในอากาศ และแพร่กระจายไปได้ไกลในอากาศหรือตกลงสู่พื้นผิวต่างๆ ของจุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols)

อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ มีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols)[3] ทั้งนี้ประเทศไทยตั้งอยู่ในพื้นที่เขตร้อนชื้น ทำให้ลักษณะของภูมิอากาศค่อนข้างร้อนและมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง ซึ่งเป็นสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการขยายพันธุ์และแพร่กระจายของเชื้อโรคได้อย่างดี ดังนั้นในชีวิตประจำวันจึงมักพบปัญหาที่เกิดจากปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เสมอ เช่น ปัญหาเชื้อรา กลิ่นอับ โรคภูมิแพ้ ไข้หวัด และโรคติดต่อทางอากาศอีกหลายชนิด และจากสภาพภูมิอากาศดังกล่าวทำให้ปัจจุบันมีการนำเอาระบบปรับอากาศมาใช้ในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น ทำให้แต่ละวันการดำรงชีวิตส่วนใหญ่ต้องอยู่ในห้องปรับอากาศซึ่งเป็นห้องปิดและการถ่ายเทอากาศไม่ดี และทำให้แสงแดดซึ่งมีรังสีอัตราไวโอเลตไม่สามารถส่องถึงได้ ซึ่งเมื่อสภาวะแวดล้อมเหล่านี้ผนวกกับสภาวะปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อโรค จะส่งผลให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว[26] โดยทั่วไปพบว่าอุณหภูมิต่ำจะทำให้จุลินทรีย์อยู่รอดได้ดีกว่าอุณหภูมิสูง[29] และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่มากกว่า 65% จะส่งเสริมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์[30]

2. ลักษณะทางกายภาพของจุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols) ได้แก่ รูปร่าง ขนาด และความหนาแน่น โดยขนาด >6.0 ไมโครเมตร จะตกสู่พื้นต่างๆ ได้เร็วและจะตกค้างอยู่ตามระบบทางเดินหายใจส่วนบน เช่น จมูก และหลอดลม ขนาดประมาณ 6.0 ไมโครเมตร สามารถเข้าถึงปอดได้ ส่วนขนาด <6.0 ไมโครเมตร สามารถเข้าสู่ถุงลมปอดได้

จุลินทรีย์ที่พบในอากาศส่วนมาก ได้แก่ แบคทีเรีย รา และไวรัส มีรายละเอียดดังนี้

1. แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งจำพวกโปรคารีโอต (procaryote) สามารถแบ่งตามลักษณะของผนังเซลล์ได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ แกรมลบ แกรมบวก พวกไม่มีผนังเซลล์ ได้แก่ ไมโครพลาสมา และพวกที่ผนังเซลล์ไม่มีเปปติโดไกลแคน ได้แก่ Archaea ซึ่งทั้ง 4 กลุ่มนี้ถูกจัดเป็นพวกที่มีการเจริญและแบ่งเซลล์รวดเร็วภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม แบคทีเรียมีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.0 ไมโครเมตร และมีความยาวประมาณ 1-2 ไมโครเมตร โดยทั่วไปเซลล์ไม่อยู่เดี่ยวๆ แต่มักจะอยู่กันเป็นกลุ่มเรียกว่า โคโลนี (colony) ซึ่งสามารถมองเห็นได้ง่าย รูปร่างของเซลล์แบคทีเรียมีความหลากหลาย เช่น กลม (coccus) ท่อน (bacilli) และเกลียว (spirals) แบคทีเรียต้องการน้ำ สารอาหาร แหล่งพลังงานซึ่งมาจากแสงอาทิตย์และมาจากการออกซิไดร์สารอนินทรีย์ และตัวรับอิเล็กตรอน เพื่อการอยู่รอดและการเพิ่มจำนวนในสิ่งแวดล้อม[3]

2. รา (Fungi) เป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งจำพวกยูคารีโอต (eucaryote) มีโครงสร้างหลายเซลล์ มีลักษณะเป็นเส้นใย (hyphae) มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรียและมีการรวมเป็นกลุ่มเส้นใย (mycelium) ราสามารถแบ่งตามลักษณะของกลุ่มเส้นใย (mycelium) ได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีผนังกั้นในเซลล์ (septate) และกลุ่มที่ไม่มีผนังกั้นเซลล์ (non septate) ในหนึ่งเซลล์อาจมีมากกว่าหนึ่งนิวเคลียส การสืบพันธุ์มีทั้งแบบอาศัยเพศ (sexual) และแบบไม่อาศัยเพศ (non sexual) โดยการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศหรือเซลล์สืบพันธุ์ ได้แก่ การสร้างสปอร์ ส่วนการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศหรือเซลล์สืบพันธุ์ ได้แก่ การแบ่งตัว (fission) และการแตกหน่อในกรณีของยีตส์ (yeast) ราไม่สามารถสังเคราะห์แสงหรือสร้างอาหารหรือเองได้เนื่องจากไม่มีคลอโรฟิลล์ ดังนั้นจึงต้องย่อยสลายสารอินทร์เพื่อเป็นพลังงานในการสร้างเซลล์ ราเจริญได้ดีในที่มีความชื้นและสภาพที่มีค่า potential of hydrogen ion (pH) ต่ำกว่า 6 สามารถเจริญได้ดีกว่าแบคทีเรียในสภาวะที่มีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ และเจริญได้ในภาวะที่มีออกซิเจน แต่ราไม่สามารถใช้ก๊าซมีเทนเป็นแหล่งคาร์บอนและไม่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้

3. ไวรัส (Virus) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กที่สุด มีขนาดตั้งแต่ 0.25-2.5 ไมโครเมตร ไวรัสไม่จัดว่าเป็นทั้งโปรคาริโอต (procaryote) และยูคาริโอต (eucaryote) เพราะมีลักษณะเป็นอนุภาคที่ต้องอาศัยเซลล์สิ่งมีชีวิตอื่นเพื่อการดำรงชีวิตและเพิ่มจำนวน เรียกลักษณะนี้ว่า obligate intracellular parasite สามารถแยกไวรัสออกจากจุลินทรีย์อื่นๆ ได้โดยการกรอง องค์ประกอบภายในโครงสร้างอนุภาคไวรัสประกอบด้วยกรดนิวคลีอิค (nucleic acid) ชนิดเดียว คือ อาร์เอ็นเอ (RNA) หรือ ดีเอ็นเอ (DNA) เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง และมีโปรตีนหุ้มอยู่ เรียกว่า แคปสิด (capsid)[31]

จุลินทรีย์ที่ก่อโรคในอากาศที่พบมาก ดังตารางที่ 3[3]

ตารางที่ 3 จุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศที่พบมาก[3]

จุลินทรีย์ก่อโรค	โรค
แบคทีเรีย	
Bordetella pertussis	โรคไอกรน (Whooping Cough)
Corynebacterium diphtheriae	โรคคอตีบ (Diphtheria)
Streptococcus pneumonia และ	โรคปอดบวม (Pneumococcal Pneumonia)
Klebsiella pneumoniae	
Mycobacterium tuberculosis	โรควัณโรค (Tuberculosis)
Streptococcus pyogenes	โรคไข้ดำแดง (Scarlet Fever)
Haemophilus influenzae	โรคไข้หวัดใหญ่และเยื่อหุ้มสมองอักเสบในเด็ก
เชื้อรา	
Coccidioides immitis	โรค Coccidioidomycosis
Histoplasma capsulatum	โรค Histoplasmosis
เชื้อไวรัส	
Myxovirus influenza	โรคไข้หวัดใหญ่ (Influenza)
Rubeola virus	โรคหัด (Measles)
Rubella virus	โรคหัดเยอรมัน (Rubella)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.4 การควบคุมจุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศ

การดูแลให้มีการระบายอากาศที่ดีเป็นวิธีที่ทำให้จำนวนจุลินทรีย์ในอากาศหรือละอองลอยชีวภาพ (bioaerosols) ลดลง ซึ่งการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าการตรวจพบจุลินทรีย์ในอากาศทั้งที่ก่อโรคและไม่ก่อโรคของโรงพยาบาลหรือภายในอาคารอาจเป็นไปได้ว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างการระบายอากาศและการแพร่กระจายของจุลินทรีย์[20, 32] แต่ถ้าต้องการให้การควบคุมจุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นอาจใช้วิธีดังต่อไปนี้ร่วมด้วย[3]

1. การใช้รังสีชนิดต่างๆ เป็นวิธีที่ส่งผลต่อการทำลายโปรตีนชนิดต่างๆ ภายในเซลล์ โดยรูปแบบการใช้รังสีแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบใช้รังสีให้เกิดการแตกตัว ซึ่งกลไกการออกฤทธิ์ของรังสีที่ใช้ทำให้เกิดการแตกตัว (ionization) ของสารต่างๆที่สำคัญในเซลล์โดยเฉพาะหน่วยพันธุกรรม (DNA) โดยชนิดของรังสีที่ใช้ ได้แก่ รังสีเอกซ์ เบต้า และแกมมา เป็นต้น ส่วนแบบใช้รังสีไม่ทำให้เกิดการแตกตัว ได้แก่ อัลตราไวโอเลต ทำลายเชื้อจุลินทรีย์โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารสำคัญในเซลล์โดยเฉพาะกรดนิวคลีอิก นิยมใช้ทำให้ปราศจากเชื้อในอากาศหรือใช้ในพื้นที่ของโรงพยาบาลที่ต้องทำงานแบบปราศจากเชื้อ เช่น ห้องผ่าตัด ห้องเตรียมยา และตู้เพาะเชื้อ เป็นต้น[31]

2. การใช้สารเคมี ซึ่งสารเคมีที่ใช้ทำลายเชื้อโรคในอากาศมักเป็นสารเคมีที่ระเหยได้หรือใช้พ่นเป็นละอองสู่อากาศ สามารถทำลายทั้งเชื้อและสปอร์ของเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ formaldehyde, ethylene oxide, propylene glycol และ triethylene glycol เป็นต้น

3. การควบคุมฝุ่นละออง โดยวิธีการล้าง เช็ด ถู หรือใช้เครื่องดูดฝุ่นทำความสะอาดบริเวณพื้นผิววัสดุต่างๆ และพื้นห้อง และอาจมีการใช้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคเช็ดตามภายหลังที่ได้กำจัดฝุ่นบนพื้นผิววัสดุออกไปแล้ว

การทำความสะอาดจะเป็นส่วนช่วยลดและทำลายจุลินทรีย์ได้ ดังการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการทำความสะอาดสามารถลดและควบคุมการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ในสถานที่ทำงาน[33] และสำหรับจุลินทรีย์ก่อโรตในอากาศนั้นการใช้เครื่องกรองอากาศที่มีคุณสมบัติดักจับฝุ่นละอองและจุลินทรีย์จะสามารถช่วยควบคุมจุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศได้อีกวิธีการหนึ่ง[3]

ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารขึ้น เพื่อเป็นมาตรฐานสำหรับการควบคุมจุลินทรีย์ในอากาศ โดยตัวอย่างค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคาร

ปัจจัยคุณภาพอากาศ	ค่ามาตรฐาน	ที่มาของค่ามาตรฐาน
อุณหภูมิ	20-26 องศาเซลเซียส	- Occupational Health and Safety Act (the OHS Act), 2008[34]
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์	≤65%	- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 62.1-2013[35]
แบคทีเรีย	500 cfu/m^{3a}	- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) , 1989[8]
เชื้อรา	500 cfu/m^{3a}	- Institute of Environmental Epidemiology, Singapore 1996[36]

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

2.3 ระบาดวิทยาของวัณโรคในสถานพยาบาล

2.3.1 สาเหตุวัณโรค

วัณโรค (Tuberculosis:TB) เป็นโรคติดต่อที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย Mycobacterium ซึ่งมีหลายชนิด ในประเทศไทยชนิดที่พบบ่อยที่สุดและเป็นปัญหา คือ *Mycobacterium tuberculosis: M. tuberculosis* จัดอยู่ในกลุ่ม *M. tuberculosis* complex เป็นแบคทีเรียรูปแท่ง ขนาดประมาณ 2-4x0.2-0.5 ไมโครเมตร ผนังเซลล์มีกรดไขมัน mycolic acid เป็นส่วนประกอบสำคัญ ทนความเป็นกรดด่างและความแห้งแล้งในสภาพแวดล้อมได้ดี ติดสีทนกรด (acid fast bacilli) สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และ pH 6.0-7.6 ถูกทำลายโดยแสงแดดหรือความร้อน 60 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

เชื้อ Mycobacterium ชนิดอื่นที่พบบ่อย เช่น *Mycobacterium africanum* พบได้ในทวีปแอฟริกา *Mycobacterium bovis* มักก่อให้เกิดโรคในสัตว์ ซึ่งอาจติดต่อมาถึงคนได้โดยการบริโภคนมที่ไม่ได้ผ่านการฆ่าเชื้อ Mycobacterium เป็นต้น นอกจากเชื้อ Mycobacterium ดังกล่าวข้างต้นแล้ว อาจพบชนิดอื่นๆ ซึ่งเดิมเรียกว่า atypical Mycobacterium หรือ Mycobacterium other than tuberculosis ปัจจุบันเรียกว่า nontuberculous Mycobacteria มีหลายสายพันธุ์ สามารถพบในสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำและดินหรือสัตว์ เช่น นก วัว ควาย เป็นต้น หรือพบในช่องคอของ

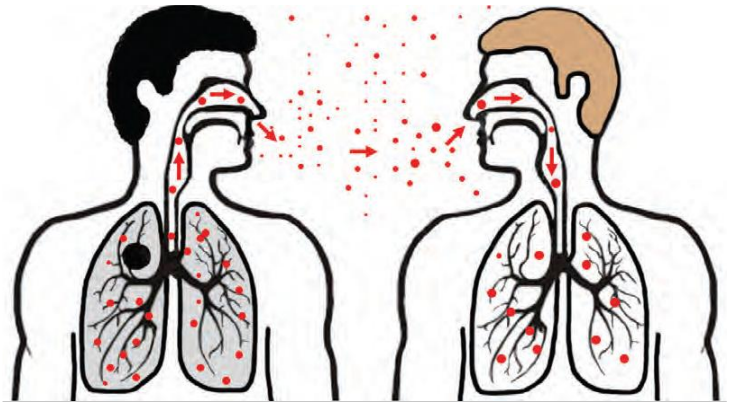
คนซึ่งส่วนใหญ่นั้นไม่ทำให้เกิดวัณโรค อย่างไรก็ตามปัจจุบันเริ่มมีความสำคัญเนื่องจากอาจทำให้เกิดโรคติดเชื้อฉวยโอกาสที่พบได้ในผู้ติดเชื้อเอชไอวี เช่น *Mycobacterium avium* complex[37, 38]

2.3.2 การแพร่กระจายเชื้อและพยาธิสภาพของวัณโรคปอด

วัณโรคเกิดได้ในทุกอวัยวะของร่างกาย แต่ส่วนใหญ่ร้อยละ 80 มักเกิดที่ปอดซึ่งสามารถแพร่เชื้อได้ทางระบบหายใจเป็นหลัก ส่วนวัณโรคนอกปอดเป็นผลมาจากการแพร่กระจายของการติดเชื้อไปยังอวัยวะอื่นๆ ได้แก่ เยื่อหุ้มปอด กระดูกสันหลัง ต่อมน้ำเหลือง ช่องท้อง ข้อต่อ ระบบประสาท ระบบทางเดินปัสสาวะ และระบบสืบพันธุ์ เป็นต้น[37]

เชื้อวัณโรคโดยเฉพาะวัณโรคปอดสามารถแพร่กระจายเชื้อได้ทางอากาศ ดังนั้นการหายใจนับเป็นทางหนึ่งที่ทำให้ได้รับเชื้อวัณโรคจากผู้ป่วย ทั้งนี้เพราะการไอ จาม พูดเสียงดังๆ นั้น จะทำให้เชื้อที่อยู่ภายในทางเดินหายใจของผู้ป่วยกระจายออกสู่ภายนอกเป็นละอองเสมหะ (droplets) อยู่ในอากาศ[38] การไอหนึ่งครั้งก่อให้เกิดละอองเสมหะในบรรยากาศ 3,000 droplet nuclei โดยเทียบได้กับการพูดประมาณ 5 นาที และหากจามจะก่อให้เกิดละอองเสมหะในบรรยากาศได้มากกว่า (40,000 droplet)[39-41] อนุภาคของ droplets ขนาดใหญ่มากมักจะตกลงสู่พื้นและแห้งไป เหลือส่วนที่เล็กที่สุดที่มีเชื้อวัณโรคจะลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งสามารถอยู่ในอากาศได้นานหลายชั่วโมง[38] ดังนั้นหากผู้ป่วยวัณโรคไอโดยไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น ผ้าปิดปากและจมูก (surgical mask) จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศบริเวณนั้นและก่อให้เกิดการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในอากาศได้ ดังภาพที่ 2[42]

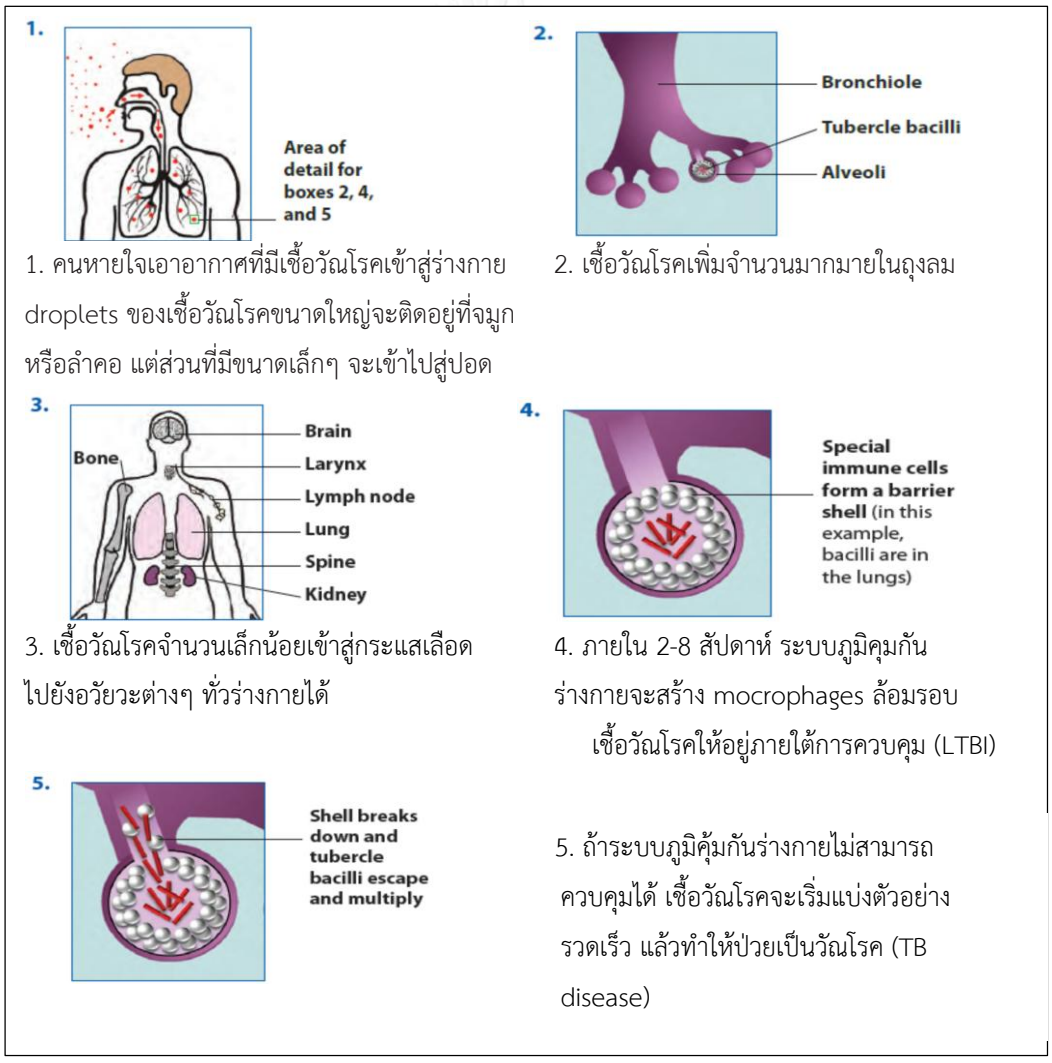
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2 การแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในอากาศ[42]

การติดเชื้อและการป่วยเป็นวัณโรค (Tuberculosis infection: TB infection and Tuberculosis disease: TB disease)

เมื่อคนหายใจเอาอากาศที่มีเชื้อวัณโรคเข้าสู่ร่างกาย droplets ของเชื้อวัณโรคที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่ที่จมูกหรือลำคอซึ่งมักไม่ก่อให้เกิดโรค แต่ส่วนที่มีขนาดเล็กๆ จะเข้าไปสู่ปอด เชื้อจะถูกระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายทำลาย หากมีเชื้อที่ถูกทำลายไม่หมดเชื้อก็จะแบ่งตัวทำให้เกิดการติดเชื้อ (TB infection) แต่ถ้าระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายสามารถยับยั้งการแบ่งตัวของเชื้อวัณโรคทำให้เชื้อวัณโรคอยู่ภายใต้การควบคุมได้จะทำให้เป็นผู้ติดเชื้อแฝง (latent TB infection: LTBI) ซึ่งเป็นส่วนใหญ่ของผู้ติดเชื้อวัณโรค ดังภาพที่ 3[42]



ภาพที่ 3 พยาธิกำเนิดของการติดเชื้อวัณโรคระยะแฝง (LTBI) และโรควัณโรค (TB disease)[42]

2.3.3 สถานการณ์วัณโรคและความเสี่ยงต่อวัณโรคในบุคลากรด้านการแพทย์

วัณโรคเป็นโรคทางระบบทางเดินหายใจที่มีสาเหตุมาจากเชื้อแบคทีเรียที่เป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญของโลก สถานการณ์วัณโรคในปัจจุบัน WHO รายงานว่าระหว่างปี ค.ศ. 2000-2015 มีผู้เสียชีวิตเพราะวัณโรคประมาณ 49 ล้านคนทั่วโลก และในปี ค.ศ. 2015 พบว่าวัณโรคจัดเป็นหนึ่งใน 10 อันดับแรกของสาเหตุของการเสียชีวิตทั่วโลก

สถานการณ์วัณโรคในประเทศไทย จากรายงานของ WHO ดังกล่าวข้างต้น พบว่าประเทศไทยมีผู้ป่วยวัณโรครายใหม่คิดเป็น 172 ต่อประชากรแสนคน WHO ได้จัดให้ประเทศไทยอยู่ในอันดับที่ 18 จากประเทศทั้งหมด 20 ประเทศที่มีการแพร่ระบาดของวัณโรค และอันดับที่ 17 จากประเทศทั้งหมด 20 ประเทศที่มีการแพร่ระบาดของวัณโรคดื้อยาหลายขนาน (MDR-TB)[10]

สถานการณ์ความเสี่ยงต่อวัณโรคในบุคลากรด้านการแพทย์ จากการศึกษาจากระบบรายงานโรคและแบบสอบถามของประเทศต่างๆ ทั้งในประเทศทางยุโรป อเมริกา จีน และญี่ปุ่น ในกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์และสาธารณสุข พบว่าส่วนหนึ่งมีการเพิ่มขึ้นของโอกาสเสี่ยงของการเกิดวัณโรค[11] โดยจากการศึกษาพบว่าบุคลากรสาธารณสุขในโรงพยาบาลมีความชุกของการติดเชื้อวัณโรคแฝงเฉลี่ยร้อยละ 8.4 (95% CI 2.75-14.05) และอุบัติการณ์วัณโรคสูงกว่าประชาชนทั่วไป 3.7-10.0 เท่า[11, 12] นอกจากนี้การพบเชื้อวัณโรคดื้อยาหลายขนาน (MDR-TB) ถือเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรคในกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์[13] การศึกษาในประเทศเบลารุสทำการศึกษาย้อนหลังระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012 โดยศึกษาในบุคลากรทางการแพทย์ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับวัณโรค จำนวน 116 ราย ผลการศึกษาพบว่ามีบุคลากรทางการแพทย์ป่วยเป็นวัณโรค 107 ราย (92%) โดย 38 ราย ได้ตรวจเพาะเชื้อวัณโรคและทดสอบความไวของเชื้อต่อยาต้านวัณโรค ซึ่งผลพบว่าในจำนวนนี้ตรวจพบว่าเป็นวัณโรคดื้อต่อยาหลายขนานและชนิดรุนแรงจำนวน 28 ราย (74%)[14] ส่วนการศึกษาในประเทศแอฟริกาใต้ พบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีอุบัติการณ์วัณโรคดื้อยาหลายขนานสูงกว่าประชาชนทั่วไป 5.5 เท่า (95% CI, 4.75-6.28)[15] และการศึกษาในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิพบว่าการติดเชื้อวัณโรคและวัณโรคดื้อยาในบุคลากรทางการแพทย์อาจเกี่ยวข้องกับการเกิดการติดเชื้อในโรงพยาบาล[16, 17]

ประเทศไทยจากการศึกษาความเสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรคของบุคลากรโรงพยาบาลเชียงราย โดยการทำการทดสอบปฏิกิริยาทูเบอร์คูลินในกลุ่มบุคลากรนั้น ผลการศึกษาพบว่าบุคลากรป่วยด้วยวัณโรค 536 รายต่อบุคลากรแสนคน ในระหว่างปี ค.ศ. 1995-1999[43] และการศึกษา

วัณโรคในบุคลากรด้านการพยาบาลของโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ระหว่างปี 2531-2545 ในรูปแบบ retrospective cohort study จำนวน 2,613 คน ผลการศึกษาพบว่าบุคลากรทางด้านการพยาบาลมีอัตราป่วยด้วยวัณโรคทุกอวัยวะ 231 คน และวัณโรคปอด 188 คน ต่อประชากรแสนคน และหน่วยห้องฉุกเฉินเป็นหน่วยงานที่มีอัตราป่วยสูงสุด[44] และปี พ.ศ. 2541-2545 บุคลากรด้านการพยาบาลจำนวน 3,959 คน พบอัตราป่วยด้วยวัณโรคทุกอวัยวะ 188 ต่อประชากรแสนคน โดยแผนกฉุกเฉินมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรคทุกอวัยะร้อยละ 10.4 (95%CI 3.0-44.7)[45] และการศึกษาโดยการทดสอบปฏิกิริยาทูเบอรคูลินและตรวจคัดกรองวัณโรคด้วยวิธี QuantiFERON®-TB Gold In-Tube test (QFT-IT) เพื่อตรวจหาการป่วยวัณโรคแฝงในกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์ของโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบปฏิกิริยาทูเบอรคูลินและผลการทดสอบ QFT-IT เป็นบวกเท่ากับ 38% และ 20% ตามลำดับ[46]

2.4 การควบคุมการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาล

มาตรการลดความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายและติดเชื้อวัณโรค ตามคำแนะนำของ WHO มี 3 ระดับ ได้แก่ การบริหารจัดการ การควบคุมสภาพแวดล้อม และการควบคุมป้องกันระดับบุคคล รายละเอียดดังนี้[18, 37]

การบริหารจัดการ เป็นมาตรการที่สำคัญและจัดเป็นด่านแรกของมาตรการควบคุมการแพร่เชื้อ จุดประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้บุคลากรและผู้ป่วยอื่นๆ สัมผัสต่อเชื้อวัณโรค และลดการแพรเชื้อ มีกระบวนการโดยการวินิจฉัยผู้ที่มีอาการสงสัยและให้การรักษาผู้ป่วยวัณโรคโดยเร็วที่สุด ซึ่งการบริหารจัดการที่ดี ประกอบด้วย

1. การประเมินความเสี่ยงต่อการแพรกระจายเชื้อวัณโรค โดยพิจารณาจากข้อมูลจำนวนผู้ป่วยวัณโรคในแต่ละปีของสถานบริการระดับต่างๆ จำนวนครั้งของการให้บริการผู้ป่วยวัณโรคในแต่ละแผนก และบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงในการแพรกระจายเชื้อ
2. การวางแผน การจัดตั้งคณะกรรมการเพื่อรับผิดชอบการวางแผนและมาตรการ และการดำเนินการควบคุม โดยพิจารณาข้อมูลลักษณะของผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยงต่างๆ และอาคารสถานที่
3. การอบรมบุคลากรสาธารณสุขที่ปฏิบัติงาน เพื่อให้บุคลากรดังกล่าวเข้าใจถึงนโยบายการควบคุมการแพรกระจายเชื้อในสถานบริการด้านสุขภาพ

4. การค้นหาผู้ป่วยวัณโรคระยะแพร่เชื้อและระยะลุกลามโดยเร็วที่สุด เพื่อเป็นการป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรคโดยสามารถทำได้ดังนี้

4.1 ควรจะมีระบบรายงานให้หน่วยงานควบคุมโรคติดเชื้อของโรงพยาบาลทราบเกี่ยวกับข้อมูลผู้ป่วยวัณโรคระยะแพร่เชื้อและลุกลามทุกรายที่รับรักษาในโรงพยาบาล

4.2 ควรมีแนวทางการดำเนินการดูแลรักษา เช่น clinical practice guideline ที่ชัดเจน สำหรับผู้ป่วยอื่นที่รับรักษาในโรงพยาบาลที่มีอาการแสดง หรือภาพรังสีทรวงอกผิดปกติที่สงสัยว่าอาจเป็นวัณโรค

4.3 กรณีที่ผู้ป่วยมีผลย้อมเสมหะหรือสิ่งส่งตรวจอื่นพบเชื้อ acid fast bacilli (AFB) ควรรายงานแพทย์ผู้เกี่ยวข้องอย่างรวดเร็ว และจัดให้มีระบบรายงานผลดังกล่าวไปยังหน่วยงานควบคุมโรคติดเชื้อและวัณโรคในสถานพยาบาลด้วย

4.4 ควรแยกบริเวณรอตรวจของผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคหรือผู้ติดเชื้อเอชไอวีที่เป็นวัณโรคในระยะแพร่เชื้อจากผู้ป่วยอื่น และควรให้ผู้ป่วยวัณโรคสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น ผ้าปิดจมูกและปาก (surgical mask) และแจกถุงหรือภาชนะเก็บเสมหะ พร้อมให้คำแนะนำการใช้

5. การแยกผู้ป่วยวัณโรคหรือผู้สงสัยเป็นวัณโรคที่ต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล วิธีการดีที่สุด คือ ควรแยกเป็นห้องแยกเดี่ยว แต่ในกรณีที่มีข้อจำกัดควรแยกหอผู้ป่วยวัณโรคหรือบริเวณรักษาผู้ป่วยวัณโรคให้ห่างจากผู้ป่วยอื่นๆ โดยเฉพาะผู้ป่วยซึ่งมีปัญหาระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง เช่น ผู้ติดเชื้อเอชไอวี ผู้ที่ได้รับยาเคมีบำบัด และผู้ป่วยเด็ก นอกจากนี้ควรมีการควบคุมสภาพแวดล้อมของบริเวณตรวจรักษาและห้องพักผู้ป่วยให้มีความเหมาะสมเพื่อลดการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรคด้วย

6. การให้ความรู้แก่ประชาชนในชุมชนและกลุ่มผู้ติดเชื้อเอชไอวี เพื่อให้ทราบความเสี่ยง อาการสงสัย และการป้องกันการรับเชื้อวัณโรค

การควบคุมสภาพแวดล้อม มีวิธีการดังต่อไปนี้

1. การควบคุมการหมุนเวียนอากาศในบริเวณที่เป็นแหล่งกำเนิดเชื้อวัณโรค โดยการใช้การระบายอากาศเฉพาะที่ ได้แก่ hoods และ tents หรือ booths และการเจือจางหรือกำจัดอากาศที่มีการปนเปื้อนเชื้อวัณโรคโดยใช้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation) และการระบายอากาศเชิงกล (mechanical ventilation)

2. การควบคุมการไหลเวียนของอากาศ โดยการกรองอากาศเพื่อเอาฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเชื้อโรคออกไป เรียกว่า High-Efficiency Particulate Air (HEPA) Filter หรือการฆ่าเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet germicidal irradiation-UVGI) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของอากาศในพื้นที่อยู่ติดกับ

บริเวณที่มีการปนเปื้อนเชื้อโรค โดยหลักการทำงานของเครื่องกรอง HEPA เป็นการกรองอากาศโดยนำอากาศที่มีเชื้อวัณโรคปนเปื้อนเข้าไปในเครื่องกรองแล้วผ่านขบวนการทำลายเชื้อวัณโรคและปล่อยอากาศที่สะอาดออกมาใช้ใหม่ วิธีการนี้เหมาะสำหรับห้องเล็กๆ ที่มีบริเวณจำกัดและอับทึบที่ไม่สามารถระบายอากาศตามธรรมชาติได้ การติดตั้งเครื่องกรองอากาศควรพิจารณาตามความเหมาะสมและต้องมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ

การควบคุมป้องกันระดับบุคคล เป็นเพียงมาตรการเสริมจากการควบคุมด้านการบริหารจัดการและการควบคุมสภาพแวดล้อม เป็นมาตรการที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรการอื่นๆ และเป็นการป้องกันการติดเชื้อด่านสุดท้ายซึ่งได้ประโยชน์เฉพาะตัวบุคคลเท่านั้น โดยได้มีการแนะนำให้ใช้ในสถานที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อสูง เช่น ในห้องแยกของผู้ป่วยวัณโรค โดยเฉพาะผู้ป่วย MDR-TB และห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ (bronchoscopy) เป็นต้น โดยอุปกรณ์ที่สำหรับควบคุมป้องกันระดับบุคคล ไดแก

1. ผ้าปิดจมูกและปาก (surgical mask) เป็นการป้องกันกันการแพรกระจายเชื้อจากผู้ป่วยวัณโรคไปสูบุคคลรอบข้าง โดยทำให้เสมหะหรือน้ำลายที่มีเชื้อวัณโรคติดอยู่ที่ผ้าปิดจมูกและปาก (surgical mask)

2. อุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันการรับเชื้อจากอากาศที่หายใจเข้าไป โดยจะสามารถกรองชิ้นส่วนเล็กๆ ขนาด 1 ไมโครเมตร อุปกรณ์ดังกล่าวข้างต้น เช่น HEPA mask และ N 95 ซึ่งแนะนำให้ใช้กับกับบุคลากรในห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ หรือห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ที่ต้องสัมผัสกับเชื้อวัณโรค

การเฝ้าระวังการติดเชื้อและป่วยเป็นวัณโรค

บุคลากรทางการแพทย์เป็นผู้ที่มีความเสี่ยงต่อการสัมผัสหรือรับเชื้อวัณโรคจากอากาศระหว่างการปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันตนเอง ดังนี้

1. บุคลากรต้องมีความรูเกี่ยวกับวัณโรค ลักษณะการแพรเชื้อ และแนวทางการป้องกัน

2. บุคลากรที่เริ่มทำงาน ควรตรวจร่างกายก่อนทำงานเพื่อตรวจว่าป่วยเป็นวัณโรคหรือไม่ ถ้าปกติดีอาจต้องตรวจการติดเชื้อวัณโรคโดยการทดสอบทูเบอร์คูลิน (tuberculin) ซึ่งผลการทดสอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 การทดสอบทูเบอร์คูลิน (Tuberculin) มีผลเป็นบวก แสดงว่าเคยรับเชื้อวัณโรคและร่างกายมีภูมิคุ้มกันวัณโรคแล้ว ดังนั้นควรเฝ้าระวังการป่วยเป็นวัณโรค ป้องกันการรับเชื้อใหม่ และตรวจร่างกายทุก 6 เดือน ถึง 1 ป

2.2 การทดสอบทูเบอร์คูลิน (Tuberculin) มีผลเป็นลบ อาจทำการตรวจซ้ำหลังจากตรวจครั้งแรก 1 สัปดาห์ (two step testing) ถ้าครั้งที่ 2 เป็นบวกแสดงว่าเป็น boosted reaction ให้ดำเนินการตามข้อ 2.1 ถ้าครั้งที่ 2 เป็นลบ แสดงว่ายังไมเคยรับเชื้อวัณโรคและไมมีภูมิคุ้มกัน ดังนั้นควรเฝ้าระวังและทดสอบผลทูเบอร์คูลิน (tuberculin) ซ้ำอีกครั้งในช่วง 6 เดือน ถึง 1 ป ถ้าผลภายหลังเป็นบวก (tuberculin conversion) แสดงว่ามีการการรับเชื้อใหมในช่วง 6 เดือน ถึง 1 ปี

2.5 การระบายอากาศ

การระบายอากาศ (Ventilation air) หมายถึง ระบบการระบายอากาศที่ทำให้อากาศอยู่ในระดับที่เป็นที่ยอมรับตามคุณภาพอากาศภายในอาคาร (indoor air quality: IAQ) ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้เหมาะสม เพื่อลดการเกิดกลิ่น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และมลสารพิษที่ปนเปื้อนมากับอากาศ เช่น ฝุ่น ควัน และสารอินทรีย์ไอระเหย (volatile organic compound: VOC) เป็นต้น[24]

การระบายอากาศแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้ การแทรกผ่านรอยแยกของอาคาร (infiltration and exfiltration) การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation) และการระบายอากาศเชิงกล (mechanical ventilation)

1. การแทรกผ่านรอยแยกของอาคาร (Infiltration and exfiltration) สามารถเกิดขึ้นได้ในอาคารทั้งหมดแต่จะเด่นชัดที่สุดในอาคารสูง โดยการแทรกซึมของอากาศภายในและนอกอาคารเกิดจากรอยแยกของอาคารและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างอาคารทั้งหมดมีช่องทางที่อากาศแทรกซึมเข้าและออกได้ รวมถึงรอยแตกของอาคารและช่องว่างรอบๆ หน้าต่างหรือประตูด้วย และปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ความเร็วลม และความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและนอกอาคาร โดยการแลกเปลี่ยนอากาศจะเกิดได้เกิดน้อยในช่วงเวลาที่ลมสงบ เกิดได้ปานกลางเมื่ออุณหภูมิภายในและนอกอาคารแตกต่างกันเล็กน้อย และเกิดได้มากในวันที่อากาศหนาวเย็น ลมแรง ส่วนช่วงฤดูร้อนความแตกต่างของอุณหภูมิในอาคารและนอกอาคารทำให้เกิดความแตกต่างของความดันที่ดึงอากาศเข้าไปในอาคารและทำให้อากาศออกสู่นอกอาคารทางด้านบน

2. การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (Natural ventilation) เป็นการถ่ายเทอากาศที่เกิดจากการเปิดประตูและหน้าต่าง โดยอากาศจะเข้าไปเกิดการหมุนเวียนแลกเปลี่ยนอากาศและเจือจางมลสาร ระดับการระบายอากาศหรือการแลกเปลี่ยนอากาศหรือขึ้นอยู่กับตำแหน่งและขนาดของประตูหน้าต่างและปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการแทรกซึมของอากาศ การระบายอากาศแบบ

ธรรมชาติเป็นวิธีเบื้องต้นที่ทำให้บริเวณอาคารมีอากาศที่สบายขึ้นในช่วงอากาศร้อนหากในบริเวณนั้นไม่มีการควบคุมสภาพอากาศตลอดทั้งปี

3. การระบายอากาศเชิงกล (Mechanical ventilation) เป็นมาตรการควบคุมการปนเปื้อนของอากาศที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอาคารสำนักงานขนาดใหญ่และอาคารพาณิชย์ แบ่งได้ 2 แบบ ได้แก่ การระบายอากาศในพื้นที่ทั่วไป และเฉพาะพื้นที่บางส่วน การระบายอากาศเชิงกลในพื่นที่ทั่วไปจะใช้ในพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อเจือจางและกำจัดของเสียที่เกิดจากมนุษย์ซึ่งเป็นสาเหตุของกลิ่นไม่พึงประสงค์และข้อร้องเรียนเกี่ยวกับความสะดวกสบาย และใช้เป็นมาตรการทั่วไปในการลดระดับสารปนเปื้อนในอาคารด้วย โดยเมื่อปริมาตรอากาศหมุนเวียนเป็นสองเท่าของปริมาตรอากาศภายในอาคารคาดว่าระดับมลสารปนเปื้อนจะลดลงร้อยละ 50 ของระดับมลสารทั้งหมด การระบายอากาศในพื้นที่ทั่วไปจะมีประสิทธิภาพการเจือจางมลสารปนเปื้อนในอาคารดีที่สุดสำหรับมลสารที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว เช่น การสูบบุหรี่ เป็นต้น แต่ประสิทธิภาพดังกล่าวจะลดลงเมื่อมลสารถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการแพร่กระจาย ส่วนการระบายอากาศเชิงกลในเฉพาะพื้นที่บางส่วน เหมาะสมกับสถานการณ์ที่ทราบแหล่งที่มาชัดเจน บริเวณที่มีการปล่อยมลพิษสูง นิยมใช้ในการควบคุมกลิ่นไม่พึงประสงค์จากห้องน้ำ การควบคุมมลสารที่เกิดจากการเผาไหม้ของผลิตภัณฑ์และกลิ่นจากห้องครัวและไอระเหยและก๊าซจากห้องปฏิบัติการของสถาบัน เป็นต้น[47]

ระบบระบายอากาศที่นิยมใช้ในสถานพยาบาลมีดังนี้ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation) ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (central air-conditioning system) และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (split type systems)[48, 49]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 การวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศหรืออัตราการระบายอากาศ

อัตราการหมุนเวียนอากาศ หรือปริมาตรอากาศหมุนเวียนต่อชั่วโมง หมายถึง ปริมาตรอากาศที่หมุนเวียนภายในห้องรอบต่อชั่วโมง มีหน่วยเป็น air-changer/hr หรืออัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)

การวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศหรืออัตราการระบายอากาศ สามารถทำได้โดยการใช้เทคนิค tracer gas ในการพิจารณาถึงการแลกเปลี่ยนอากาศภายในห้อง และใช้วิธีการคำนวณจาก ASTM standard E741-00 (reapprover 2006) ซึ่งเป็นข้อปฏิบัติสำหรับวิธีการทดสอบการลดลง

ของความเข้มข้นของก๊าซ (procedure for the concentration decay test method) เพื่อใช้หาอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศหรืออัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้[23]

$$\text{อัตราการหมุนเวียนอากาศ} = \frac{(\ln C_1 - \ln C_2)}{t_2 - t_1}$$

เมื่อ

C_1 = ค่าความเข้มข้นของก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas) ที่เวลาเริ่มต้น

C_2 = ค่าความเข้มข้นของก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas) ที่เวลาสิ้นสุด

T_1 = เวลาเริ่มต้นที่วัดก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas)

T_2 = เวลาสิ้นสุดที่วัดก๊าซเทรเซอร์ (tracer gas)

ข้อมูลบางส่วนของมาตรฐานคุณภาพอากาศในโรงพยาบาลของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ดังตารางที่ 5[24]

ตารางที่ 5 อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง[24]

ลำดับ	สถานที่	อัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง
1	หออภิบาลผู้ป่วย	6
2	ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	6
3	ห้องฉุกเฉิน	12
4	บริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอกและห้องฉุกเฉิน	12
5	ห้องพักผู้ป่วย	6
6	ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	12
7	ห้องแยกผู้ป่วยปลอดเชื้อ	12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับระบบระบายอากาศในประเทศไทยโดยศึกษาในโรงพยาบาลของรัฐในเขตภาคกลางพบว่าโรงพยาบาลมีการระบายอากาศไม่เพียงพอร้อยละ 44.6[50] และในต่างประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับผลการทดสอบทูเบอร์คูลินซ้ำภายหลังเป็นบวก (tuberculin conversion) ของเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาและพยาธิวิทยา ในโรงพยาบาลในประเทศเคนาดาซึ่งการศึกษานี้มีการตรวจวัดความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศในโรงพยาบาลด้วย และผลการตรวจวัดดังกล่าวพบว่าโรงพยาบาลมีอัตราการหมุนเวียนอากาศไม่เพียงพอร้อยละ 49.0[51]

2.7 การตรวจวัดจุลินทรีย์และเชื้อวัณโรคในอากาศ

2.7.1 หลักการเก็บตัวอย่างจุลชีพในอากาศ

การประเมินการสัมผัสจุลชีพแตกต่างจากสารเคมีหรือสารอนินทรีย์ต่างๆ เนื่องจากจุลชีพในอากาศหรือจุลชีพแขวนลอยมีความหลากหลายและแตกต่างกันตามแต่ละชนิด จุลชีพบางชนิดสัมผัสในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ก่อให้เกิดโรคที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพมาก ในขณะที่จุลชีพบางชนิดต้องสัมผัสที่ความเข้มข้นสูงๆ เท่านั้นจึงจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ นอกจากนี้จุลชีพบางชนิดตายหรือเปลี่ยนแปลงสภาพไปเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่แปรปรวน ในขณะที่บางชนิดสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี

การเก็บตัวอย่างจุลชีพในอากาศ ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างจุลชีพที่อาศัยหลักการเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างอนุภาค โดยเป็นการแยกอนุภาคจุลชีพออกจากกระแสอากาศและดักเก็บไว้บนหรือในตัวกลางที่เป็นของแข็ง กระดาษกรอง ของเหลว หรืออาหารเลี้ยงเชื้อ เทคนิคที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ การดักเก็บด้วยเพลทเก็บตัวอย่าง (impaction) การกรอง (filtration) และการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (impingement) จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณและชนิดของจุลชีพต่อไป ซึ่งเทคนิคที่ใช้เก็บตัวอย่างจุลชีพในอากาศมีดังนี้[52, 53]

1. การดักเก็บด้วยเพลทเก็บตัวอย่าง (Impactor method) วิธีการเก็บตัวอย่างดังกล่าวนี้ จุลชีพแขวนลอยในอากาศจะถูกดูดผ่านช่องเล็กๆ และชนกับอาหารเพาะเชื้อซึ่งบรรจุอยู่ในจานเพาะเชื้อที่จุลชีพนั้นสามารถเจริญเติบโต เพิ่มจำนวน และสร้างโคโลนีได้ หรือตกบนแผ่นกระจกหรือเทปกาว หลังจากนั้นนำไปเพาะเชื้อหรือส่องกล้องนับและสังเกตลักษณะสปอร์ต่อไป เครื่องมือที่เก็บตัวอย่างที่อาศัยหลักการนี้ ได้แก่ Anderson six stage impactor sampler[53, 54] ซึ่งหลักการของเครื่องมือนี้ คือ อนุภาคที่ถูกดูดเข้ามาจะถูกรวบรวมไว้ตามขนาดของอนุภาคแบ่งเป็นชั้นๆ อนุภาคขนาดใหญ่จะอยู่ชั้น

บนสุดและขนาดอนุภาคที่เล็กลงจะอยู่ในชั้นถัดมาเรื่อยๆ การเพิ่มขึ้นของอัตราการดูดและการอัดแน่นของอากาศจะทำให้ได้อนุภาคเข้ามามากขึ้น ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถดักเก็บจุลชีพบนอาหารเพาะเชื้อได้โดยตรงไม่ต้องเจือจางหรือล้างอุปกรณ์เก็บเพื่อนำไปเพาะเชื้อต่อ ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ สามารถเก็บได้เฉพาะจุลชีพที่มีชีวิตเท่านั้น และหากมีจุลชีพในอากาศจำนวนมากอาจมีจุลชีพมากกว่าหนึ่งตกลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อในจุดเดียวกัน ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ต่ำกว่าความเป็นจริงได้ นอกจากนี้อาจไม่เหมาะในการหาชนิดและปริมาณจุลชีพด้วยเทคนิคทางด้านอณูวิทยาเพราะอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างเป็นอาหารเหลวชนิดแข็ง

2. การกรอง (Filtration) วิธีการเก็บตัวอย่างนี้โดยทั่วไปใช้วิธีการกรองจุลชีพแขวนลอยออกจากอากาศด้วยกระดาษกรอง ซึ่งอาศัยกลไกเดียวกับการกรองอนุภาคทั่วๆ ไป คือ จุลชีพแขวนลอยในอากาศจะถูกดูดเข้าไปและชนกับเนื้อเยื่อหรือเส้นใยกระดาษกรองโดยตรง แรงเฉื่อยจากการแพร่จากประจุไฟฟ้าที่ต่างกันและด้วยแรงโน้มถ่วงทำให้จุลชีพแขวนลอยในอากาศเกาะติดกับกระดาษกรอง สิ่งสำคัญที่แตกต่างระหว่างการเก็บจุลชีพแขวนลอยกับการเก็บอนุภาคทั่วไป คือ กระดาษกรองที่นำมาใช้เก็บจุลชีพแขวนลอยในอากาศต้องปราศจากเชื้อ เมื่อเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้วหลังจากนั้นนำกระดาษกรองไปล้างหรือเขย่าเพื่อให้จุลชีพที่ติดบนกระดาษกรองลงในสารละลายแล้วจึงเจือจางสารละลายดังกล่าวตามความเหมาะสม จากนั้นจึงนำไปเพาะบนอาหารเลี้ยงเชื้อและนับจำนวนโคโลนีได้ โดยทั่วไปกระดาษกรองที่นิยมใช้ทั่วไป คือ กระดาษกรองชนิดเมมเบรน ข้อดีของวิธีการนี้ คือ สามารถเก็บตัวอย่างได้ง่าย[52, 53] และเหมาะในการหาปริมาณและชนิดของจุลชีพโดยการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค quantitave polymerase chain reaction (qPCR)[54] ข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ จุลชีพที่มีชีวิตอาจตาย และการล้างอนุภาคออกจากกระดาษกรองไม่สามารถนำจุลชีพออกมาได้ดีนัก[52]

3. การดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (Liquid impinger method) การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการดูดจุลชีพแขวนลอยในอากาศบริเวณที่ต้องการตรวจประเมินผ่านลงในของเหลวที่อยู่ในอิมพิงเจอร์โดยตรงด้วยแรงเฉื่อยภายใน หลังจากนั้นจุลชีพจะกระจายตัวอยู่ภายในฟองอากาศ ของเหลวที่ใช้ดักเก็บจุลชีพอาจเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดเหลวหรือของเหลวปราศจากเชื้อซึ่งมีหลายชนิดแต่ที่ใช้นิยมใช้ คือ น้ำ เปปโตนละลายในน้ำ และบีเทนละลายในน้ำ เป็นต้น สำหรับการเก็บตัวอย่างเชื้อวัณโรคในอากาศมีการใช้น้ำและน้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 20 มิลลิลิตร เป็นของเหลวที่บรรจุในอิมพิงเจอร์เพื่อดักเก็บจุลชีพ หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บได้ไปเพาะเชื้อบนอาหารที่เหมาะสม[52, 53]

หรือนำไปตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค qPCR ต่อไป[54] ข้อดีของวิธีการนี้ คือ วิธีการใช้งานง่าย มีความน่าเชื้อถือ อุปกรณ์ต่างๆ ง่ายต่อการทำให้ปราศจากเชื้อ และตัวอย่างจุลชีพที่ได้อาจนำไปเพาะเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อต่างชนิดเพื่อวิเคราะห์ความต่างของชนิดจุลชีพได้ด้วยนัก[52] และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเหมาะสำหรับการหาปริมาณและชนิดของจุลชีพโดยการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค qPCR[54] ข้อจำกัดของวิธีการนี้ คือ ระหว่างการเก็บตัวอย่างจุลชีพอาจตายเนื่องจากการกระแทกกับก้นของอิมพิงเจอร์[52] และไม่สามารถแยกขนาดอนุภาคจุลชีพ[53]

2.7.2 การตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลของเชื้อวัณโรค

ปัจจุบันความรู้ทางด้านอณูชีววิทยาได้รับการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างมาก และเป็นประโยชน์ต่อการนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ มีการนำเอาความรู้ทางด้านอณูชีววิทยา (molecular biology) มาใช้ตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุล เพื่อตรวจหาจุลชีพที่เป็นสาเหตุของโรคติดเชื้อต่างๆ โดยเฉพาะโรคที่มีการเพาะเลี้ยงยาก หรือมีปริมาณที่น้อยในสิ่งส่งตรวจ การตรวจหาการกลายพันธุ์ในสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะยีนในมนุษย์ และการตรวจเซลล์มะเร็ง โดยเทคนิคที่นำมาใช้ ได้แก่ เทคนิคการเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมในหลอดทดลองด้วยเทคนิค polymerase chain reaction: PCR หรือเทคนิค loop mediated isothermal amplification: LAMP เป็นต้น สำหรับเชื้อวัณโรคได้มีการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้**ตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเช่นกัน** โดยชีวโมเลกุลของเชื้อวัณโรคมีรายละเอียดดังนี้

จีโนม (Genome) ของเชื้อวัณโรค (*M. tuberculosis*) มีน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) ประมาณ $3x10^6$ กิโลดาลตัน (kDa) ประกอบด้วยคู่เบสประมาณ 4.41 ล้านคู่เบส มีเบส GC สูงเฉลี่ยประมาณ 65% หรือบางตำแหน่งอาจสูงถึง 80-85% และจะพบ insertion sequence (IS) ที่ชื่อว่า IS*6110* ซึ่งสามารถพบได้ทั้งใน *M. tuberculosis* (5-17 copies) และ *M. bovis* (1-5 copies) IS*6110* เป็นเส้น DNA ทีมีความยาว 1,361 base pair (bp) และมีส่วนปลายเป็น 28 bp เป็น imperfect repeat[55]

Real-time PCR เป็นเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาจากการทำ PCR แบบดั้งเดิม (conventional PCR) กับเครื่องมือวิเคราะห์สำเร็จรูปซึ่งใช้ในการอ่านผล สามารถตรวจวัดปริมาณของสารพันธุกรรมเป้าหมายตั้งต้นจากสิ่งที่ต้องการตรวจวัดได้ และสามารถวัดปริมาณสารพันธุกรรมที่เพิ่มขึ้นมาได้จริงทันทีโดยไม่จำเป็นต้องรอให้กระบวนการเสร็จสิ้น ทำให้ช่วยลดขั้นตอนการทดสอบดังนั้นวิธีการนี้จึงเป็นการตรวจวิเคราะห์สารพันธุกรรมของเชื้อโดยตรงที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำและรวดเร็วรวมทั้งสามารถ

อ่านผลในเชิงปริมาณได้[56] และปัจจุบันได้มีการใช้เทคนิค real-time PCR และ real-time qPCR มาใช้ศึกษาเกี่ยวกับการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรคและใช้ประมาณจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศในโรงพยาบาลอีกด้วย[20-22]

2.8 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

หัวข้อ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
การตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ	1. การศึกษาเกี่ยวกับความเพียงพอของระบบระบายอากาศ เพื่อลดความเสี่ยงจากการติดเชื้อวัณโรค - สถานที่ คือ โรงพยาบาลโรคปอดในประเทศสโลวีเนีย - บริเวณที่ศึกษา คือ แผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค 3 บริเวณ ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ 3 บริเวณ และบริเวณที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรค 3 บริเวณ รวมทั้งหมด 9 บริเวณ - เทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศและวิธีวิเคราะห์เพื่อหาเชื้อวัณโรค คือ filter/real-time PCR - วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ คือ วางเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศสูงจากพื้น 1.2 เมตร ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง 8 ชั่วโมง - อัตราการดูดอากาศ (flow rate) เท่ากับ 11.5 ลิตร/นาที - ผลการศึกษา พบเชื้อวัณโรคในอากาศร้อยละ 44.4 (4/9 บริเวณ) โดยพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่บริเวณทางเดินของแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค บริเวณทางเดินและห้องเพาะเชื้อของแผนกปฏิบัติการทางการแพทย์ และบริเวณทางเดินของพื้นที่ซึ่งไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรค โดยมีจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ระหว่าง 55$\pm$22 ถึง 177$\pm$32 copy number/m^3 จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ระหว่าง 6$\pm$2 ถึง 19$\pm$3 cell equivalents/m^3 และ Calculated time เท่ากับ 1-3 ชั่วโมง ส่วนบริเวณอื่นๆ ในแผนกผู้ป่วยในวัณโรค (ห้องผู้ป่วย และห้องเก็บเสมหะ) ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ (ห้องปฏิบัติการ) บริเวณที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรค (ห้องปฏิบัติการชีวเคมี) จำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ <10 copy number/m^3 ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์หาจำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ และ calculated time ได้[21]

ตารางที่ 6 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

หัวข้อ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
การตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ (ต่อ)	2. การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณความเข้มของเชื้อวัณโรคในอากาศในโรงพยาบาล - สถานที่ คือ โรงพยาบาลฝึกหัดแพทย์ในประเทศไต้หวัน - บริเวณที่ศึกษา คือ บริเวณที่เกี่ยวกับการให้บริการรักษาวัณโรค 3 บริเวณ ดังนี้ 1. ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคและผู้ป่วยที่สงสัยวัณโรค 2. ห้องรอตรวจและห้องให้คำปรึกษา 3. ห้องแยกเดี่ยวควบคุมความดันลบ ห้องพยาบาลนอกห้องแยกเดี่ยวควบคุมความดันลบ ห้องตรวจรักษา ห้องสังเกตุอาการในแผนกฉุกเฉิน และบริเวณที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรค 4 บริเวณ ดังนี้ 1. ห้องรอตรวจของแผนกจักษุ 2. บริเวณที่เป็นพื้นที่ส่วนรวม 3. ห้องผู้ป่วยในที่ไม่ใช่ผู้ป่วยวัณโรค และห้องพยาบาลของแผนก ผู้ป่วยใน และ 4. กุมารเวชกรรมในแผนกฉุกเฉิน รวมทั้งหมด 58 ตัวอย่างอากาศ - เทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศและวิธีวิเคราะห์เพื่อหาเชื้อวัณโรค คือ filter/real-time qPCR - วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ คือ วางเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศห่างจากผู้ป่วย 1.0 เมตร สูงจากพื้น 1.2-1.5 เมตร ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง 8 และ 4 ชั่วโมง - อัตราการดูดอากาศ (flow rate) เท่ากับ 20 ลิตร/นาที - ปริมาณที่น้อยที่สุด (detection limit) ของการทดสอบ เท่ากับ 2.8 copies/ไมโครลิตร ถึง 2.8×10^7 copies/ไมโครลิตร - ผลการศึกษา พบเชื้อวัณโรคในอากาศร้อยละ 63.8 (37/58 บริเวณ) และมีจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ รายละเอียดดังนี้ บริเวณที่เกี่ยวกับการให้บริการรักษาวัณโรค 1. ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ($8.2 \pm 2.7 \times 10^3$ copy number/m^3) และผู้ป่วยที่สงสัยวัณโรค (1.9×10^2 ถึง 9.9×10^2 copy number/m^3) 2. ห้องรอตรวจและห้องให้คำปรึกษา ($6.0 \pm 2.6 \times 10^3$ copy number/m^3) และ 3. ห้องแยกเดี่ยวควบคุมความดันลบ ($1.8 \pm 1.2 \times 10^4$ copy number/m^3) ห้องพยาบาลนอกห้องแยกเดี่ยวควบคุมความดันลบ ($5.6 \pm 3.3 \times 10^2$ copy number/m^3) ห้องตรวจรักษา ($1.0 \times 10^3 \pm 9.0 \times 10^2$ copy number/m^3) ห้องสังเกตุอาการในแผนกฉุกเฉิน ($2.1 \pm 1.9 \times 10^2$ copy number/m^3) และบริเวณที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรค 1. ห้องรอตรวจของแผนกจักษุ (2.5 ± 1.9 copy number/m^3) และ 2. บริเวณที่เป็นพื้นที่ส่วนรวม (1.5 ± 0.9 ถึง $1.9 \pm 1.1 \times 10$ copy number/m^3) ส่วน 3. ห้องผู้ป่วยในที่ไม่ใช่ผู้ป่วยวัณโรคจำนวนค่อนข้างต่ำมาก (0.8 ± 0.4 copy number/m^3) และห้องพยาบาลของแผนกผู้ป่วยในจำนวนต่ำกว่า detection limit และ 4. กุมารเวชกรรมในแผนกฉุกเฉินจำนวนต่ำกว่า detection limit เช่นกัน นอกจากนี้ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าการตรวจเชื้อวัณโรคในอากาศของโรงพยาบาลอาจเป็นไปได้ว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างการระบายอากาศและการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ก่อโรค[20]

ตารางที่ 6 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

หัวข้อ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
การตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ (ต่อ)	3. การศึกษานำร่องเพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศที่คลินิกผู้ป่วยนอกของสถานบริการสุขภาพในประเทศแอฟริกาใต้ - สถานที่ คือ คลินิกผู้ป่วยนอกของสถานบริการสุขภาพ - จำนวนตัวอย่างอากาศทั้งหมด 49 ตัวอย่าง - เทคนิคการเก็บตัวอย่างอากาศและวิธีวิเคราะห์เพื่อหาเชื้อวัณโรค คือ filter/real-time qPCR - วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศ มี 2 วิธี ดังนี้ 1. การเก็บตัวอย่างที่ติดกับบุคลากรทางการแพทย์ 2. การเก็บตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมวางเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศห่างจากผู้ป่วย 1.0 เมตร สูงจากพื้น 1.0 และ 1.5 เมตร ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่างประมาณ 9 ชั่วโมง - อัตราการดูดอากาศ (flow rate) เท่ากับ 4 ลิตร/นาที (การเก็บตัวอย่างที่ติดกับบุคลากรทางการแพทย์) และ 12 ลิตร/นาที (การเก็บตัวอย่างในสิ่งแวดล้อม) - ปริมาณที่น้อยที่สุด (detection limit) ของการทดสอบ เท่ากับ 28 copies/ไมโครลิตร - ผลการศึกษา พบเชื้อวัณโรคในอากาศร้อยละ 22.4 (11/49 ตัวอย่าง) แยกเป็นการเก็บตัวอย่างที่ติดกับบุคลากรทางการแพทย์ร้อยละ 44.0 (9/25 ตัวอย่าง) และการเก็บตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมร้อยละ 8.3 (2/24 ตัวอย่าง) มีจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ดังนี้ 1. การเก็บตัวอย่างที่ติดกับบุคลากรทางการแพทย์ระหว่าง $1.7x10^2$ ถึง $1.8x10^4$ copy number/m^3 2. การเก็บตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมที่แผนกผู้ป่วยในและห้องเทคโนโลยีสารสนเทศ เท่ากับ $2.1x10^2$ และ $6.6x10^2$ copy number/m^3 ตามลำดับ[22] 4. การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อวัณโรค ในโรงพยาบาลเขตภาคกลางของประเทศไทย 42 แห่ง และตรวจหาเชื้อวัณโรคด้วยวิธี PCR จากฝุ่นละอองรวมในอากาศโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบ real time: Portable Dust Monitor ซึ่งเป็นเทคนิคการเก็บจุลชีพแบบการกรอง (filtration) ผลจากการศึกษาไม่พบว่ามีเชื้อวัณโรคในอากาศจากตัวอย่างทั้งสิ้น 336 ตัวอย่าง และผู้วิจัยได้แนะนำว่าควรมีการพัฒนาวิธีการตรวจหาปริมาณเชื้อวัณโรคในอากาศภายในอาคารที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป และในส่วนของจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศพบว่าแผนกฉุกเฉินมีปริมาณเชื้อรามากที่สุด และในเรื่องระบบระบายอากาศได้ให้ข้อคิดเห็นว่าแผนกที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีบริเวณที่ค่อนข้างกว้าง จึงอาจมีการกั้นบริเวณดังกล่าวเพื่อให้เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมและสะดวกกับการทำงาน ซึ่งอาจทำให้เกิดมุมอับที่ไม่มีการไหลเวียนของอากาศได้[57]

ตารางที่ 6 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

หัวข้อ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
การเก็บจุลชีพในอากาศด้วยวิธีการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinger method)	1. การศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลของแบคทีเรียในอากาศ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศ 4 วิธี ได้แก่ solid impactors 2 วิธี (BioStage และ RCS) liquid impinger 1 วิธี (BioSampler) BioSampler และ filter sampler 1 วิธี (a gelatin and a cellulose acetate filter) ผลการศึกษาพบว่าการเก็บจุลชีพในอากาศด้วยวิธีการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinge) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการหาปริมาณและชนิดของจุลชีพโดยการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค qPCR[54] 2. การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องฟอกอากาศสำหรับกรองเชื้อวัณโรคและเชื้อไวรัสจากอากาศในอาคาร โดยศึกษาในประเทศไทยในห้องปฏิบัติการ วิธีการเก็บตัวอย่างอากาศใช้เทคนิคการเก็บเชื้อจุลชีพแบบการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinger method) รวมกับตรวจเชื้อวัณโรคด้วยวิธี nested polymerase chain reaction (nested PCR) และ PCR และใช้การเพาะเลี้ยงเชื้อเป็นวิธีมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบผล ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการเก็บเชื้อจุลชีพแบบการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinger method) สามารถใช้สำหรับเก็บเชื้อวัณโรคในอากาศได้[58]
การระบายอากาศในสถานพยาบาลและจุลินทรีย์ในอากาศ	1. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในโรงพยาบาล โดยทำการศึกษาในประเทศไทยและจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ พบว่าการระบายอากาศในโรงพยาบาลมี 3 ลักษณะ ได้แก่ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และผลการศึกษาพบว่าจำนวนเชื้อราในอากาศนอกอาคารมากกว่าในอาคารในทุกการระบายอากาศ นอกจากนี้พบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ[48] 2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศของโรงพยาบาลในเขตปริมณฑล โดยทำการศึกษาในประเทศไทยและเก็บตัวอย่างในแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอก หอผู้ป่วยวิกฤตด้านอายุรกรรม หน่วยจ่ายกลาง และแผนกบริหารทั่วไป จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการระบายอากาศ พบว่าการระบายอากาศในโรงพยาบาลมี 3 ลักษณะ ได้แก่ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน และผลการศึกษาพบว่าแผนกฉุกเฉินเป็นแผนกที่มีเชื้อราในอากาศสูงที่สุด[49]

ตารางที่ 6 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

หัวข้อ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
จุลินทรีย์ในอากาศ	1. การศึกษาเกี่ยวกับจำนวนจุลชีพในอากาศในหออภิบาลผู้ป่วยหนักของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย โดยทำการศึกษาในประเทศไทยและศึกษาจำนวนและขนาดของจุลชีพในหออภิบาลผู้ป่วยหนักอายุรกรรมและศัลยกรรม ผลการศึกษาพบว่าที่แผนกศัลยกรรมจุลินทรีย์ในอากาศขนาด 2.1-3.3 ไมโครเมตร มีจำนวนมากที่สุด และจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศที่หออภิบาลผู้ป่วยหนักศัลยกรรมขณะปิดระบบ UVGI เท่ากับ 515.1+246.75 และ 531.4+337.65 cfu/m^3 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารมากกว่านอกอาคารทั้งหมด ส่วนจำนวนเชื้อราภายในอาคารของหออภิบาลผู้ป่วยหนักศัลยกรรมขึ้นอยู่กับจำนวนเชื้อรานอกอาคาร และพบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์กับจำนวนเชื้อราในอากาศภายในอาคารของหออภิบาลผู้ป่วยหนักศัลยกรรม แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับอุณหภูมิของหออภิบาลผู้ป่วยหนักอายุรกรรม[5] 2. การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในโรงพยาบาลทั่วไปในประเทศเกาหลี โดยศึกษาในโรงพยาบาลทั่วไป 5 แห่ง บริเวณห้องโถง ห้องผ่าตัด หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (หน่วยดูแลผู้ป่วยหนัก) และห้องปฏิบัติการด้านชีวการแพทย์ ผลการศึกษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียในอาคารมากกว่านอกอาคาร[59] 3. การศึกษาเกี่ยวกับแหล่งที่มาของจุลินทรีย์ในอากาศในสิ่งแวดล้อมสรรค์สร้าง ผลการศึกษาพบว่าคนเป็นแหล่งกำเนิดหนึ่งของจุลินทรีย์ในสิ่งแวดล้อม เช่น คนเป็นแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียในอากาศ ทั้งนี้เพราะคนมีเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดในระบบทางเดินหายใจ และน้ำลาย ซึ่งสามารถปล่อยเข้าสู่สภาพแวดล้อมในลักษณะของละอองลอยชีวภาพ โดยการ ไอ จาม พูด คุย ได้ โดยคนสามารถก่อให้เกิดแบคทีเรียประมาณ 3.7×10^7 bacterial genome copies per person-hour และพบว่าอัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำทำให้อากาศภายในห้องไม่มีการถ่ายเท ทำให้เชื้อจุลชีพต่างๆ ที่อยู่ในอากาศจึงยังคงสะสมอยู่ภายในอาคารได้ และในส่วนของเชื้อราพบว่าส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากนอกอาคาร[32] 4. การศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของจุลินทรีย์ในอากาศของอาคารสาธารณะในประเทศเกาหลี โดยเป็นการสำรวจข้อมูลในโรงพยาบาล ศูนย์รับเลี้ยงเด็ก สถานสงเคราะห์คนชรา และศูนย์พักฟื้นสำหรับผู้ตั้งครรภ์ ผลการศึกษาพบว่าทุกอาคารสาธารณะมีจำนวนเชื้อรานอกอาคารมากกว่าภายในอาคารทั้งหมด[60]

ตารางที่ 6 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

หัวข้อ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
จุลินทรีย์ในอากาศ (ต่อ)	5. การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของเวลาเยี่ยมไข้ต่อจำนวนเชื้อราในอากาศของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยในประเทศอิหร่าน ที่พบว่าทั้งก่อนและหลังเวลาเยี่ยมไข้จำนวนเชื้อราบริเวณพื้นที่ทั่วไปภายในโรงพยาบาล และหออภิบาลผู้ป่วยหนักอายุรกรรมของแผนกผู้ป่วยใน มีค่าอัตราส่วนของเชื้อรานอกอาคารมากกว่าภายในอาคาร[61] 6. การศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของละอองลอยชีวภาพและฝุ่นละอองตามระดับความสูงและผลต่อแกนกลั่นตัวของเมฆ โดยทำการศึกษาในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์ในอากาศขนาด 2.1-3.3 ไมโครเมตร มีจำนวนมากที่สุด[62] 7. การศึกษาเกี่ยวกับการใช้ข้อมูลละอองลอยชีวภาพที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ/ฤดูกาล เพื่อหาลักษณะร่วมของเชื้อรานอกอาคารที่มีผลต่อความเสี่ยงต่อการได้รับในที่อยู่อาศัย โดยทำการศึกษาในประเทศไต้หวันและมีการเก็บข้อมูลเชื้อราทั้งในอาคารและนอกอาคาร ผลการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์ในอากาศขนาด 0.7-2.5 ไมโครเมตร มีจำนวนมากที่สุด และพบว่าจำนวนเชื้อราในอาคารในช่วงเช้าและบ่ายมีค่ามัธยฐานเท่ากับ 699.3 และ 626.2 cfu/m^3[7] 8. การศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มอาคารป่วยเหตุอาคารของผู้ปฏิบัติงานพยาบาลในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียในฤดูร้อนและฤดูฝนเท่ากับ 1,073.3$\pm$391.56และ 894.9$\pm$513.28 cfu/m^3 ตามลำดับ ส่วนเชื้อราในฤดูร้อนและฤดูฝนเท่ากับ 1,216.4$\pm$543.60 และ 566.3$\pm$125.90 cfu/m^3 ตามลำดับ[4] 9. การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของจุลินทรีย์ในอากาศในห้องผ่าตัดและแผนกเฉินของโรงพยาบาลฝึกหัดแพทย์ในประเทศอิหร่านและเก็บข้อมูลจุลินทรีย์ในอากาศที่ห้องผ่าตัดและแผนกฉุกเฉิน ผลการศึกษาพบว่าแบคทีเรียในห้องฉุกเฉินมากที่สุด[63]

ตารางที่ 6 (ต่อ) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ

หัวข้อ	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
จุลินทรีย์ในอากาศ (ต่อ)	10. การศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดจุลินทรีย์ในอากาศที่บริเวณต่างๆ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการ แผนกฉุกเฉิน และแผนกศัลยกรรม ของโรงพยาบาลในประเทศโปรตุเกส ผลการศึกษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราที่แผนกฉุกเฉินมีมากที่สุด โดยจำนวนแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 240-736 cfu/m^3 ส่วนเชื้อราอยู่ระหว่าง 27-933 cfu/m^3[64] 11. การศึกษาเกี่ยวกับปริมาณแบคทีเรียในอากาศในสิ่งแวดล้อมของโรงพยาบาลในประเทศสิงคโปร์ โดยเก็บตัวอย่างที่ห้องโถงหลัก ห้องจ่ายยา และห้องผู้ป่วย ผลการศึกษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียสูงสุดที่ห้องโถงหลักในโรงพยาบาล (แบคทีเรีย 455-899 cfu/m^3) และพบว่าจำนวนคนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณแบคทีเรียในอากาศในแผนกผู้ป่วยใน (R^2 = 0.714) และห้องจ่ายยา (R^2 = 0.867) ส่วนความชื้นสัมพัทมีความสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนแบคทีเรียที่ห้องโถงหลัก (R^2=0.890) และแผนกผู้ป่วยใน (R^2= 0.964) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับจำนวนแบคทีเรียในอากาศที่ห้องจ่ายยา[6] 12. การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินระบบการปรับอากาศและระบายอากาสในห้องแยกของโรงพยาบาลชุมชนในเขตภาคกลางของประเทศไทย โดยศึกษาในโรงพยาบาลชุมชนจำนวน 10 แห่งใน 7 จังหวัดภาคกลาง ผลการศึกษาพบว่าห้องแยกโรคมีการไหลเวียนอากาศไม่เป็นไปตามมาตรฐานร้อยละ 60 ของกลุ่มตัวอย่าง และเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพลดลงสามารถดึงความร้อนออกได้เฉลี่ยร้อยละ 50 ของประสิทธิภาพสูงสุด[65] 13. การศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวัดระดับจำนวนแบคทีเรีย แบคทีเรียแกรมลบ และเชื้อราในอากาศของห้องโถงโรงพยาบาล 6 แห่ง ในประเทศเกาหลี ผลการศึกษาพบว่าอุณหภูมิไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ แต่จำนวนคนที่ใช้พื้นที่ในบริเวณนั้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ ส่วนปริมาณความชื้นสัมพัทธ์พบว่ามีความสัมพันธ์กับเชื้อราในอากาศ[66]

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจภาคตัดขวาง (cross-sectional survey) ณ จุดใดจุดหนึ่ง

3.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรเป้าหมาย คือ บริเวณในแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของสถานพยาบาล โดยการวิจัยครั้งนี้เลือกเฉพาะสถานพยาบาลขนาดใหญ่ซึ่งมีผู้ป่วยวัณโรคเข้ารับการรักษาเป็นประจำ ในเขตภาคกลางของประเทศไทย

ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา (Sample size) คำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้[67]

$$n = PQZ^2/d^2$$

เมื่อ n = จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

P = อัตราการเกิดเหตุการณ์ = 0.44 (ในที่นี้ P ได้มาจากผลการศึกษาในประเทศสโลวีเนียที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศของโรงพยาบาลโรคปอด เท่ากับ 44.4%[21]

Z = ระดับความมั่นใจที่กำหนด (กำหนดที่ 90% Confidence Interval, Z = 2.58 (Two-taile)

Q = อัตราการไม่เกิดเหตุการณ์ (Q = 1-P = 0.56)

d = สัดส่วนของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ 10% (0.01)

คำนวณได้จำนวนตัวอย่างเป็น 63.69 บริเวณ

คาดว่าเกิดความคลาดเคลื่อนประมาณ 20%

ดังนั้น ขนาดตัวอย่างที่ใช้จึงเท่ากับ 76.4 บริเวณ

เกณฑ์คัดเข้า

บริเวณนั้นต้องอยู่ในแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ที่ให้บริการทางด้านการแพทย์ในช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลวิจัย (ระหว่างเดือนมกราคม ถึง ธันวาคม 2558) ของสถานพยาบาล ในเขตภาคกลางของประเทศไทยที่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัย

การคำนวณขนาดตัวอย่างดังกล่าวข้างต้นสามารถคัดเลือกสถานพยาบาลสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้จำนวน 7 แห่ง ประกอบด้วย โรงพยาบาลระดับตติยภูมิขั้นสูง (super tertiary care) 3 แห่ง โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ (tertiary care) 3 แห่ง และสถาบันโรคติดเชื้อแห่งชาติ (National Infections Disease Institute) 1 แห่ง สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างบริเวณละ1 ตัวอย่าง ทุกบริเวณที่ผ่านตามเกณฑ์คัดเข้าซึ่งมีทั้งหมด 99 บริเวณ ดังนั้นจึงมีจำนวนตัวอย่างรายละเอียดดังนี้

1. การสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศ

	จำนวนในอาคาร	จำนวนนอกอาคาร	จำนวนรวม
1.1 สำหรับตรวจหาเชื้อวัณโรค	99 ตัวอย่าง	28 ตัวอย่าง	127 ตัวอย่าง
1.2 สำหรับตรวจหาจุลินทรีย์	1,188 ตัวอย่าง	336 ตัวอย่าง	1,524 ตัวอย่าง
- แบคทีเรีย	594 ตัวอย่าง	168 ตัวอย่าง	762 ตัวอย่าง
- เชื้อรา	594 ตัวอย่าง	168 ตัวอย่าง	762 ตัวอย่าง
1.3 สุ่มเก็บตัวอย่างอากาศซ้ำเพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบสำหรับตรวจหาจุลินทรีย์	1,188 ตัวอย่าง	336 ตัวอย่าง	1,524 ตัวอย่าง
- แบคทีเรีย	594 ตัวอย่าง	168 ตัวอย่าง	762 ตัวอย่าง
- เชื้อรา	594 ตัวอย่าง	168 ตัวอย่าง	762 ตัวอย่าง

2. การเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามตามแบบประเมินสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน เนื่องจากบริเวณที่เก็บข้อมูลตัวอย่างอากาศมี 99 บริเวณ ดังนั้นตัวอย่างจึงเป็นเจ้าหน้าที่ผู้ที่ปฏิบัติงานในบริเวณที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศ จำนวน 99 คน เพื่อเป็นตัวแทนการให้ข้อมูลในบริเวณดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 ตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรตาม คือ เชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศของหน่วยงาน และสัดส่วนของจุลินทรีย์ภายในอาคารและนอกอาคาร

ตัวแปรอิสระ คือ (ก) อัตราการหมุนเวียนอากาศ และ(ข) สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน

ตัวแปรร่วม คือ ลักษณะทั่วไปของหน่วยงาน ได้แก่ แผนก ระบบอากาศ อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ ในวันที่สุ่มเก็บตัวอย่างอากาศ

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล (แบบสอบถาม และแบบบันทึกสำหรับผู้วิจัย) แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. แบบสอบถาม เพื่อประเมินสภาพการดำเนินการตามควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำนวน 34 ข้อ ดังนี้

1.1 ข้อคำถามเพื่อใช้ประเมินสภาพการดำเนินการตามควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำนวน 30 ข้อ

การแปลผลแบบประเมินในส่วนนี้ได้แปลผลออกมาเป็นคะแนน โดยถ้าข้อใดตอบใช่เท่ากับ 1 คะแนน ข้อใดตอบไม่ใช่เท่ากับ 0 คะแนน หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้แบ่งเป็นระดับสภาพการดำเนินการตามควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน 3 ระดับ คือ ระดับไม่ดี ระดับปานกลาง และระดับดี ซึ่งคำนวณด้วยคะแนนเฉลี่ยจากข้อมูลของหน่วยงานเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยสามารถหาความกว้างของอันตรภาคชั้นได้ดังนี้

ความกว้างของอันตรภาคชั้น

$$= \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนระดับชั้นที่แบ่ง}}$$

$$= \frac{30 - 0}{3} = 10$$

เกณฑ์ดังกล่าวสามารถแบ่งระดับสภาพการดำเนินการตามควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงานได้ดังนี้

ช่วงคะแนน 0.0-10.0 หมายถึง ระดับไม่ดี

ช่วงคะแนน 11.0-20.0 หมายถึง ระดับปานกลาง

ช่วงคะแนน 21.0-30.0 หมายถึง ระดับดี

1.2 ข้อคำถามเกี่ยวกับระบบระบายอากาศ จำนวน 1 ข้อ

1.3 ข้อคำถามเกี่ยวกับจำนวนผู้ให้บริการและผู้มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของหน่วยงาน ในวันที่ดำเนินการเก็บข้อมูล จำนวน 3 ข้อ

2. แบบบันทึกสำหรับผู้วิจัย มี 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แผนผังสำรวจลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมของหน่วยงาน และจุดเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ในแต่ละแผนกของสถานพยาบาล

ส่วนที่ 2 แบบบันทึกผลข้อมูล อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ ในแต่ละแผนกของสถานพยาบาล

3.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดทางด้านสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดดังนี้

1. เครื่อง Kimo AQ 200 Indoor Air Quality Meter (Kimo® Instruments, France) สำหรับตรวจวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อุณหภูมิ และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (ภาพที่ 4)

ภาพที่ 4 เครื่อง Kimo AQ 200 Indoor Air Quality Meter

2. เครื่องเก็บเชื้อจุลชีพแบบดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (Impigement) สำหรับตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศประกอบด้วย Duran®Gas washing bottle (Duran group, Germany) ขนาด 500 มิลลิลิตร และ vacuum air pump model: IM115D (IM-TECH, China) อัตราการดูดอากาศ 72 ลิตร/นาที (ภาพที่ 5)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 5 เครื่องเก็บเชื้อจุลชีพแบบดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (Impigement) ประกอบด้วย Duran®Gas washing bottle และ vacuum air pump model: IM115D

3. เครื่อง the six-stage viable Andersen cascade impactor (Thermo Scientific®, USA) สำหรับตรวจหาแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (ภาพที่ 6)

ภาพที่ 6 เครื่อง The six-stage viable Andersen cascade impactor

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 การรวบรวมข้อมูล

3.5.1 ขั้นตอนการเตรียมการ มีรายละเอียดดังนี้

1. ขอหนังสือจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำการศึกษานำร่อง (pilot study) เกี่ยวกับการตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ

2. ดำเนินการศึกษานำร่อง (pilot study) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บเชื้อจุลชีพแบบดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (impigement) เพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ ในแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคในโรงพยาบาลแห่งหนึ่ง ในเขตภาคกลางของปรเทศไทย จำนวน 8 ชั่วโมงการทำงาน (รวมทุกแผนก) ผลการศึกษานำร่อง (Pilot study) พบเชื้อวัณโรคในอากาศ

3. ดำเนินการศึกษานำร่อง (pilot study) ในโรงพยาบาลดังกล่าวข้างต้นเพื่อหาปริมาตรของเหลว (deionized distilled water) ที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศให้มีความเหมาะสมกับระยะเวลาสำหรับเก็บตัวอย่างอากาศ (8 ชั่วโมง) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศจำนวน 8 ชั่วโมงการทำงาน (รวมทุกแผนกต่อครั้ง) ทั้งหมด 3 ครั้ง ผลการศึกษานำร่อง (pilot study) ได้ปริมาตรเท่ากับ 60 มิลลิลิตร

4. สร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน โดยดัดแปลงมากจากแบบสอบถามเกี่ยวกับการดำเนินการตามมาตรการลดความเสี่ยงต่อการแพรกระจายและติดเชื้อวัณโรคตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) 3 ด้าน ได้แก่ การบริหารจัดการ การควบคุมสภาพแวดล้อม และการควบคุมป้องกันระดับบุคคล[68] และผ่านการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ หลังจากนั้นนำไปทดสอบกับเจ้าหน้าที่จำนวน 30 คน ในแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ของโรงพยาบาลในเขตภาคกลางของประเทศไทย (จำนวน 6 แห่ง) ที่ไม่ได้เป็นสถานพยาบาลที่เป็นประชากรเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้เพื่อปรับข้อความให้เหมาะสม ทั้งนี้ไม่ได้ทำการวัดความเที่ยง (reliability) ของแบบสอบถาม เนื่องจากข้อคำถามทั้งหมดเป็นข้อเท็จจริงโดยเป็นแบบสอบถามที่ใช้สำหรับถามเกี่ยวกับการดำเนินงานของหน่วยงาน

5. ขอความยินยอมจากสถานพยาบาลที่เป็นประชากรเป้าหมาย โดยขั้นตอนแรกผู้วิจัยได้นำเสนอผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมจริยธรรมการวิจัยในคน (Institutional Review Board: IRB) คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย หลังจากนั้นได้นำเสนอผ่านความเห็นชอบดังกล่าวจากสถานพยาบาลที่เป็นประชากรเป้าหมายทั้ง 7 แห่ง ประกอบด้วยโรงพยาบาลระดับตติยภูมิขั้นสูง (super tertiary care) 3 แห่ง โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ (tertiary care) 3 แห่ง และสถาบันโรคติดเชื้อแห่งชาติ (National Infections Disease) 1 แห่ง โดยมีรหัส IRB ดังนี้ 484/2557 251/2558 001/2558 035/2559 046/2558 003/2558 และ RO18b/2558 ตามลำดับ

ผู้วิจัยได้ขอความยินยอมจากผู้เข้าร่วมการวิจัย ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ผู้ที่ปฏิบัติงานในบริเวณที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศในแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค โดยผู้วิจัยได้ให้ข้อมูลคำอธิบาย วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการที่จะปฏิบัติต่อผู้เข้าร่วมการวิจัย ความเสี่ยงและประโยชน์และที่อาจได้รับ ข้อปฏิบัติของผู้เข้าร่วมการวิจัย การเข้าร่วมและการสิ้นสุดการเข้าร่วมการวิจัย การปกป้องรักษา

ข้อมูลความลับของผู้เข้าร่วมการวิจัย และสิทธิ์ของผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยผู้วิจัยได้ตอบข้อสงสัยจนผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้าใจ และให้เวลาตัดสินใจโดยอิสระก่อนลงนามให้ความยินยอมเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้

3.5.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

3.5.2.1 ดำเนินการเก็บข้อมูล และบันทึกผล โดยใช้เครื่องมือที่สำหรับการรวบรวมข้อมูล (แบบสอบถาม และแบบบันทึกสำหรับผู้วิจัย)

3.5.2.2 ดำเนินการตรวจวัดด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ อัตราการการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ การตรวจหาเชื้อวัณโรค แบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ โดยวิธีการดำเนินการตรวจวัดดังกล่าวข้างต้น มีรายละเอียดดังนี้

1. วัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยใช้เทคนิค tracer gas และวัดระดับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ด้วยเครื่อง Kimo AQ 200 Indoor Air Quality Meter ที่ได้ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration) แล้ว ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

1.1 วัดปริมาณ CO_2 ด้วยเครื่องมือข้างต้น เพื่อหาปริมาณ CO_2 เบื้องต้นที่มีอยู่ในบริเวณนั้น

1.2 ปล่อย CO_2 โดยผู้วิจัยใช้น้ำแข็งแห้งกระจายรอบบริเวณที่ตรวจวัด รอจน CO_2 กระจายตัวทั่วถึง จึงเก็บน้ำแข็งแห้งลงในภาชนะปิด

1.3 วัดปริมาณความเข้มข้นของ CO_2 ทุกนาทีจนกว่าปริมาณ CO_2 จะลดลงจนเท่ากับปริมาณ CO_2 เบื้องต้นที่มีอยู่ภายในบริเวณนั้น เพื่อหาอัตราการสลายตัวของ CO_2 เทียบกับเวลา และบันทึกผลการตรวจวัด

1.4 คำนวณอัตราการหมุนเวียนอากาศ (รายละเอียดวิธีการคำนวณ หน้า 26) และบันทึกผล

1.5 นำค่าอัตราการหมุนเวียนอากาศที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] หากมาตรฐานดังกล่าวไม่ได้ระบุรายละเอียดเฉพาะไว้ให้เทียบกับค่ามาตรฐานของ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008[25]

2. วัดอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ โดยดำเนินการวัดพร้อมกับการตรวจวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศด้วยเครื่องมือชนิดเดียวกัน คือ Kimo AQ 200 Indoor Air Quality Meter และบันทึกผลการตรวจวัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ โดยใช้เครื่องเก็บเชื้อจุลชีพแบบดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (Impinger) ดังภาพที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศและวิธีวิเคราะห์เพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ ดังนี้

3.1 เตรียมเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศดังกล่าว ซึ่งประกอบด้วย Duran®Gas washing bottle และสายยาง โดยการฆ่าเชื้อด้วยการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นเวลา 15 นาที

3.2 เติม deionized distilled water 60 มิลลิลิตร ลงใน Duran®Gas washing bottle ที่ผ่านการอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำตามข้อ 3.1 และนำไปอบฆ่าเชื้อซ้ำด้วยการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นเวลา 15 นาที อีกครั้ง

3.3 นำอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3.2 ต่อกับเครื่อง vacuum air pump model: IM115D ซึ่งมีอัตราการดูดอากาศ 72 ลิตร/นาที

3.4 นำเครื่องมือที่เตรียมไว้ในข้อ 3.3 ไปสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศ โดยวางเครื่องมือห่างจากบริเวณที่มีผู้ป่วยประมาณ 1.0 เมตร สูงจากระดับพื้น 1.5 เมตร และใช้เครื่องมือดังกล่าวข้างต้นจำนวน 2 เครื่องต่อ 1 บริเวณ ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณที่เป็นกลุ่มเป้าหมายเป็นเวลา 8 ชั่วโมงการทำงาน ดังนั้นปริมาตรอากาศทั้งหมดที่สุ่มเก็บจึงเท่ากับ 69.2 ลูกบาศก์เมตร

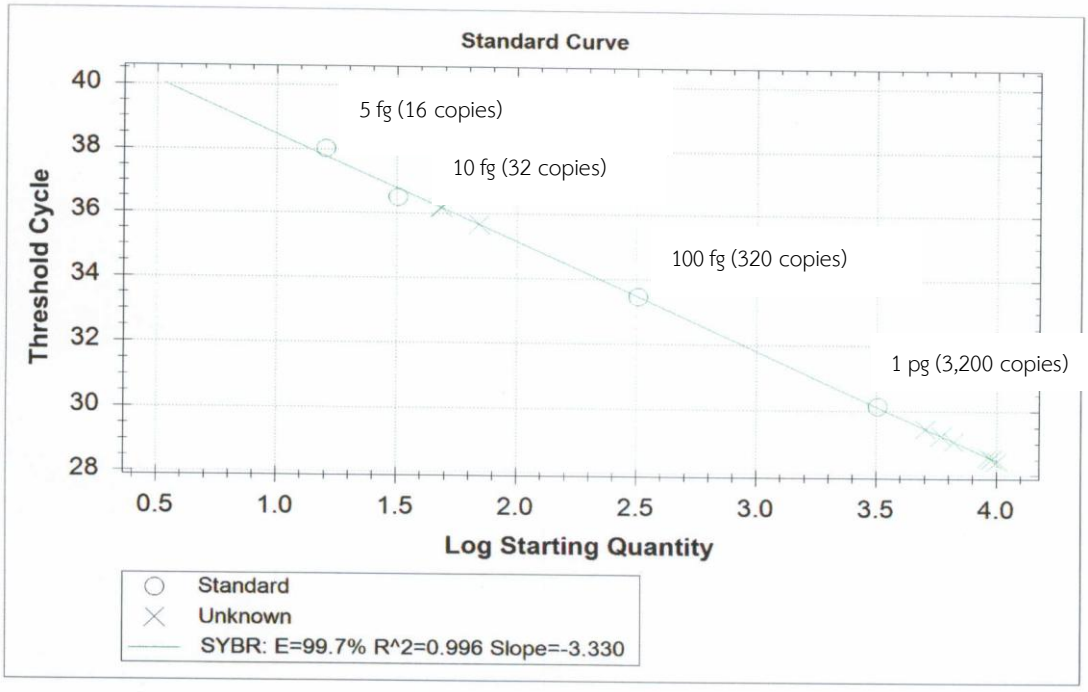
3.5 นำตัวอย่างที่ได้จากข้อที่ 3.4 ซึ่งเป็น deionized distilled water ที่เหลือประมาณ 40 มิลลิลิตร ไปตรวจหาเชื้อวัณโรค ด้วยวิธี real-time qPCR โดยเริ่มต้นจากนำตัวอย่างที่ได้เทลงในหลอด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร (Corning, USA) และนำไปปั่นที่ 10,000xg เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเก็บส่วนที่เป็นตะกอนไว้และละลายตะกอนด้วย lysozyme ปริมาตร 200 ไมโครลิตร (20 mg/ml) นำไปสกัด DNA ตามขั้นตอนของชุดน้ำยา Magnesia Genomic DNA Bacterial Kit (Istanbul, Turkey) ได้ DNA 60 ไมโครลิตร นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ด้วยวิธี PCR

ทำการวิเคราะห์หาเชื้อวัณโรคด้วยวิธี Real-Time PCR โดยใช้ primers (forward: 5′-GAACCGTGAGGGCATCGAGG-3; reverse: 5′-GCGTAGGCGTCGGTGACAAA-3′) เพื่อเพิ่มปริมาณ IS*6110* ได้ product ขนาด 249-bp[(69)] ด้วยชุดน้ำยา Quanti Nova™ SYBR® Green PCR Kit (Qiagen, Germany) ในเครื่อง CFX96 ™ Real-Time PCR system (Bio-Rad Laboratories, Inc., U.S.A.) โดยมีสภาวะการทำ PCR ตามอุณหภูมิและเวลาดังนี้ เริ่มต้นที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2

นาที ต่อมา 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วินาที และ 64.8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วินาที ทำซ้ำ 45 รอบ และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม CFX ManaerTM IVD Software

สร้าง qPCR standard curve โดยใช้ DNA ของ *M. tuberculosis* สายพันธุ์ H37Rv ซึ่งมี chromosomal DNA หนักประมาณ 5 fg และมียีน IS*6100* จำนวน 16 copies ในหนึ่งเซลล์[69] นำ DNA มาทำการเจือจางให้มีปริมาณ 1 pg 100 10 และ 5 fg นำตัวอย่างมาเพิ่มปริมาณและสร้าง standard curve ดังภาพที่ 7 โดยเปลี่ยนปริมาณ DNA เป็น IS*6110* copy number พบว่าปริมาณน้อยที่สุด (detection limit) ของการทดสอบ คือ DNA 5 fg ซึ่งเทียบเท่ากับเชื้อวัณโรค 1 เซลล์ หรือ IS*6110* จำนวน 16 copies

นำตัวอย่างที่จะทดสอบปริมาตร 5 ไมโครลิตร มาทำ PCR และหาจำนวน copy number ของ IS*6110* ในตัวอย่าง ด้วยโปรแกรม CFX ManaerTM IVD Software



ภาพที่ 7 กราฟแสดง qPCR standard curve โดยใช้ DNA ของ *M. tuberculosis* สายพันธุ์ H37Rv

เมื่อได้จำนวน copy number ของ IS*6110* ในตัวอย่าง 5 ไมโครลิตร แล้ว หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาจำนวน copy number ต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร โดยมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

จำนวน copy number ของ IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (IS*6110* copy number per m^3 of air)

$$= \frac{\text{IS}6110\text{ copy number X ปริมาตร DNA ที่สกัดไว้}}{\text{ปริมาตรอากาศทั้งหมด X ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ real-time qPCR}}$$

เมื่อ

IS*6110* copy number คือ จำนวน copy number ของ IS*6110* ที่หาได้ในแต่ละตัวอย่างอากาศ

ปริมาตร DNA ที่สกัดไว้ คือ 60 ไมโครลิตร

ปริมาตรอากาศทั้งหมด คือ 69.2 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ real-time qPCR คือ 5 ไมโครลิตร

เมื่อได้จำนวน copy number ของ IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศแล้ว หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาจำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (the number of *M. tuberculosis* cell equivalents per m^3 of air) โดยมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (The number of *M. tuberculosis* cell equivalents per m^3 of air)

$$= \frac{\text{IS}6110\text{ copy number per } m^3 \text{ of air}}{\text{ค่าเฉลี่ย copy number ของ IS}6110\text{ ในประเทศไทย}}$$

เมื่อ

ค่าเฉลี่ย copy number ของ IS*6110* ของเชื้อวัณโรคในประเทศไทย คือ 7.4[70]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อได้จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศแล้ว นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อวัณโรคในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) โดยมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

ค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อวัณโรคในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (Estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose)

$$= \left[\frac{\text{ปริมาณเชื้อวัณโรคที่สามารถก่อโรคได้ (Infective dose)}}{\text{จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศXอัตราการหายใจของมนุษย์}} \right] \text{X1,000}$$

เมื่อ

ปริมาณเชื้อวัณโรคที่สามารถก่อโรคได้ (Infective dose) คือ 10 เซลล์[71]

อัตราการหายใจของมนุษย์ คือ 6 ลิตร/นาที[72, 73]

สำหรับตัวอย่างอากาศที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค นำไปวิเคราะห์ด้วย Anyplex™II TB/MDR/XDR Detection Assay (Seegene, South Korea) เพื่อตรวจว่าเป็นวัณโรคดื้อยาหรือไม่ โดยตรวจ rifampicin-resistance ที่ตำแหน่งกลายพันธุ์ 18 ตำแหน่ง ในยีน *ropB* และ isoniazid-resistance ที่ตำแหน่งกลายพันธุ์ 4 ตำแหน่ง ในยีน *katG* และ 3 ตำแหน่งของยีน *inhA* promoter[74]

3.6 นำ Duran®Gas washing bottle และสายยางที่ใช้สำหรับเก็บตัวอย่างแล้ว ไปอบฆ่าเชื้อด้วยการอบไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นเวลา 15 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น หลังจากนั้นนำไปล้างทำความสะอาดและผึ่งให้แห้ง หากต้องการนำไปใช้งานอีกครั้งให้ปฏิบัติตามตั้งแต่ข้อ 3.1 ต่อไป

การวิจัยในครั้งนี้ ทำการตรวจสอบความปราศจากเชื้อของอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างอากาศหลังจากล้างทำความสะอาดแล้วร้อยละ 10 ของการเก็บตัวอย่างทั้งหมด และสำหรับ Duran®Gas washing bottle ที่บรรจุตัวอย่างอากาศที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค หลังจากล้างทำความสะอาดแล้วจะตรวจสอบการปราศจากเชื้อทุกครั้งก่อนนำไปเก็บครั้งต่อไป

4. ตรวจหาจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ โดยใช้เครื่อง the six-stage viable Andersen cascade impactor ซึ่งได้ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด (calibration) แล้ว เครื่องมือดังกล่าวสามารถแยกขนาดของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศที่พบได้ 6 ขนาด คือ ชั้นที่ 1 (>7.0 ไมโครเมตร) ชั้นที่ 2 (4.7-7.0 ไมโครเมตร) ชั้นที่ 3 (3.3-4.7 ไมโครเมตร) ชั้นที่ 4 (2.1-3.3 ไมโครเมตร) ชั้นที่ 5 (1.1-2.1 ไมโครเมตร) และชั้นที่ 6 (0.65-1.1 ไมโครเมตร) วิธีการมีรายละเอียดดังนี้

4.1 เก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่อง the six-stage viable Andersen cascade impactor โดยใช้อาหารเลี้ยงแบคทีเรียชนิด TSA และอาหารเลี้ยงเชื้อราชนิด SDA อัตราการดูดอากาศ 28.3 ลิตร/นาที เป็นเวลา 10 นาที และตั้งสูงจากระดับพื้น 1.5 เมตร

4.2 นำจานเพาะเชื้อออกจากเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศดังกล่าวข้างต้น ปิดฝา แล้วเก็บไว้ในถุงพลาสติก แยกตามบริเวณที่สุ่มเก็บตัวอย่างอากาศ

4.3 ทำความสะอาด เครื่อง the six-stage viable Andersen cascade impactor ด้วยแอลกอฮอล์ 70% ก่อนเก็บตัวอย่างจุดต่อไป

4.4 นำตัวอย่างที่ได้จากอาหารเลี้ยงแบคทีเรียชนิด TSA มาบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน ส่วนตัวอย่างที่ได้จากอาหารเลี้ยงเชื้อราชนิด SDA นำมาบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน[75]

4.5 คำนวณจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศและบันทึกผล แปลงจำนวนโคโลนีที่นับได้ในเพลทให้อยู่ในหน่วยโคโลนีต่อปริมาตรอากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร (colony forming units per cubic meter: cfu/m^3)[76] ดังต่อไปนี้

จำนวนจุลินทรีย์ในอากาศ หน่วยโคโลนีต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (colony forming units per cubic meter: cfu/m^3)

$$= \frac{\text{จำนวนจุลินทรีย์ในอากาศรวมทุกชั้น} \times 10^3}{\text{ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง} \times \text{อัตราการดูดอากาศ}}$$

เมื่อ

จำนวนจุลินทรีย์ในอากาศรวมทุกชั้น คือ ผลรวมของจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศทุกชั้น (ชั้นที่ 1 ถึง 6)

ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง คือ 10 นาที

อัตราการดูดอากาศ คือ 28.3 ลิตร/นาที

4.6 เปรียบเทียบจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารและนอกอาคาร

การดำเนินการเก็บข้อมูลทั้งหมดในการวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการโดยผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยเท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างอากาศเพื่อตรวจหาเชื้อวัณโรค และการบ่มเพาะแบคทีเรียและเชื้อรา ดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อให้การเก็บข้อมูลของการวิจัยครั้งนี้มีความเที่ยง (reliability) ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยได้ปฏิบัติตามขั้นตอนและกระบวนการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทุกครั้งอย่างเคร่งครัด

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล และสถิติที่ใช้วิเคราะห์

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (SPSS version 22.0 for windows software (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) รายละเอียดดังต่อไปนี้

สถิติเชิงพรรณา สำหรับตัวแปรต่อเนื่อง (continuous variable) ได้แก่ จำนวนเชื้อวัณโรค แบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ นำเสนอด้วยค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: SD) ค่ามัธยฐาน (median) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (interquartile range: IQR) ค่าต่ำสุด (minimum: min) และค่าสูงสุด (maximum: max) ส่วนตัวแปรกลุ่ม (categorical variables) ได้แก่ ผลการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ แผนก และการระบายอากาศ นำเสนอด้วยการแจกแจงความถี่ (frequency) และร้อยละ (percent)

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ One-way ANOVA และสถิติในการเปรียบเทียบเชิงซ้อน Least-Significant Different: LSD ระหว่างการระบายอากาศกับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ และระหว่างแผนกกับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (p-value <0.05)

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ Mann-Whitney U test ระหว่างอัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$) กับแผนก โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% และระหว่างตัวแปรต่อเนื่อง (continuous variable) (อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ สภาพการ

ดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ และจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน) กับผลการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (p-value <0.05)

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ Fisher's exact test หากมีค่า expected value น้อยกว่า 5 เกิน 20% ของ cell ทั้งหมด ระหว่างแปรกลุ่ม (categorical variables) (แผนก และการระบายอากาศ) กับผลการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (p-value <0.05)

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับแบคทีเรียและเชื้อราแยกตามขนาดของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ และเนื่องจากจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกตามขนาดของเชื้อจุลินทรีย์มีการแจงแจงแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ spearman rank correlation โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (p-value <0.05)

วิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ pearson correlation ระหว่างตัวแปรต่อเนื่อง (continuous variable) (อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ และจำนวนคนที่มารับบริการให้บริการต่อวันของหน่วยงาน) กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (p-value <0.05)

วิเคราะห์ Bivariate analysis โดยใช้สถิติทดสอบ linear regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นครั้งละ 1 ตัวแปร กับตัวแปรตาม คือ จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศจะได้ค่า Unstandardized Coefficients: B โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (p-value <0.05)

วิเคราะห์ Multivariate analysis โดยใช้สถิติทดสอบ multiple linear regression เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น (เฉพาะตัวแปรที่มีค่า p-value $\leq$ 0.25)[77] ซึ่งศึกษาพร้อมกันหลายตัว

แปรที่มีผลต่อตัวแปรจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ โดยใช้ stepwise linear regression จะได้ค่า Unstandardized Coefficients: B โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% (p-value <0.05)

3.7 ข้อพิจารณาด้านจริยธรรม

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ ดังนั้นก่อนที่จะสามารถดำเนินการได้ต้องมีการนำเสนอผ่านความเห็นชอบจาก IRB คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และจากสถานพยาบาล ทุกแห่งที่เป็นประชากรเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้ โดยสามารถวิเคราะห์ปัญหาทางจริยธรรมที่เกี่ยวข้องตามหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ดังนี้

1. หลักการให้ความเคารพในบุคคล (Respect for Person) การเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ ข้อมูลชื่อสถานพยาบาลจะไม่ระบุในบทความตีพิมพ์ และเครื่องมือที่ใช้สำหรับการตรวจวัดด้านสิ่งแวดล้อมภายในสถานพยาบาลสำหรับการวิจัยครั้งมีความปลอดภัยสูง และไม่ก่อให้เกิดอันตรายหรือมลพิษทางสิ่งแวดล้อมทั้งต่อบุคคลและสิ่งแวดล้อมทั่วไป การวิเคราะห์ผลและรายงานผลการวิจัยจะนำเสนอในภาพรวมที่เป็นไปเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการเท่านั้นและจะไม่กระทบต่อสถานพยาบาลที่เข้าร่วมการวิจัยวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ให้อิสระแก่สถานพยาบาลที่เข้าร่วมการวิจัยในการตัดสินใจยินยอมเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้

2. หลักแห่งผลประโยชน์ (Beneficence) สถานพยาบาลที่เข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้จะได้รับประโยชน์โดยตรงจากข้อมูลที่ได้จากการเข้าร่วมในการวิจัย และผลการวิจัยจะก่อให้เกิดองค์ความรู้ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อส่วนรวมด้วย

3. หลักแห่งความยุติธรรม (Justice) สถานพยาบาลที่เป็นประชากรเป้าหมายจะมีโอกาสในการได้รับเลือกเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้เท่ากัน และไม่มีผลประโยชน์ขัดกันในการดำเนินงานวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาเรื่อง การตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงสูงของสถานพยาบาลในภาคกลางของประเทศไทย การนำเสนอผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

4.1 ข้อมูลทั่วไปของหน่วยงานที่ดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัย

4.2 ข้อมูลผลตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

4.3 ข้อมูลผลการวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

4.4 ข้อมูลสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงานในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

4.5 ข้อมูลตัวแปรร่วมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อวัณโรค แบคทีเรีย และเชื้อรา ในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเชื้อวัณโรค แบคทีเรีย และเชื้อราในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

4.1 ข้อมูลทั่วไปของหน่วยงานที่ดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัย

Chulalongkorn University

การศึกษาในครั้งนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ในสถานพยาบาลในเขตภาคกลางของประเทศไทย จำนวน 7 แห่ง ประกอบด้วย โรงพยาบาลระดับตติยภูมิขั้นสูง (super tertiary care) 3 แห่ง โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ (tertiary care) 3 แห่ง และสถาบันโรคติดเชื้อแห่งชาติ (National Infectious Disease Institute) 1 แห่ง รวมจำนวนทั้งหมด 99 บริเวณ แยกเป็นแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคมากที่สุดร้อยละ 47.5 (47/99 บริเวณ) รองลงมาแผนกฉุกเฉินร้อยละ 27.2 (27/99 บริเวณ) แผนกผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรคร้อยละ 18.2 (18/99 บริเวณ) และน้อยที่สุดห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจร้อยละ 7.1 (7/99 บริเวณ) (ตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 จำนวนร้อยละของบริเวณที่เก็บข้อมูล แยกตามประเภทสถานพยาบาล และจำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	ประเภทสถานพยาบาล							รวม	
	ระดับตติยภูมิขั้นสูง			ระดับตติยภูมิ			เฉพาะทาง		
	แห่งที่			แห่งที่					
	1	2	3	1	2	3			
	n (บริเวณ)			n (บริเวณ)			n (บริเวณ)	n (บริเวณ)	(%)
ฉุกเฉิน	4	3	4	4	3	4	5	27	(27.2)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	2	4	2	4	3	1	2	18	(18.2)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	1	2	1	1	0	0	2	7	(7.1)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	4	3	1	21	4	10	4	47	(47.5)
รวม	11	12	8	30	10	15	13	99	(100.0)

4.2 ข้อมูลผลตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

ผลการตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศของการวิจัยครั้งนี้ พบเชื้อวัณโรคในอากาศร้อยละ 3.0 (3/99 บริเวณ) โดยพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคร้อยละ 11.1 (2/18 บริเวณ) และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคร้อยละ 2.1 (1/47 บริเวณ) ตัวอย่างอากาศที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคได้นำไปวิเคราะห์ว่าเป็นวัณโรคดื้อยาหรือไม่ด้วยวิธี Anyplex^{TM}II MTB/MDR/XDR Detection Assay (Seegene, South Korea) เพื่อตรวจวิเคราะห์เชื้อวัณโรคดื้อยา rifampicin-resistance และ isoniazid-resistance ผลการวิเคราะห์ไม่พบว่าเป็นเชื้อวัณโรคดื้อยา และสำหรับบริเวณนอกอาคารเพื่อสำหรับเป็นข้อมูลเปรียบเทียบ 28 บริเวณ (พื้นที่ซึ่งไม่ได้เป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค) ผลการวิจัยครั้งนี้ไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศในบริเวณดังกล่าวทั้งหมด ส่วนการตรวจหาแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศพบแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศทุกแผนก (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 8 จำนวนบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค แบคทีเรีย และเชื้อรา ในอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	n	เชื้อวัณโรค		แบคทีเรีย		เชื้อรา	
	รวม	n	(%)	n	(%)	n	(%)
ฉุกเฉิน	27	0	(0.0)	27	(100.0)	27	(100.0)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	2	(11.1)	18	(100.0)	18	(100.0)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	0	(0.0)	7	(100.0)	7	(100.0)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	1	(2.1)	47	(100.0)	47	(100.0)
รวม	99	3	(3.0)	99	(100.0)	99	(100.0)

ผลการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศเมื่อแบ่งตามระบบระบายอากาศ พบว่าระบบระบายอากาศที่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ คือ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยพบเชื้อวัณโรคในอากาศร้อยละ 4.3 (2/47 บริเวณ) และ 3.0 (1/33 บริเวณ) ตามลำดับ และเมื่อจำแนกตามแผนกพบว่าการระบายอากาศแบบธรรมชาติพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่แผนกผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรคร้อยละ 12.5 (1/8 บริเวณ) และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคร้อยละ 2.7 (1/37 บริเวณ) ส่วนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่แผนกผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรคร้อยละ 33.3 (1/3 บริเวณ) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 จำนวนการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	ระบบระบายอากาศ (n=99)								
	ระบบระบายอากาศแบบธรรมชาติ			ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์			ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน		
	n	พบเชื้อวัณโรค		n	พบเชื้อวัณโรค		n	พบเชื้อวัณโรค	
	รวม	n	(%)	รวม	n	(%)	รวม	n	(%)
ฉุกเฉิน	2	0	(0.0)	12	0	(0.0)	13	0	(0.0)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	8	1	(12.5)	7	0	(0.0)	3	1	(33.3)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0		N/A	0		N/A	7	0	(0.0)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	37	1	(2.7)	0		N/A	10	0	(0.0)
รวม	47	2	(4.3)	19	0	(0.0)	33	1	(3.0)

Not available (N/A) หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

ผลการวิจัยครั้งนี้ มีรายละเอียดเกี่ยวกับบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ จำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (IS*6110* copy number per m^3 of air) จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (the number of *M. tuberculosis* cell equivalents per m^3 of air) และค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อวัณโรคในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) ดังนี้

บริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่บริเวณห้องเก็บเสมหะห้องที่ 1 และ 2 ของสถานพยาบาล A และ B ส่วนแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่ห้องผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคของสถานพยาบาล A

จำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (IS*6110* copy number per m^3 of air) ของบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าอยู่ระหว่าง 9.6 ± 2.12 ถึง $1.7\pm0.08\times10^3$ copy number ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ

จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (The number of *M. tuberculosis* cell equivalents per m^3 of air) ของบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าอยู่ระหว่าง 1.3 ± 0.29 ถึง 224.9 ± 10.37 เซลล์ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ

ค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อวัณโรคในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (Estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) ของบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าอยู่ะหว่าง 7.4 ± 0.34 ถึง $1,325.6\pm259.20$ นาที

เมื่อเปรียบเทียบเฉพาะบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคบริเวณห้องเก็บเสมหะทั้งสองห้องมีจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศมากกว่าแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคบริเวณห้องผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค (ตารางที่ 10)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 จำนวนบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค จำนวน IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ และค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	**จำนวนบริเวณที่พบเชื้อวัณโรค (n=3)**	**จำนวน IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (IS*6110* copy number per m^3 of air) [Mean(SD)]**	**จำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (cell equivalents per m^3 of air [Mean(SD)]**	**ค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (นาที) (Estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) [Mean(SD)]**
ฉุกเฉิน	0		N/A	
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	2			
ห้องเก็บเสมหะห้องที่ 1 (สถานพยาบาล A)	1	1.0 ($0.14x10^3$)	137.0 (18.36)	12.3 (1.68)
ห้องเก็บเสมหะห้องที่ 2 (สถานพยาบาล B)	1	1.7 ($0.08x10^3$)	224.9 (10.37)	7.4 (0.34)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0		N/A	
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค				
ห้องผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค (สถานพยาบาล A)	1	9.6 (2.12)	1.3 (0.29)	1,325.6 (259.20)

Mean = ค่าเฉลี่ย Standard deviation; SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Not available (N/A) หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

แบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกเป็นแผนกที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ ในส่วนของบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยสูงกว่าแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค โดยมีจำนวนแบคทีเรียในอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 759.7 และ 736.7 cfu/m^3 ตามลำดับ ส่วนจำนวนเชื้อราในอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 653.7 และ 636.1 cfu/m^3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแผนกที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าแผนกฉุกเฉินมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 691.0 cfu/m^3 และ 618.4 cfu/m^3 ตามลำดับ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 528.9 cfu/m^3 และ 460.6 cfu/m^3 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยระหว่างแผนกที่ตรวจพบกับไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าแผนกที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยสูงกว่าแผนกที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรค (ตารางที่ 11)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 11 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกตามแผนกที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรค จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (n=99)							
	แผนกที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค				แผนกที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรค			
	n	*Mean*	(SD)	(Min - Max)	n	*Mean*	(SD)	(Min - Max)
				แบคทีเรีย (cfu/m^3)				
ฉุกเฉิน	0	*N/A*			27	*691.0*	(79.61)	(503.5 - 812.7)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	2	*736.7*	(74.49)	(731.4 - 742.0)	16	*613.5*	(125.67)	(360.4 - 812.7)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0	*N/A*			7	*567.9*	(208.54)	(371.0 - 830.4)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	1	*759.7*	-	(759.7)	46	*528.9*	(129.56)	(353.4 - 812.7)
รวม	3	*744.4*	(14.30)	(731.4 - 759.7)	96	*591.4*	(140.56)	(353.4 - 830.4)
				เชื้อรา (cfu/m^3)				
ฉุกเฉิน	0	*N/A*			27	*618.4*	(108.03)	(452.3 - 784.5)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	2	*636.1*	(99.9)	(565.4 - 706.7)	16	*527.7*	(130.29)	(332.2 - 736.7)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0	*N/A*			7	*478.1*	(178.00)	(319.8 - 773.9)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	1	*653.7*	-	(653.7)	46	*460.6*	(128.43)	(265.0 - 759.7)
รวม	3	*641.9*	(71.38)	(565.4 - 706.7)	96	*517.4*	(142.40)	(265.0 - 784.5)

Mean = ค่าเฉลี่ย Standard deviation: SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

Not available (N/A) หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

แบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกตามระบบระบายอากาศ พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีค่ามัธยฐานจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศสูงสุด ซึ่งแบคทีเรียเท่ากับ 730.2 cfu/m^3 และเชื้อราเท่ากับ 673.1 cfu/m^3 ส่วนการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่ามัธยฐานจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศใกล้เคียงกัน โดยค่ามัธยฐานจำนวนแบคทีเรียในอากาศของการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเท่ากับ 563.5 cfu/m^3 และ 565.2 cfu/m^3 ตามลำดับ ส่วนค่ามัธยฐานจำนวนเชื้อราในอากาศของการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนเท่ากับ 452.3 cfu/m^3 และ 496.5 cfu/m^3 ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ One-way ANOVA และสถิติในการเปรียบเทียบเชิงซ้อน Least-Significant Different: LSD ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับระบบระบายอากาศ พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศสูงกว่าการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 12)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 12 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราแยกตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	ระบบระบายอากาศ (n=99)											
	การระบายอากาศแบบธรรมชาติ				ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์				ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน			
	n	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	n	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	n	*Median*	(IQR)	(Min - Max)
						แบคทีเรีย (cfu/m^3)[a]						
ฉุกเฉิน	2	*568.6*	-	(503.5 - 633.7)	12	*768.6*	(128.8)	(636.0 - 812.7)	13	*650.2*	(95.4)	(590.1 - 742.0)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	8	*565.4*	(136.5)	(360.4 - 742.0)	7	*710.2*	(169.6)	(600.7 - 812.7)	3	*477.0*	-	(439.9 - 731.4)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0	*N/A*			0	*N/A*			7	*438.2*	(424.1)	(371.0 - 830.4)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	37	*530.0*	(151.9)	(364.0 - 812.7)	0	*N/A*			10	*394.0*	(141.4)	(353.4 - 689.0)
รวม	47	*563.5*	(153.7)	(360.4 - 812.7)	19	*730.2*	(136.6)	(600.7 - 812.7)[b]	33	*565.2*	(298.6)	(353.4 - 830.4)[c]
						เชื้อรา (cfu/m^3)[a]						
ฉุกเฉิน	2	*468.2*	-	(452.3 - 484.1)	12	*684.6*	(207.6)	(491.2 - 784.5)	13	*561.8*	(139.6)	(496.5 - 777.4)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	8	*478.8*	(108.6)	(360.4 - 706.7)	7	*673.1*	(199.6)	(514.1 - 736.7)	3	*349.8*	-	(332.2 - 565.4)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0	*N/A*			0	*N/A*			7	*413.4*	(282.7)	(319.8 - 773.9)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	37	*441.7*	(233.2)	(339.2 - 759.7)	0	*N/A*			10	*352.5*	(122.3)	(265.0 - 461.1)
รวม	47	*452.3*	(203.2)	(339.2 - 759.7)	19	*673.1*	(187.2)	(491.2 - 784.5)[b]	33	*496.5*	(243.8)	(265.0 - 777.4)[c]

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

Not available (N/A) หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

สถิติทดสอบ One-way ANOVA และสถิติในการเปรียบเทียบเชิงซ้อน Least-Significant Different: LSD

[b] หมายถึง จำนวนแบคทีเรียหรือเชื้อราในอากาศการทำงานมีความแตกต่างจากการระบายอากาศแบบธรรมชาติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

การเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับค่ามาตรฐานซึ่งเป็นค่าแนะนำจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารของ ACGIH (แบคทีเรียและเชื้อรา ≤500 cfu/m^3)[8] และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล ได้ผลการศึกษาดังนี้

จำนวนแบคทีเรียในอากาศเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานดังกล่าวข้างต้น พบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศผ่านตามค่ามาตรฐานร้อยละ 32.3 (32/99 บริเวณ) โดยแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคผ่านตามค่ามาตรฐานมากที่สุดร้อยละ 53.2 (25/47 บริเวณ) ส่วนแผนกฉุกเฉินไม่ผ่านตามค่ามาตรฐานทั้งหมด

จำนวนเชื้อราในอากาศเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานดังกล่าวข้างต้น พบว่ากลุ่มตัวอย่างผ่านตามค่ามาตรฐานร้อยละ 49.5 (49/99 บริเวณ) โดยแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคผ่านตามค่ามาตรฐานมากที่สุดร้อยละ 70.2 (33/47 บริเวณ) ส่วนแผนกฉุกเฉินผ่านตามค่ามาตรฐานน้อยที่สุดร้อยละ 18.5 (5/27 บริเวณ)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ One-way ANOVA และสถิติในการเปรียบเทียบเชิงซ้อน Least-Significant Different: LSD ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศแผนกฉุกเฉินสูงกว่าแผนกห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจและแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค และแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคสูงกว่าแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนจำนวนเชื้อราในอากาศพบว่าแผนกฉุกเฉินสูงกว่าทุกแผนก และแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคสูงกว่าแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	n	จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ			ผ่านมาตรฐาน[b]	
		Mean	(SD)	(Min - Max)	n	(%)
แบคทีเรีย (cfu/m^3)[a]						
ฉุกเฉิน	27	*691.0*	(79.61)	(503.5 - 812.7)	0	(0.00)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*627.2*	(124.60)	(360.4 - 812.7)	3	(16.7)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*567.9*	(208.55)	(371.0 - 830.4)[c]	4	(57.4)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*533.8*	(132.50)	(353.4 - 812.7)[c,d]	25	(53.2)
รวม	99	*596.1*	(140.90)	(353.4 - 830.4)	32	(32.3)
เชื้อรา (cfu/m^3)[a]						
ฉุกเฉิน	27	*618.4*	(108.03)	(452.3 - 784.5)	5	(18.5)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*539.7*	(129.59)	(332.2 - 784.5)[c]	7	(38.9)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*478.1*	(178.01)	(319.8 - 736.7)[c]	4	(57.1)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*464.7*	(130.11)	(265.0 - 773.9)[c,d]	33	(70.2)
รวม	99	*521.2*	(142.20)	(265.0 - 759.7)	49	(49.5)

Mean = ค่าเฉลี่ย Standard deviation: SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

[b] ผ่านมาตรฐาน หมายถึง ผ่านตามค่ามาตรฐานซึ่งเป็นค่าแนะนำจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารของ ACGIH (แบคทีเรียและเชื้อรา ≤500 cfu/m^3)[8]

สถิติทดสอบ One-way ANOVA และสถิติในการเปรียบเทียบเชิงซ้อน Least-Significant Different: LSD

[c] หมายถึง จำนวนแบคทีเรียหรือเชื้อราในอากาศมีความแตกต่างจากแผนกฉุกเฉิน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

[d] หมายถึง จำนวนแบคทีเรียหรือเชื้อราในอากาศมีความแตกต่างจากแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จำนวนจุลินทรีย์ในอากาศแยกขนาด คือ จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศที่แบ่งเป็น 3 ขนาด ดังนี้ ชั้นที่ 1-2 (4.7->7 µm) ชั้นที่ 3-4 (2.1-4.7 µm) และชั้นที่ 5-6 (0.65-2.1 µm) จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาดของเชื้อจุลินทรีย์ ผลการศึกษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศขนาด 2.1-4.7 µm มีค่ามัธยฐานในอากาศสูงสุดเท่ากับ 245.6 cfu/m^3 และ 219.1 cfu/m^3 ตามลำดับ ส่วนขนาด 4.7->7 µm มีค่ามัธยฐานในอากาศต่ำสุดเท่ากับ 141.3 cfu/m^3 และ 100.7 cfu/m^3 ตามลำดับ และพบว่าทุกขนาดมีค่ามัธยฐานจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศสูงสุดที่แผนกฉุกเฉิน และต่ำสุดที่ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ (ตารางที่ 14)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 14 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกตามขนาด จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	ขนาดของแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ								
	(0.65-2.1 µm)			(2.1-4.7 µm)			(4.7->7.0 µm)		
	Median	(IQR)	(Min - Max)	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	*Median*	(IQR)	(Min - Max)
				จำนวนแบคทีเรีย (cfu/m^3)[a]					
ฉุกเฉิน	*254.4*	(35.3)	(206.7 - 297.7)	*265.0*	(51.4)	(204.9 - 330.5)	*167.8*	(31.8)	(91.9 - 222.6)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	*214.7*	(69.8)	(132.9 - 296.8)	*273.9*	(71.3)	(159.3 - 324.2)	*150.2*	(44.2)	(68.2 - 220.0)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	*148.4*	(139.6)	(132.5 - 289.8)	*194.4*	(155.5)	(151.9 - 323.3)	*95.4*	(127.2)	(84.8 - 217.3)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	*192.6*	(63.6)	(127.2 - 302.1)	*208.4*	(81.3)	(137.8 - 321.6)	*100.7*	(51.2)	(51.2 - 215.5)
รวม	*215.5*	(79.5)	(127.2 - 302.1)	*245.6*	(88.3)	(137.8 - 330.5)	*141.3*	(74.2)	(51.2 - 222.6)
				จำนวนเชื้อรา (cfu/m^3)[a]					
ฉุกเฉิน	*222.6*	(74.2)	(162.5 - 270.3)	*259.7*	(72.3)	(183.8 - 303.9)	*137.8*	(61.0)	(68.9 - 215.5)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	*184.6*	(69.1)	(123.7 - 254.4)	*221.8*	(104.0)	(150.9 - 302.1)	*117.5*	(54.8)	(56.5 - 190.8)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	*146.6*	(127.2)	(120.1 - 256.2)	*182.0*	(114.8)	(132.5 - 300.4)	*84.8*	(60.0)	(53.0 - 224.4)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	*152.0*	(51.3)	(97.2 - 258.0)	*183.7*	(116.6)	(125.4 - 307.4)	*86.6*	(53.0)	(40.7 - 194.3)
รวม	*184.9*	(79.5)	(97.2 - 270.3)	*219.1*	(111.8)	(125.4 - 307.4)	*100.7*	(62.7)	(40.7 - 224.4)

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation analysis) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Spearman rank correlation ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) กับแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาด พบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) มีแนวโน้มความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาดอยู่ในระดับสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 15 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) กับแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาด

ขนาด	แบคทีเรียในอากาศ[a]			เชื้อราในอากาศ[a]		
	0.65-2.1 µm	2.1-4.7 µm	4.7->7 µm	0.7-2.1 µm	2.1-4.7 µm	4.7->7 µm
0.65-2.1 µm	1	0.924	0.881	1	0.927	0.848
2.1-4.7 µm	0.924	1	0.913	0.927	1	0.883
4.7->7 µm	0.881	0.913	1	0.848	0.883	1
รวม	0.965	0.976	0.958	0.967	0.977	0.932

สถิติทดสอบ Spearman rank correlation ทุกตัวแปรมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในอาคารและนอกอาคารจำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่ามีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในอาคารเฉลี่ยเท่ากับ 596.1 cfu/m^3 และ 521.2 cfu/m^3 ตามลำดับ และในอากาศนอกอาคารเฉลี่ยเท่ากับ 496.5 cfu/m^3 และ 650.1 cfu/m^3 ตามลำดับ แผนกฉุกเฉินมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยภายในอาคารและนอกอาคารสูงสุด โดยในอาคารมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 691.0 cfu/m^3 และ 618.4 cfu/m^3 ตามลำดับ และนอกอาคารเท่ากับ 523.5 cfu/m^3 และ 721.4 cfu/m^3 ตามลำดับ ส่วนแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยในอาคารและนอกอาคารต่ำสุด โดยในอาคารมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 533.8 cfu/m^3 และ 464.7 cfu/m^3 ตามลำดับ และนอกอาคารเท่ากับ 461.5 cfu/m^3 และ 583.0 cfu/m^3 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศเฉลี่ยระหว่างในอาคารและนอกอาคารพบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศในอาคารมากกว่านอกอาคารทุกแผนก ส่วนจำนวนเชื้อราในอากาศพบว่านอกอาคารมีจำนวนเชื้อราในอากาศมากกว่าภายในอาคารทุกแผนก (ตารางที่ 16)

ตารางที่ 16 จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศภายในอาคารและนอกอาคาร จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ						สัดส่วนภายในต่อนอกอาคาร
	ภายในอาคาร			นอกอาคาร			
	Mean	(SD)	(Min - Max)	*Mean*	(SD)	(Min - Max)	
อาคาร	**แบคทีเรีย (cfu/m^3)[a]**						
ฉุกเฉิน	*691.0*	(79.61)	(503.5 - 812.7)	*523.5*	124.47	(335.7 - 689.1)	1.3
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	*627.2*	(124.60)	(360.4 - 812.7)	*507.1*	119.61	(335.7 - 671.4)	1.2
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	*567.9*	(208.55)	(371.0 - 830.4)	*506.7*	140.25	(335.7 - 706.7)	1.1
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	*533.8*	(132.50)	(353.4 - 812.7)	*461.5*	153.34	(328.6 - 689.1)	1.2
รวม	*596.1*	(140.90)	(353.4 - 830.4)	*496.5*	130.95	(328.6 - 689.1)	1.2
	เชื้อรา (cfu/m^3)[a]						
ฉุกเฉิน	*618.4*	(108.03)	(452.3 - 784.5)	*721.4*	66.75	(618.4 - 795.1)	0.9
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	*539.7*	(129.59)	(332.2 - 736.7)	*659.0*	104.87	(459.4 - 742.1)	0.8
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	*478.1*	(178.01)	(319.8 - 773.9)	*658.7*	173.20	(353.4 - 777.4)	0.7
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	*464.7*	(130.11)	(265.0 - 759.7)	*583.0*	127.10	(388.7 - 742.1)	0.8
รวม	*521.2*	(142.20)	(265.0 - 784.5)	*650.1*	124.55	(353.4 - 795.1)	0.8

Mean = ค่าเฉลี่ย Standard deviation: SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

4.3 ข้อมูลผลการวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

อัตราการหมุนเวียนอากาศจำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่าค่ามัธยฐานอัตราการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 6.2 ชั่วโมง$^{-1}$ โดยห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจมีค่ามัธยฐานอัตราการหมุนเวียนอากาศสูงสุดเท่ากับ 7.0 ชั่วโมง$^{-1}$ ส่วนแผนกฉุกเฉินมีค่ามัธยฐานอัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำสุดเท่ากับ 6.0 ชั่วโมง$^{-1}$ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการหมุนเวียนอากาศกับค่ามาตรฐานอัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมงของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] และค่ามาตรฐานของ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008[25] พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวข้างต้นร้อยละ 44.4 (44/99 บริเวณ) โดยแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคผ่านตามค่ามาตรฐานมากที่สุดร้อยละ 88.3 (35/42 บริเวณ) ส่วนแผนกฉุกเฉินและห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจไม่ผ่านตามค่ามาตรฐานทั้งหมด (ตารางที่ 17)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 17 อัตราการหมุนเวียนอากาศเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	n	อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)			ค่ามาตรฐาน (ชั่วโมง$^{-1}$)	ผ่านมาตรฐาน[a]	
		Median	(IQR)	(Min - Max)		n	(%)
ฉุกเฉิน	27	*6.0*	(0.3)	(5.3 - 7.1)	12[£]	0	(0.0)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*6.3*	(1.8)	(5.1 - 12.0)		9	(50.0)
ห้องตรวจรักษาผู้ป่วย	7	*6.4*	(2.0)	(6.2 - 8.3)	6[£]	7	(100.0)
ห้องเก็บเสมหะ	2	*5.1*	-	(5.1 - 5.1)	12[¥]	0	(0.0)
บริเวณพักคอยสำหรับแผนกผู้ป่วยนอก	9	*6.1*	(3.9)	(5.2 - 12.0)	12[£]	2	(22.2)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*7.0*	(2.0)	(5.2 - 7.8)	12[¥]	0	(0.0)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*6.7*	(1.2)	(5.2 - 10.2)		35	(74.5)
ห้องพักผู้ป่วย	42	*6.5*	(1.1)	(5.2 - 7.9)	6[£]	35	(83.3)
ห้องแยกผู้ป่วยแพร่เชื้อทางอากาศ	5	*9.6*	(1.2)	(9.0 - 10.2)	12[£]	0	(0.0)
รวม	99	*6.2*	(1.1)	(5.1 - 12.0)		44	(44.4)

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[£] ค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

[¥] ค่ามาตรฐานของ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008

[a] ผ่านมาตรฐาน หมายถึง ผ่านตามค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] และ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008[25]

อัตราการหมุนเวียนอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีค่ามัธยฐานอัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำสุดเท่ากับ 6.0 ชั่วโมง$^{-1}$ ส่วนการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีค่ามัธยฐานอัตราการหมุนเวียนอากาศใกล้เคียงกัน ซึ่งเท่ากับ 6.3 ชั่วโมง$^{-1}$ และ 6.4 ชั่วโมง$^{-1}$ ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างอัตราการหมุนเวียนอากาศกับระบบระบายอากาศ พบว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีอัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำกว่าการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 18)

ระบบระบายอากาศ พบว่าการระบายอากาศแบบธรรมชาติมากที่สุดร้อยละ 47.5 (47/99 บริเวณ) ส่วนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์น้อยที่สุดร้อยละ 19.2 (19/99 บริเวณ)

ความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศซึ่งพิจารณาจากการผ่านตามค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] และ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008[25]} พบว่าการระบายอากาศแบบธรรมชาติผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวมากที่สุดร้อยละ 74.5 (35/47 บริเวณ) ส่วนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวน้อยที่สุดร้อยละ 10.5 (2/19 บริเวณ)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติทดสอบ Chi-Square Test ระหว่างความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศกับระบบระบายอากาศ พบว่าการระบายอากาศแบบธรรมชาติมีความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศสูงกว่าระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 19)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 18 อัตราการหมุนเวียนอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$) (n=99)											
	การระบายอากาศแบบธรรมชาติ				ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์				ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน			
	n	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	n	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	n	*Median*	(IQR)	(Min - Max)
ฉุกเฉิน	2	*6.6*	-	(6.3 - 6.7)	12	*0.1*	(0.6)	(5.3 – 6.6)	13	*6.0*	(0.2)	(5.4 - 7.1)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	8	*6.3*	(4.5)	(5.1 - 12.0)	7	*5.2*	(1.1)	(5.2 – 6.3)	3	*8.2*	-	(5.1 - 8.3)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0	*N/A*			0	*N/A*			7	*7.0*	(2.0)	(5.2 - 7.8)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	27	*6.2*	(1.2)	(5.2 - 7.9)	0	*N/A*			10	*8.0*	(3.1)	(6.4 - 10.2)
รวม	47	*6.3*		(5.1 – 12.0)	19	*6.0*	(0.9)	(5.2 – 6.4)[a]	33	*6.4*	(1.5)	(5.1 - 10.2)[b]

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

สถิติทดสอบ Mann-Whitney U Test

[a] หมายถึง อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$) มีความแตกต่างจากการระบายอากาศแบบธรรมชาติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

[b] หมายถึง อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$) มีความแตกต่างจากระบบระปรับอากาศแบบรวมศูนย์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

Not available (N/A) หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

ตารางที่ 19 ความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	ระบบระบายอากาศ (n=99)											
	การระบายอากาศแบบธรรมชาติ				ระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง				ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน			
	รวม		ผ่านค่ามาตรฐาน		รวม		ผ่านค่ามาตรฐาน		รวม		ผ่านค่ามาตรฐาน	
	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)
ฉุกเฉิน	2	(2.0)	0	(0.0)	12	(12.1)	0	(0.0)	13	(13.1)	0	(0.0)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	8	(8.1)	5	(62.5)	7	(7.1)	2	(28.6)	3	(3.0)	2	(66.7)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	0	(0.0)		N/A	0	(0.0)		N/A	7	(7.1)	0	(0.0)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	37	(37.4)	30	(81.1)	0	(0.0)		N/A	10	(10.1)	5	(50.0)
รวม	47	(47.5)	35	(74.5)	19	(19.2)	2	(10.5)[b]	33	(33.3)	7	(21.2)[b]

[a] ผ่านค่ามาตรฐาน หมายถึง มีความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศ ซึ่งพิจารณาจากการผ่านตามค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] และ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008[25]

สถิติทดสอบ Chi-Square Tests

[b] หมายถึง ความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศแตกต่างจากการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Not available (N/A) หมายถึง ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้

4.4 ข้อมูลสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงานในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค แบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ ระดับดี และระดับปานกลาง โดยพบว่าส่วนใหญ่อยู่ในระดับดีร้อยละ 80.8 (80/99 บริเวณ) และแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคอยู่ในระดับดีมากที่สุดร้อยละ 89.9 (16/18 บริเวณ) ส่วนห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจอยู่ในระดับดีน้อยที่สุดร้อยละ 57.1 (4/7 บริเวณ) (ตารางที่ 20)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 20 คะแนนและระดับสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	n	คะแนน			ระดับดี		ระดับปานกลาง	
	รวม	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	n	(%)	n	(%)
ฉุกเฉิน	27	*24.0*	(7.0)	(16.0 - 29.0)	23	(85.2)	4	(14.8)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*27.0*	(4.3)	(19.0 - 30.0)	16	(88.9)	2	(11.1)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*21.0*	(11.0)	(14.0 - 30.0)	4	(57.1)	3	(42.9)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*26.0*	(17.0)	(17.0 - 29.0)	37	(78.7)	10	(21.3)
รวม	99	*26.0*	(6.0)	(14.0 - 30.0)	80	(80.8)	19	(19.2)

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

ระดับดี หมายถึง ได้คะแนนอยู่ในช่วง 21-30 คะแนน

ระดับปานกลาง หมายถึง ได้คะแนนอยู่ในช่วง 11-20 คะแนน

4.5 ข้อมูลตัวแปรร่วมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อวัณโรค แบคทีเรียและเชื้อรา ในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

ข้อมูลตัวแปรร่วมที่เกี่ยวข้องกับเชื้อวัณโรค แบคทีเรียและเชื้อรา ในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค ได้แก่ แผนก ระบบระบายอากาศ อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงานจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล มีรายละเอียดผลการศึกษามีดังนี้

แผนก จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล รายละเอียดดังตารางที่ 7 หน้า 54 ส่วนระบบระบายอากาศ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล รายละเอียดดังตารางที่ 19 หน้า 72

อุณหภูมิ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่าอุณหภูมิมีค่ามัธยฐานเท่ากับ 27.9 องศาเซลเซียส และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารของ the OHS Act (อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-26 องศาเซลเซียส)[34] พบว่าอุณหภูมิผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวข้างต้นร้อยละ 36.4 (36/99 บริเวณ) โดยห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจผ่านตามค่ามาตรฐานมากที่สุดร้อยละ 100 (7/7 บริเวณ) ส่วนแผนกแผนกผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรคผ่านตามค่ามาตรฐานน้อยที่สุดร้อยละ 16.7 (3/18 บริเวณ)

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์มีค่ามัธยฐานเท่ากับ 62.2% และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารของ ASHRAE Standard 62.1-2013 (ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\leq$65%)[35] พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวข้างต้นร้อยละ 39.4 (39/99 บริเวณ) โดยห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจผ่านตามค่ามาตรฐานมากที่สุดร้อยละ 71.4 (5/7 บริเวณ) ส่วนแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคผ่านตามค่ามาตรฐานน้อยที่สุดร้อยละ 27.8 (5/18 บริเวณ) (ตารางที่ 21)

ตารางที่ 21 อุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต่างๆ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	n รวม	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	ผ่านค่ามาตรฐาน n	(%)
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)[a]						
ฉุกเฉิน	27	*25.6*	(2.0)	(24.3 - 29.9)	18	(66.7)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*28.3*	(4.4)	(24.2 - 31.8)	3	(16.7)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*24.6*	(1.5)	(24.1 - 25.9)	7	(100.0)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*31.5*	(2.9)	(24.0 - 32.6)	8	(17.0)
รวม	99	*27.9*	(6.2)	(24.0 - 32.6)	36	(36.4)
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)[b]						
ฉุกเฉิน	27	*61.7*	(3.7)	(55.3 - 69.4)	8	(29.6)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*68.2*	(12.5)	(51.4 - 71.9)	5	(27.8)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*57.2*	(12.5)	(50.1 - 69.6)	5	(71.4)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*66.7*	(12.3)	(52.5 - 70.8)	21	(44.7)
รวม	99	*62.2*	(12.2)	(50.1 - 71.9)	39	(39.4)

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[a] ผ่านค่ามาตรฐาน หมายถึง ผ่านตามค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารของ the OHS Act (อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-26 องศาเซลเซียส)[34]

[b] ผ่านค่ามาตรฐาน หมายถึง ผ่านตามค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารของ ASHRAE Standard 62.1-2013 (ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ $\leq$65%)[35]

Chulalongkorn University

จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่ามีค่ามัธยฐานเท่ากับ 1 คน (จำนวนผู้ป่วยวัณโรคฯ น้อยสุดเท่ากับไม่มีผู้ป่วย และมากสุดเท่ากับ 22 คน) โดยแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคมีค่ามัธยฐานจำนวนผู้ป่วยวัณโรคฯ สูงสุด ส่วนแผนกฉุกเฉินมีค่ามัธยฐานจำนวนผู้ป่วยวัณโรคฯ ต่ำสุด

จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่ามีค่ามัธยฐานเท่ากับ 10 คน (จำนวนคนฯ น้อยสุดเท่ากับ 5 คน และมากสุดเท่ากับ 95 คน) โดยแผนกฉุกเฉินมีค่ามัธยฐานจำนวนคนฯ สูงสุด ส่วนห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจมีค่ามัธยฐานจำนวนคนฯ ต่ำสุด

จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการจำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล พบว่ามีค่ามัธยฐานเท่ากับ 0 ครั้ง (จำนวนครั้งการไอฯ น้อยสุดเท่ากับ ไม่มีการไอฯ และมากสุดเท่ากับ 15 ครั้ง) โดยห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจมีค่ามัธยฐานจำนวนครั้งการไอฯ สูงสุด ส่วนแผนกที่มีจำนวนครั้งการไอฯ มากสุด คือ แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค และรองลงมา คือ แผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค (ตารางที่ 22)

ตารางที่ 22 จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ จำแนกตามแผนกของหน่วยงานภายในสถานพยาบาล

แผนก	**n**	**จำนวนคนหรือครั้งต่อวัน**		
	รวม	***Median***	**(IQR)**	**(Min - Max)**
	จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการ (คน)			
ฉุกเฉิน	27	*0.0*	(0.0)	(0.0 - 4.0)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*2.5*	(6.0)	(0.0 - 22.0)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*1.0*	(1.0)	(0.0 - 1.0)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*1.0*	(0.0)	(0.0 - 4.0)
รวม	99	*1.0*	(1.0)	(0.0 - 22.0)
	จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการ (คน)			
ฉุกเฉิน	27	27	27	27
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	18	18	18
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	7	7	7
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	47	47	47
รวม	99	99	99	99
	จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายบุคคล (ครั้ง)			
ฉุกเฉิน	27	*0.0*	(0.0)	(0.0 - 1.0)
ผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	18	*0.0*	(0.0)	(0.0 - 15.0)
ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	7	*3.0*	(2.0)	(0.0 - 5.0)
ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	47	*1.0*	(1.0)	(0.0 - 10.0)
รวม	99	*0.0*	(1.0)	(0.0 - 15.0)

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเชื้อวัณโรค แบคทีเรีย และเชื้อราในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสถานที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมีตัวแปรที่ค่ามัธยฐานต่ำกว่าบริเวณที่ไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ (5.1 ชั่วโมง$^{-1}$ เทียบกับ 6.2 ชั่วโมง$^{-1}$) สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน (24.0 เทียบกับ 26.0 คะแนน) และจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (5 เทียบกับ 10 คน) ตัวแปรที่มีค่ามัธยฐานเท่ากันกับบริเวณที่ไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ ได้แก่ จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน (1 คน) ส่วนตัวแปรที่มีค่ามัธยฐานสูงกว่าบริเวณที่ไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ ได้แก่ จำนวนแบคทีเรีย (742.0 เทียบกับ 598.5 cfu/m^3) จำนวนเชื้อรา (653.7 เทียบกับ 496.5 cfu/m^3) ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (70.2 เทียบกับ 62.1%) อุณหภูมิ (31.1 เทียบกับ 27.9 องศาเซลเซียส) และจำนวนการไอโดยไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของหน่วยงาน (10.0 เทียบกับ 0 ครั้ง)

แผนกที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมีสองแผนก คือ แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค โดยมีความถี่ในการตรวจพบเชื้อวัณโรคเท่ากับ 2 และ 1 บริเวณ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 11.1 (2/18 บริเวณ) และ 2.1 (1/47 บริเวณ) ตามลำดับ

ระบบระบายอากาศที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมีสองระบบ คือ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยมีความถี่ในการตรวจพบเชื้อวัณโรคเท่ากับ 2 และ 1 บริเวณ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 4.3 (2/47 บริเวณ) และ 3.0 (1/33 บริเวณ) ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์โดยใช้สถิติทดสอบ Mann-Whitney U Test ระหว่างบริเวณที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศกับ 9 ตัวแปร ดังนี้ จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในในอากาศ (ในอาคาร) อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ และใช้สถิติทดสอบ Fisher’s Exact Test ระหว่างบริเวณที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศกับ 2 ตัวแปร

ดังนี้ แผนก และระบบระบายอากาศ ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค มี 3 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ มีความแตกต่างกันกับบริเวณที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนจำนวนแบคทีเรียในอากาศ มีค่า p-value เท่ากับ 0.05 (marginally significantly) (ตารางที่ 23)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 23 ข้อมูลการเปรียบเทียบลักษณะบริเวณที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ จำแนกตามตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	แผนกที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค			แผนกที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรค			p-value
	Median	(IQR)	(Min - Max)	*Median*	(IQR)	(Min - Max)	
จำนวนแบคทีเรียและเชื้อรา (ในอาคาร)							
แบคทีเรีย (cfu/m^3)[a]	*742.0*	-	(731.4 - 759.7)	*598.5*	(231.4)	(353.4 - 830.4)	0.050[b]**
เชื้อรา (cfu/m^3)[a]	*653.7*	-	(565.4 - 706.7)	*495.5*	(245.1)	(265.0 - 784.5)	0.134[b]
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)	*5.1*	(0.0)	(5.1 - 5.2)	*6.2*	(1.1)	(5.2 - 12.00)	0.003[b]*
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)[c]	*31.1*	(7.0)	(24.5 - 31.5)	*27.9*	(6.2)	(24.0 - 32.6)	0.967[b]
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)	*70.2*	(0.6)	(70.2 - 70.8)	*62.1*	(11.8)	(50.1 - 71.9)	0.022[b]*
สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน (คะแนน)	*24.0*	-	(22.0 - 28.0)	*26.0*	(6.0)	(14.0 - 30.0)	0.861[b]
จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	*1.0*	-	(1.0 - 3.0)	*1.0*	(1.0)	(0.0 - 22.0)	0.177[b]
จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	*5.0*	-	(5.0 - 12.0)	*10.0*	(95.0)	(5.0 - 100.0)	0.210[b]
จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ (ครั้ง)	*10.0*	(5.0)	(10.0 - 15.0)	*0.0*	(1.0)	(0.0 - 5.0)	0.001[b*]

ตารางที่ 23 (ต่อ) ข้อมูลการเปรียบเทียบลักษณะบริเวณที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ จำแนกตามตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	บริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรค		บริเวณที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรค		p-value
	ความถี่	(ร้อยละ)	ความถี่	(ร้อยละ)	
แผนก	3	(3.0)	96	(97.0)	
ฉุกเฉิน	0	(0.0)	27	(100.0)	0.231[c]
แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค	2	(11.1)	16	(88.9)	
ห้องสำหรับส่องกล้องทางเดินหายใจ	0	(0.0)	7	(100.0)	
แผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค	1	(2.1)	46	(97.9)	
ระบบระบายอากาศ	3	(3.0)	96	(97.0)	1.000[c]
การระบายอากาศแบบธรรมชาติ	2	(4.3)	45	(95.7)	
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	0	(0.0)	19	(100.0)	
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	1	(3.0)	32	(97.0)	

Median = ค่ามัธยฐาน Interquartile range: IQR = ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ Minimum: Min = ค่าต่ำสุด Maximum: Max = ค่าสูงสุด

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

[b] สถิติทดสอบ Mann-Whitney U Test

[c] สถิติทดสอบ Fisher's Exact Test

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** มีค่า p-value เท่ากับ 0.05 (marginally significantly)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson correlation ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องมี 7 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (ตารางที่ 24)

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Spearman rank correlation ระหว่างตัวแปร 7 ตัวแปร ดังกล่าวข้างต้น กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาด (3 ขนาด ดังนี้ ชั้นที่ 1-2 (4.7->7.0 μm) ชั้นที่ 3-4 (2.1-4.7 μm) และชั้นที่ 5-6 (0.65-2.1 μm)) ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง 7 ตัวแปร กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาดเป็นไปในทิศทางเดียวกับผลความสัมพันธ์ระหว่าง 7 ตัวแปรกับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) ดังกล่าวข้างต้น (ตารางแสดงในภาคผนวก ก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 24 แสดงสหสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) กับตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	แบคทีเรีย		เชื้อรา	
	r	p -value	r	p -value
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)	-0.663	<0.001**	-0.660	<0.001**
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	-0.120	0.236	-0.094	0.357
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)	0.288	0.004**	0.260	0.009**
สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน (คะแนน)	-0.096	0.345	-0.134	0.188
จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อต่อวันที่มารับบริการของหน่วยงาน (คน)	-0.164	0.105	-0.169	0.095
จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	0.326	0.001**	0.324	0.001**
จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ (ครั้ง)	0.229	0.022*	0.160	0.144

สถิติทดสอบ Pearson correlation

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

การทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้สถิติทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับระบบระบายอากาศ (การระบายอากาศแบบธรรมชาติ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน) พบว่าระบบระบายอากาศมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 12 หน้า 61)

การทดสอบความสัมพันธ์โดยใช้สถิติทดสอบ One-way ANOVA ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับแผนก (แผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค) พบว่าแผนกมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ (ตารางที่ 13 หน้า 63)

ผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติพหุคูณระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจำนวนแบคทีเรีย และเชื้อรา ในอากาศ

วิเคราะห์ Bivariate analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นครั้งละ 1 ตัวแปร กับตัวแปรตาม คือ จำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศจะได้ค่า Unstandardized Coefficients: B โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ผลการวิเคราะห์พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของหน่วยงาน จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) ส่วนอัตราการหมุนเวียนอากาศเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 25) และพบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ มีความสัมพันธ์มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) ส่วนอัตราการหมุนเวียนอากาศเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) กับจำนวนเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (ตารางที่ 26)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 25 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Bivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Linear regression

ตัวแปร#	B[a]	95%CI [lower, Upper]	p-value
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)	-71.301	[-87.544, -55.057]	<0.001*
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	-5.540	[-14.769, 3.689]	0.236
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)	6.660	[2.196, 11.124]	0.004*
สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน (คะแนน)	-3.390	[-10.482, 3.071]	0.345
จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	-8.693	[-19.239, 1.853]	0.105
จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	1.814	[0.754, 2.874]	0.001*
จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ (ครั้ง)	14.808	[2.144, 27.471]	0.022*
แผนก#			
ฉุกเฉิน	130.493	[72.770, 188.216]	<0.001*
ผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรคและห้องสำหรับห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	19.423	[-45.481, 84.327]	0.554
ระบบระบายอากาศ##			
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	166.079	[102.631, 229.527]	<0.001*
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	-46.265	[-105.462, 12.931]	0.124

[a] หน่วยเป็น cfu/m^3 (colony forming unit per cubic meter)

แผนกฉุกเฉิน (แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค = 0 แผนกฉุกเฉิน = 1) แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค และห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ (แผนกฉุกเฉิน และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วย วัณโรค = 0 แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค และห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ = 1)

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน = 0 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ = 1) และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ = 0 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน = 1)

สถิติทดสอบ Linear regression

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 26 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Bivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวนเชื้อราในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Linear regression

ตัวแปร[#]	B[a]	95%CI [lower, Upper]	p-value
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)	-71.642	[-88.093, -55.192]	<0.001*
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	-4.356	[-13.697, 4.985]	0.357
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)	6.071	[1.528, 10.613]	0.009*
สภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน (คะแนน)	-4.765	[-11.891, 2.360]	0.188
จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	-9.026	[-19.662, 1.609]	0.095
จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	1.820	[0.749, 2.890]	0.001*
จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ (ครั้ง)	10.404	[-2.559, 23.367]	0.144
แผนก[#]			
ฉุกเฉิน	133.587	[75.504, 191.669]	<0.001*
ผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรคและห้องสำหรับห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ	1.675	[-63.949, 67.298]	0.960
ระบบระบายอากาศ[##]			
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	164.406	[100.033, 228.779]	<0.001*
ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	-53.667	[-113.173, 5.840]	0.077

[a] หน่วยเป็น cfu/m^3 (colony forming unit per cubic meter)

[#] แผนกฉุกเฉิน (แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค = 0 แผนกฉุกเฉิน = 1) แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค และห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ (แผนกฉุกเฉิน และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วย วัณโรค = 0 แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค และห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ = 1)

[##] ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน = 0 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ = 1) และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ = 0 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน = 1)

สถิติทดสอบ Linear regression

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

วิเคราะห์ Multivariate analysis โดยใช้สถิติทดสอบ Multiple linear regression เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น (เฉพาะตัวแปรที่มีค่า p-value ≤ 0.25)[77] โดยศึกษาหลายตัวแปรพร้อมๆ กันที่มีผลต่อจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ โดยใช้ Stepwise linear regression จะได้ค่า Unstandardized Coefficients: B โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นที่ 95%

การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศในโมเดลมีทั้งหมด 6 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ ดังข้อมูลในโมเดล 1 (ตารางที่ 27)

การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเชื้อราในอากาศ ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนเชื้อราในอากาศ ในโมเดลมีทั้งหมด 5 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน ดังข้อมูลในโมเดล 1 (ตารางที่ 28)

เนื่องจากตัวแปรอัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เป็นตัวแปรที่มาจากการตรวจวัดทางด้านสิ่งแวดล้อมและตัวแปรเชิงประจักษ์ ส่วนตัวแปรจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ เป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสอบถามซึ่งอาจจะมีผลต่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล ดังนั้นผู้วิจัยจึงคงไว้เฉพาะตัวแปรที่มาจากการตรวจวัดทางด้านสิ่งแวดล้อมและตัวแปรเชิงประจักษ์เท่านั้นไว้ในโมเดล 2 (ตารางที่ 27 และ 28)

ตารางที่ 27 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Multivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Multiple linear regression

ตัวแปร	โมเดล 1 จำนวนแบคทีเรียในอากาศ[a]			โมเดล 2 จำนวนแบคทีเรียในอากาศ[a]		
	B[a]	95%CI [lower, upper]	p-value	B[a]	95%CI [lower, upper]	p-value
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)	-44.925	[-59.138, -30.713]	<0.001*	-50.477	[-64.985, -35.969]	<0.001*
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)	7.281	[4.386, 10.175]	<0.001*	7.272	[4.251, 10.294]	<0.001*
แผนกฉุกเฉิน[#]	57.461	[12.630, 102.291]	0.013*	65.053	[21.989, 108.117]	0.003*
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์[##]	107.551	[58.286, 156.816]	<0.001*	113.895	[63.599, 164.190]	<0.001*
จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	1.000	[0.208, 1.792]	0.014*			
จำนวนการไอโดยไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ (ครั้ง)	12.699	[4.464, 20.935]	0.003*			
Constant	363.422	[136.923, 589.920]	0.002	429.842	[191.726, 667.957]	0.001

[a] หน่วยเป็น cfu/m^3 (colony forming unit per cubic meter)

[#] แผนกฉุกเฉิน (แผนกผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค = 0 แผนกฉุกเฉิน = 1)

[##] ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน = 0 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ = 1)

โมเดล 1 (r^2 = 0.688) และโมเดล 2 (r^2 = 0.636)

สถิติทดสอบ Multiple linear regression

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 28 แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยแบบ Multivariate ระหว่างตัวแปรต่างๆ กับจำนวนเชื้อราในอากาศ โดยใช้สถิติทดสอบ Multiple linear regression

ตัวแปร	โมเดล 1 จำนวนเชื้อราในอากาศ[a]			โมเดล 2 จำนวนเชื้อราในอากาศ[a]		
	B[a]	95%CI [lower, upper]	p-value	B[a]	95%CI [lower, upper]	p-value
อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)	-52.301	[-67.141, -37.461]	<0.001*	-51.570	[-66.657, -36.483]	<0.001*
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซ็นต์ (%))	7.134	[4.004, 10.265]	<0.001*	6.585	[3.443, 9.728]	<0.001*
แผนกฉุกเฉิน	48.255	[0.307,96.202]	0.049*	68.366	[23.583, 113.149]	0.003*
ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	92.404	[39.092,145.751]	0.001*	107.380	[55.077, 159.682]	<0.001*
จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน (คน)	0.911	[0.048, 1.774]	0.039*			
Constant	364.403	[117.964, 610.842]	0.004	405.799	[158.178, 653.421]	0.002

[a] หน่วยเป็น cfu/m^3 (colony forming unit per cubic meter)

[#] แผนกฉุกเฉิน (แผนกผู้ป่วยนอกสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค = 0 แผนกฉุกเฉิน = 10)

[##] ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน = 0 ระบบปรับอากาศแบบศูนย์กลาง = 1)

โมเดล 1 (r^2 = 0.631) และโมเดล 2 (r^2 = 0.614)

สถิติทดสอบ Multiple linear regression

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจำนวนแบคทีเรียในอากาศโมเดล 1 พบว่าตัวแปรที่เข้าสมการถดถอยมี 6 ตัวแปร เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) 5 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ จำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) 1 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนโมเดล 2 พบว่าตัวแปรที่เข้าสมการถดถอยมี 4 ตัวแปร เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) 3 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) 1 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) หมายถึง มีจำนวนแบคทีเรียในอากาศเพิ่มขึ้น (cfu/m^3) ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) หมายถึง มีจำนวนแบคทีเรียในอากาศลดลง (cfu/m^3) โมเดล 1 และ 2 สมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของจำนวนแบคทีเรียในอากาศได้ร้อยละ 68.8 และ 63.6 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่า Unstandardized Coefficients: B ระหว่างโมเดล 1 และโมเดล 2 พบว่าค่าดังกล่าวข้างต้นของอัตราการหมุนเวียนอากาศ แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในโมเดล 2 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ทั้งสองโมเดลมีค่าดังกล่าวข้างต้นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 27)

ผลการวิเคราะห์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเชื้อราในอากาศโมเดล 1 พบว่าตัวแปรที่เข้าสมการถดถอยมี 5 ตัวแปร เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) 4 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) 1 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับจำนวนเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนโมเดล 2 พบว่าตัวแปรที่เข้าสมการถดถอยมี 4 ตัวแปร เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) 3 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) 1 ตัวแปร ได้แก่

อัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับจำนวนเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) หมายถึง มีจำนวนเชื้อราในอากาศเพิ่มขึ้น (cfu/m^3) ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) หมายถึง มีจำนวนเชื้อราในอากาศลดลง (cfu/m^3) โมเดล 1 และ 2 สมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของจำนวนเชื้อราในอากาศได้ร้อยละ 63.1 และ 61.4 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบค่า Unstandardized Coefficients: B ระหว่างโมเดล 1 และโมเดล 2 พบว่าค่าดังกล่าวข้างต้นของแผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ในโมเดล 2 มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และอัตราการหมุนเวียนอากาศทั้งสองโมเดลมีค่าดังกล่าวข้างต้นใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 28)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เก็บข้อมูลจากสถานพยาบาลในเขตภาคกลางของประเทศไทย จำนวน 7 แห่ง ประกอบด้วยโรงพยาบาลระดับตติยภูมิขั้นสูง (super tertiary care) 3 แห่ง โรงพยาบาลระดับตติยภูมิ (tertiary care) 3 แห่ง และสถาบันโรคติดเชื้อแห่งชาติ (National Infections Disease Institute) 1 แห่ง ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศจากแผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค ห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค รวมจำนวนทั้งหมด 99 บริเวณ แผนกที่จำนวนบริเวณมากที่สุด คือ แผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคร้อยละ 47.5 (47/99 บริเวณ) รองลงมาแผนกฉุกเฉินร้อยละ 27.2 (27/99 บริเวณ) แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคร้อยละ 18.2 (18/99 บริเวณ) และน้อยที่สุดห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจร้อยละ 7.1 (7/99 บริเวณ)

5.1.1 การตรวจหาจุลินทรีย์และเชื้อวัณโรคในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

การตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค พบว่าตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศร้อยละ 3.0 (3/99 บริเวณ) แยกเป็นแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรค บริเวณห้องเก็บเสมหะร้อยละ 2.0 (2/99 บริเวณ) และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคร้อยละ 1.0 (1/99 บริเวณ) โดยบริเวณห้องเก็บเสมหะมีจำนวน copy number ของ IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (IS*6110* copy number per m^3 of air) และจำนวนเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (the number of *M. tuberculosis* cell equivalents per m^3 of air) มากที่สุด ซึ่งทำให้มีค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) น้อยที่สุด เมื่อนำตัวอย่างอากาศที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคไปวิเคราะห์ว่าเป็นวัณโรคดื้อยาหรือไม่ผลการวิเคราะห์ไม่พบว่าเป็นเชื้อวัณโรคดื้อยา

การตรวจหาแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค พบว่าทุกแผนกตรวจพบแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ โดยแผนกฉุกเฉินพบจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศมากที่สุด ส่วนจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาดพบว่าขนาด

2.1-4.7 μm มีค่ามัธยฐานสูงสุด เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาดกับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ (รวมทุกขนาด) พบว่ามีแนวโน้มสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอยู่ในระดับสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) อยู่ในช่วง 0.932-0.977 และจำนวนแบคทีเรียมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 596.1$\pm$140.90 cfu/m^3 (ค่าต่ำสุด = 353.4 และค่าสูงสุด = 830.4 cfu/m^3) ส่วนจำนวนเชื้อรามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 521.2$\pm$142.20 cfu/m^3 (ค่าต่ำสุด = 265.0 และค่าสูงสุด = 759.7 cfu/m^3) และเมื่อเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับค่ามาตรฐานซึ่งเป็นค่าแนะนำจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารของ ACGIH[8] พบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวร้อยละ 32.3 (32/99 บริเวณ) และ 49.5 (49/99 บริเวณ) ตามลำดับ

5.1.2 การศึกษาความแตกต่างของจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศระหว่างพื้นที่ภายในอาคารกับนอกอาคารของสถานพยาบาล

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในอาคารและนอกอาคารมีจำนวนเฉลี่ยสูงสุดที่แผนกฉุกเฉิน ในส่วนของจำนวนแบคทีเรียในอาคารพบว่ามากกว่านอกอาคารและมากกว่าเชื้อราทุกแผนก ส่วนนอกอาคารพบว่ามีจำนวนเชื้อราในอากาศมากกว่าในอาคารและมากกว่าแบคทีเรียทุกแผนก

5.1.3 การวัดการหมุนเวียนอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคและเทียบกับค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

อัตราการหมุนเวียนอากาศ พบว่ามีค่ามัธยฐานเท่ากับ 6.2 ชั่วโมง$^{-1}$ โดยห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจมีค่ามัธยฐานอัตราหมุนเวียนอากาศสูงสุด ส่วนแผนกฉุกเฉินมีค่าต่ำสุด และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการหมุนเวียนอากาศกับค่ามาตรฐานอัตราการหมุนเวียนอากาศภายในห้องไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมงของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวข้างต้นร้อยละ 44.4 โดยแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคผ่านตามค่ามาตรฐานมากที่สุด ส่วนแผนกฉุกเฉินและห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจมีอัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำกว่าค่ามาตรฐานทั้งหมด และเมื่อพิจารณาความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศแบ่งตามระบบระบายอากาศ พบว่าระบบปรับอากาศ

แบบรวมศูนย์มีความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำสุด ส่วนการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีความเพียงพอของอัตราการหมุนเวียนอากาศใกล้เคียงกัน

5.1.4 ศึกษาสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน

ข้อมูลสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน พบว่าบริเวณในแผนกต่างๆ ของสถานพยาบาลส่วนใหญ่ในระดับดี และเมื่อพิจารณาแยกรายละเอียดแยกแผนกพบว่าทุกแผนกอยู่ในระดับดีมากกว่าระดับปานกลาง

5.1.5 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศและจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศกับตัวแปรหลักและตัวแปรร่วม

การเปรียบเทียบลักษณะบริเวณที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะบริเวณที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ พบว่าบริเวณตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศสูงกว่าบริเวณที่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรค และบริเวณที่พบเชื้อวัณโรคในอากาศมีตัวแปรที่มีค่ามัธยฐานต่ำกว่าบริเวณที่ไม่พบเชื้อวัณโรค 2 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ และจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน ตัวแปรที่มีค่ามัธยฐานสูงกว่ามี 2 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ ส่วนตัวแปรที่มีค่ามัธยฐานใกล้เคียงกันมี 2 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิ และสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน และมีค่ามัธยฐานเท่ากัน 1 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน เมื่อพิจารณาในส่วนของตัวแปรแผนกและระบบระบายอากาศ พบว่าแผนกที่พบเชื้อวัณโรคในอากาศมี 2 แผนก คือ แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคโดยพบที่บริเวณห้องเก็บเสมหะ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคโดยพบที่บริเวณห้องผู้ป่วยวัณโรค ส่วนระบบระบายอากาศที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมี 2 ระบบ คือ การระบายอากาศแบบธรรมชาติ และระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

การวิเคราะห์โดยใช้สถิติทดสอบ Mann-Whitney U Test พบว่าตัวแปรที่มีความแตกต่างกันระหว่างสถานที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์

ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ ส่วนจำนวนแบคทีเรียในอากาศ มีค่า p-value เท่ากับ 0.05 (marginally significantly)

การวิเคราะห์ด้วยสถิติพหุคูณระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ

ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียในอากาศมี 2 โมเดล โดยโมเดลที่ 1 พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศมี 5 ตัวแปร แยกเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) 4 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และจำนวนคนที่มารับบริการและให้บริการต่อวันของหน่วยงาน ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) 1 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ นอกจากนี้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียแต่ไม่พบความสัมพันธ์กับเชื้อราในอากาศมี 1 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ โดยตัวแปรดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยการคงไว้เฉพาะตัวแปรที่มาจากการตรวจวัดทางด้านสิ่งแวดล้อมและตัวแปรเชิงประจักษ์เท่านั้นในโมเดล 2 เพื่อความน่าเชื่อถือของข้อมูล พบว่าตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศมี 4 ตัวแปร แยกเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) 3 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) 1 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการหมุนเวียนอากาศ โดยตัวแปรดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างโมเดล 1 และโมเดล 2 พบว่าโมเดล 2 สมการสามารถอธิบายความแปรปรวนของจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศต่ำกว่าได้โมเดล 1 เล็กน้อย ในส่วนของค่า Unstandardized Coefficient: B ในโมเดล 2 เปรียบเทียบกับโมเดล 1 ระหว่างจำนวนแบคทีเรียในอากาศกับตัวแปรต่างๆ พบว่าอัตราการหมุนเวียนอากาศ แผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณความชื้นสัมพัทธ์มีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับค่า Unstandardized Coefficient: B ในโมเดล 2 เปรียบเทียบกับโมเดล 1 ระหว่างจำนวนเชื้อราใน

อากาศกับตัวแปรต่างๆ พบว่าแผนกฉุกเฉิน และระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์มีค่าลดลง ส่วนอัตราการหมุนเวียนอากาศมีค่าใกล้เคียงกัน

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

5.2.1 การตรวจหาเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค

การตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศ

การวิจัยครั้งนี้ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่แผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคบริเวณห้องเก็บเสมหะ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคบริเวณห้องผู้ป่วยวัณโรค แต่ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศในบริเวณที่มีความเสี่ยงสูงอื่นๆ เช่น แผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอก (บริเวณรอตรวจ ห้องให้คำปรึกษา และห้องตรวจ) และห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ ในขณะที่ผลการศึกษาที่ผ่านมาประเทศไต้หวัน สโลเวเนีย และแอฟริกาใต้ พบเชื้อวัณโรคในอากาศในพื้นที่ต่างๆ ในโรงพยาบาล รายละเอียดดังนี้ การศึกษาของประเทศไต้หวันที่พบเชื้อวัณโรคในอากาศในบริเวณที่เกี่ยวกับการให้บริการรักษาวัณโรค ได้แก่ 1. ผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคและผู้ป่วยที่สงสัยวัณโรค 2. ห้องรอตรวจและห้องให้คำปรึกษา และ 3. ห้องแยกเดี่ยวควบคุมความดันลบ ห้องพยาบาลนอกห้องแยกเดี่ยวควบคุมความดันลบ ห้องตรวจรักษา ห้องสังเกตุอาการในแผนกฉุกเฉิน ส่วนบริเวณที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรคพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่บริเวณ 1. ห้องรอตรวจของแผนกจักษุ 2. บริเวณที่เป็นพื้นที่ส่วนรวม ส่วน 3. ห้องผู้ป่วยในที่ไม่ใช่ผู้ป่วยวัณโรคมีจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศค่อนข้างต่ำมาก และห้องพยาบาลของแผนกผู้ป่วยในมีจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ต่ำกว่าปริมาณที่น้อยที่สุด (detection limit) และ 4. กุมารเวชกรรมในแผนกฉุกเฉินมีจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ต่ำกว่าปริมาณที่น้อยที่สุด (detection limit) เช่นกัน[20] การศึกษาของประเทศสโลวีเนียพบเชื้อวัณโรคในอากาศที่บริเวณทางเดินของแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค บริเวณทางเดินและห้องเพาะเชื้อของแผนกปฏิบัติการทางการแพทย์ และบริเวณทางเดินของพื้นที่ซึ่งไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรค[21] และการศึกษาของประเทศแอฟริกาใต้พบเชื้อวัณโรคในอากาศที่แผนกผู้ป่วยในและห้องเทคโนโลยีสารสนเทศ[22]

การวิจัยครั้งนี้พบว่าบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศคิดเป็นร้อยละ 3 ของบริเวณทั้งหมด (3/99 บริเวณ) ส่วนการศึกษาที่ผ่านมาพบเชื้อวัณโรคในอากาศของโรงพยาบาลในประเทศไต้หวันร้อยละ 63.8 (37/58 ตัวอย่างอากาศ)[20] สโลวีเนียร้อยละ 44.4 (4/9 บริเวณ)[21] และแอฟริกาใต้ร้อยละ 8.3 (2/24 ตัวอย่างอากาศ จากการเก็บในสิ่งแวดล้อม)[22] การที่จำนวนร้อยละของบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศของการวิจัยครั้งนี้น้อยกว่าการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้ไม่น่าจะเกิดจากเทคนิควิธีการเก็บตัวอย่างและการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลที่ด้อยกว่า เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้มีปริมาณการสุ่มตัวอย่างอากาศมากกว่าการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น และใช้อัตราการดูดอากาศสูง 72 ลิตร/นาที จำนวน 2 เครื่อง/บริเวณ เพื่อเพิ่มโอกาสในการตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศสำหรับบริเวณที่อาจมีจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศในปริมาณที่น้อย เช่น บริเวณต่างๆ ของสถานพยาบาลทั่วไปที่ไม่ใช่สถานพยาบาลโรคปอดโดยเฉพาะดังเช่นประชากรเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้ ส่วนเทคนิคการเก็บตัวอย่างเชื้อวัณโรคในอากาศนั้นจากการศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้นส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการกรอง (fitration) และตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค real-time qPCR หรือ real-time PCR[20-22] วิธีการเก็บตัวอย่างดังกล่าวนั้นแตกต่างจากการศึกษาครั้งนี้ที่เก็บตัวอย่างอากาศด้วยเทคนิคการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinger method) ซึ่งเทคนิคนี้จากผลการศึกษาที่ผ่านมาที่ศึกษาเกี่ยวกับการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลของแบคทีเรียในอากาศเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศ 4 วิธี ได้แก่ solid impactors 2 วิธี (BioStage และ RCS) liquid impinger 1 วิธี (BioSampler) และfilter sampler 1 วิธี แต่ใช้กระดาษกรองสองชนิด (a gelatin and a cellulose acetate filter) ผลการศึกษาพบว่าการเก็บตัวอย่างแบคทีเรียในอากาศด้วยเทคนิคการดักด้วยของเหลวในอิมพิงเจอร์ (liquid impinger method) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการหาปริมาณและชนิดของจุลชีพโดยการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค qPCR[54] และเป็นวิธีการที่สามารถตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการได้[58] นอกจากนี้ในด้านการตรวจวิเคราะห์ทางชีวโมเลกุลด้วยเทคนิค real-time qPCR สำหรับการวิจัยครั้งนี้มีปริมาณที่น้อยที่สุด (detection limit) สำหรับการตรวจหาเชื้อวัณโรคในอากาศของตัวอย่างอากาศที่สุ่มเก็บ เท่ากับ 3.2 copies/ไมโครลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาที่ประเทศไต้หวัน (2.8 copies/ไมโครลิตร)[20] แต่ต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับการศึกษาของประเทศแอฟริกาใต้ (28 copies/ไมโครลิตร)[22]

ดังนั้นการศึกษาที่ผ่านมาในประเทศไต้หวัน สโลวีเนีย และแอฟริกาใต้[20-22] ที่พบว่าจำนวนร้อยละของบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมากกว่าการวิจัยในครั้งนี้ อาจเนื่องจากการศึกษาดังกล่าวข้างต้นศึกษาในสถานพยาบาลเฉพาะทางโรคปอด ซึ่งเป็นสถานพยาบาลสำหรับผู้ป่วยวัณโรคหรือโรคปอดโดยตรง อาจทำให้ผู้ป่วยวัณโรคที่มารับบริการมีจำนวนมากและมีบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลดังกล่าวสูงกว่าสถานพยาบาลทั่วไปซึ่งเป็นประชากรเป้าหมายของการวิจัยในครั้งนี้ ประกอบกับสถานพยาบาลในประเทศไทยมีระบบช่องทางด่วน (fast tract) โดยมีการตรวจคัดกรองและการจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (ผ้าปิดปากและจมูก (srgical mask)) สำหรับผู้ป่วยที่สงสัยว่ามีโรคติดเชื้อทางเดินหายใจ เช่น วัณโรค และมีการส่งต่อผู้ป่วยไปยังแผนกที่เกี่ยวข้องกับการรักษาวัณโรคโดยตรง[37] ซึ่งกระบวนการดังกล่าวข้างต้นนี้อาจส่งผลต่อการตรวจพบหรือจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศได้

การตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศในแผนกฉุกเฉิน และห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ อาจเนื่องจากการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศในการวิจัยครั้งนี้เป็นการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศจากการทำงานโดยทั่วไปของสถานพยาบาลกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งระหว่างช่วงที่มีการเก็บตัวอย่างอากาศแผนกฉุกเฉินบางแห่งไม่มีผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อมารับบริการ ประกอบกับแผนกฉุกเฉินมีการดำเนินการคัดกรองและการจัดเตรียมหน้ากากสำหรับผู้ป่วยที่สงสัยว่ามีโรคติดเชื้อทางเดินหายใจดังนั้นจึงอาจทำให้ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศในแผนกดังกล่าว ส่วนห้องส่องกล้องระบบทางเดินหายใจ การตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศทั้งนี้อาจเนื่องจากห้องดังกล่าวมีอัตราแลกเปลี่ยนอากาศมากกว่า 6 ชั่วโมง$^{-1}$ (มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ เท่ากับ 6.4 ชั่วโมง$^{-1}$) ประกอบกับเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทางการแพทย์ผู้ป่วยต้องสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น ผ้าปิดปากและจมูก (surgical mask) ทันทีอย่างเคร่งครัด จึงอาจส่งผลให้ตรวจไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศในห้องนี้ได้

จำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (IS*6110* copy number per m^3 of air) จากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคบริเวณห้องเก็บเสมหะทั้งสองห้องมีจำนวนเท่ากับ $1.0\pm0.14\times10^3$ และ $1.7\pm0.08\times10^3$ copy number/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่าการศึกษาในประเทศสโลวีเนีย ที่พบว่าในบริเวณดังกล่าวมีจำนวนต่ำมาก (<10 copy number/ลูกบาศก์เมตร) ทั้งนี้อาจเนื่องจากลักษณะของห้องเก็บเสมหะมีความแตกต่างกัน โดยห้องเก็บเสมหะจากการศึกษาในประเทศสโลวีเนียมีลักษณะเป็นห้องที่มีการควบคุมความดันอากาศให้เป็นลบ

(negative pressure) และมีอัตราการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 6 ชั่วโมง$^{-1}$[21] ในขณะที่การวิจัยครั้งนี้ ลักษณะห้องเก็บเสมหะเป็นห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติและระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีอัตราการหมุนเวียนอากาศเท่ากับ 5.1 ชั่วโมง$^{-1}$ ซึ่งต่ำกว่าประเทศสโลวีเนีย เมื่อพิจารณาลักษณะของห้องเก็บเสมหะทั้ง 2 ห้อง ของการวิจัยครั้งนี้ พบว่าจำนวน copy number IS*6110* และเซลล์เชื้อวัณโรคต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ ของห้องเก็บเสมหะห้องที่ 1 (สถานพยาบาล A) ต่ำกว่าห้องเก็บเสมหะห้องที่ 2 (สถานพยาบาล B) ทั้งนี้อาจเกี่ยวเนื่องกับจำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่เข้าไปใช้บริการในห้องดังกล่าวในระหว่างดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศ โดยห้องเก็บเสมหะห้องที่ 1 มีจำนวนผู้ป่วยที่เข้าไปใช้บริการต่อวันเท่ากับ 1 คน ส่วนห้องเก็บเสมหะห้องที่ 2 เท่ากับ 3 คน และจากการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมพบว่าผู้ป่วยทั้งหมดที่เข้าไปใช้บริการในห้องเก็บเสมหะที่ได้สุ่มเก็บตัวอย่างอากาศในการวิจัยครั้งนี้เป็นผู้ป่วยวัณโรครายใหม่ทั้งหมด

การวิจัยครั้งนี้มีจำนวน copy number IS*6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ บริเวณห้องพักผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคเท่ากับ 9.6$\pm$2.10 copy number/ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาของประเทศสโลวีเนีย ที่พบว่าห้องพักผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคมีจำนวนดังกล่าวต่ำมาก (<10 copy number/ลูกบาศก์เมตร)[21] แต่การศึกษาในประเทศไต้หวันและประเทศแอฟริกาใต้ พบว่าแผนกผู้ป่วยในมีจำนวนดังกล่าวเท่ากับ $8.2\pm2.7\times10^3$ และ 2.1×10^2 copy number/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ[20, 22] ทั้งนี้อาจเนื่องแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคของการวิจัยครั้งนี้ได้มีการจัดเตรียมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (ผ้าปิดปากและจมูก (surgical mask) สำหรับผู้ป่วยที่เป็นวัณโรค ซึ่งสามารถช่วยลดโอกาสการฟุ้งกระจายของเชื้อวัณโรคในอากาศได้

ค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (Estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าห้องเก็บเสมหะมีค่าประมาณระยะเวลาดังกล่าวน้อยมาก หรืออาจกล่าวได้ว่าบริเวณห้องเก็บเสมหะมีศักยภาพสูงในการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในอากาศ โดยผลจากการวิจัยครั้งนี้พบว่าใช้เวลาเพียง 7.4-12.3 นาที สำหรับการสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ ในขณะที่ผลการศึกษาของประเทศสโลวีเนียบริเวณห้องเก็บเสมหะมีจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศน้อยมากจึงไม่สามารถประมาณระยะเวลาดังกล่าวได้ แต่ในส่วนของบริเวณอื่นๆ ที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ ได้แก่ ทางเดินของแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค ทางเดินของบริเวณที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่การให้บริการรักษาวัณโรค และ

ห้องปฏิบัติการทางแพทย์ พบว่าใช้เวลาดังกล่าว 1-3 ชั่วโมง[21] ในส่วนของห้องผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคมากกว่า 24 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากมีจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศในบริเวณดังกล่าวน้อย จึงอาจบ่งบอกได้ว่าบริเวณห้องผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคมีความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลน้อยกว่าบริเวณห้องเก็บเสมหะมาก สอดคล้องกับผลการศึกษาของประเทศสโลวีเนียที่พบว่าบริเวณห้องผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรคมีจำนวนเชื้อวัณโรคในอากาศน้อยมากจึงไม่สามารถประมาณระยะเวลาดังกล่าวได้

ตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ได้แก่ อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศที่ต่ำและไม่เพียงพอ (5.1 ชั่วโมง$^{-1}$) ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง (70.2%) และจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการที่มาก (10.0 ครั้ง) ส่วนจำนวนแบคทีเรียในอากาศมีแนวโน้มที่ทำให้ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ (p-value = 0.05) ซึ่งผลวิจัยข้างต้นสอดคล้องกับข้อเสนอแนะว่าอัตราการหมุนเวียนอากาศในโรงพยาบาลควรมีอย่างน้อย 6 ชั่วโมง$^{-1}$[24, 25] และควรตรวจสอบความชื้นสัมพัทธ์ให้ไม่ควรเกิน 65% เพื่อลดโอกาสในการเกิดภาวะที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์[35]

ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า บริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศ ลักษณะของบริเวณนั้น คือ มีผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อโดยเฉพาะผู้ป่วยวัณโรคที่เป็นผู้ป่วยรายใหม่ไอหลายครั้งต่อวันโดยไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล มีอัตราการแลกเปลี่ยนอากาศต่ำและไม่เพียงพอ และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง นอกจากนี้บริเวณที่จำนวนแบคทีเรียในอากาศสูงอาจมีแนวโน้มที่จะตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศสูงด้วย จากผลการศึกษาข้างต้นนี้นับเป็นข้อมูลหนึ่งที่ช่วยสนับสนุนว่าการตรวจประเมินด้านสิ่งแวดล้อม อาจเป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นของความเสี่ยงต่อการป่วยวัณโรคของบุคลากรทางการแพทย์ที่ปฏิบัติงานภายในสถานพยาบาลอีกทางหนึ่งด้วย อีกทั้งยังเป็นส่วนช่วยสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคในสถานพยาบาลได้ดีกว่าการเฝ้าระวังการติดเชื้อในบุคลากรเพียงอย่างเดียว

การตรวจหาจุลินทรีย์ในอากาศ

การตรวจหาจุลินทรีย์ในอากาศในการวิจัยครั้งนี้ ได้ตรวจหาแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ ผลการศึกษาพบว่าแผนกฉุกเฉินมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศมากที่สุด และพบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศขนาด 2.1-4.7 ไมโครเมตร มีค่ามัธยฐานจำนวนแบคทีเรียและเชื้อรา

สูงสุด สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าขนาดจุลินทรีย์ในอากาศที่มีจำนวนมากที่สุด คือ 2.1-3.3 ไมโครเมตร[5, 62] และ 0.7-2.5 ไมโครเมตร[7]

การเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศกับค่ามาตรฐานซึ่งเป็นค่าแนะนำจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารของ ACGIH (แบคทีเรียและเชื้อรา $\leq$500 cfu/m^3)[8] พบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศผ่านตามค่ามาตรฐานดังกล่าวเพียงร้อยละ 32.3 และ 49.5 ตามลำดับ ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาที่พบว่าปริมาณแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในอาคารมีค่าเกินมาตรฐานของ ACGIH[8] เช่น การศึกษาในในประเทศสิงคโปร์ที่พบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศของโรงพยาบาลบริเวณโถงหลักเท่ากับ 455-899 cfu/m^3[6] การศึกษาในประเทศไต้หวันที่พบว่าจำนวนเชื้อราในอาคารในช่วงเช้าและบ่ายมีค่ามัฐยฐานเท่ากับ 699.3 และ 626.2 cfu/m^3[7] และการศึกษาในประเทศไทยที่พบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยในฤดูร้อนและฤดูฝนเท่ากับ 1,073.3$\pm$391.56 และ 894.9$\pm$513.28 cfu/m^3 ตามลำดับ ส่วนเชื้อราในฤดูร้อนและฤดูฝนเท่ากับ 1,216.4$\pm$543.60 และ 566.3$\pm$125.90 cfu/m^3 ตามลำดับ[4] และอีกการศึกษาที่พบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบริเวณหออภิบาลผู้ป่วยหนักศัลยกรรมขณะปิดระบบ ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) เท่ากับ 515.1$\pm$246.75 และ 531.4$\pm$337.65 cfu/m^3 ตามลำดับ[5]

5.2.2 ศึกษาความแตกต่างของจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศระหว่างพื้นที่ภายในอาคารกับนอกอาคารของสถานพยาบาล

จำนวนแบคทีเรียในอากาศระหว่างพื้นที่ภายในและนอกอาคาร พบว่าภายในอาคารมีจำนวนแบคทีเรียในอากาศมากกว่านอกอาคารทุกแผนก โดยมีค่าอัตราส่วนของแบคทีเรียภายในอาคารและนอกอาคาร (I/O ratio) มากกว่า 1.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สอดคล้องกับผลการศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในโรงพยาบาลทั่วไปในประเทศเกาหลีที่ศึกษาในโรงพยาบาลทั่วไป 5 แห่ง บริเวณห้องโถง ห้องผ่าตัด หออภิบาลผู้ป่วยหนัก (หน่วยดูแลผู้ป่วยหนัก) และห้องปฏิบัติการด้านชีวการแพทย์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าจำนวนแบคทีเรียในอาคารมากกว่านอกอาคาร[59] และการศึกษาเกี่ยวกับแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในประเทศไทยบริเวณหออภิบาลผู้ป่วยหนักอายุรกรรมและศัลยกรรมพบว่าจำนวนแบคทีเรียในอากาศภายในอาคารมากกว่านอกอาคารทั้งหมด[5] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแบคทีเรียมาจากร่างกายและ

กิจกรรมของคน โดยคนสามารถเป็นแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียประมาณ 3.7×10^7 bacterial genome copies/person/hour ดังนั้นจำนวนแบคทีเรียในอากาศจึงเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของคนและความหนาแน่นของคนหรือจำนวนคนที่อยู่ภายในอาคารมากกว่าจะมาจากการปนเปื้อนจากอากาศนอกอาคาร[6, 32]

เมื่อพิจารณาจำนวนเชื้อราในอากาศ พบว่านอกอาคารมีจำนวนเชื้อราในอากาศมากกว่าภายในอาคารทุกแผนก โดยมีค่าอัตราส่วนของเชื้อราภายในและนอกอาคาร (I/O ratio) น้อยกว่า 1.0 เช่นเดียวกับการศึกษาในประเทศอิหร่านที่ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของเวลาเยี่ยมไข้ต่อจำนวนเชื้อราในอากาศของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย ผลการศึกษาพบว่าทั้งก่อนและหลังเวลาเยี่ยมไข้จำนวนเชื้อราบริเวณพื้นที่ทั่วไปภายในโรงพยาบาล และหออภิบาลผู้ป่วยหนักอายุรกรรมของแผนกผู้ป่วยใน มีค่าอัตราส่วนของเชื้อรานอกอาคารมากกว่าภายในอาคาร[61] และการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของจุลินทรีย์ในอากาศของอาคารสาธารณะในประเทศเกาหลี โดยเป็นการสำรวจข้อมูลในโรงพยาบาล ศูนย์รับเลี้ยงเด็ก สถานสงเคราะห์คนชรา และศูนย์พักฟื้นสำหรับผู้ตั้งครรภ์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าทุกอาคารสาธารณะมีจำนวนเชื้อรานอกอาคารมากกว่าภายในอาคารทั้งหมด[60] นอกจากนี้ผลการศึกษาจำนวนเชื้อราในอากาศของโรงพยาบาลในประเทศไทย พบว่านอกอาคารมีจำนวนเชื้อราในอากาศมากกว่าภายในอาคารทั้งหมดเช่นเดียวกัน[5, 48] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเชื้อราส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากนอกอาคาร[32, 60] ยกเว้นว่าภายในอาคารมีแหล่งกำเนิดของเชื้อราร่วมด้วย เช่น บริเวณที่มีความชื้นหรือบริเวณที่ได้รับความเสียหายจากน้ำ[32]

ดังนั้นจากการวิจัยครั้งนี้ สรุปได้ว่าแบคทีเรียมีแหล่งกำเนิดจากภายในอาคาร ส่วนเชื้อรามีแหล่งกำเนิดจากนอกอาคารเป็นส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณาจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศที่พบว่าส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานซึ่งเป็นค่าแนะนำจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารของ ACGIH[8] ข้อมูลดังกล่าวนี้สะท้อนให้เห็นว่ามาตรการป้องกันและควบคุมแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศของโรงพยาบาลยังคงเป็นปัญหาที่ควรได้รับการพิจารณาแก้ไข โดยในส่วนของแบคทีเรียในอากาศควรมุ่งเน้นเกี่ยวกับการควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของแบคทีเรียบริเวณในอาคาร ในส่วนของเชื้อราควรเน้นการป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายบริเวณนอกอาคารและบริเวณทางผ่านเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อราจากนอกอาคารสู่ภายในอาคารได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราสูงกว่า

บริเวณที่ตรวจไม่พบเชื้อ อาจเป็นสิ่งช่วยบ่งบอกได้ว่าบริเวณที่มีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศในปริมาณสูงโดยเฉพาะจำนวนแบคทีเรียในอากาศปริมาณสูงนั้น น่าจะเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการพบเชื้อวัณโรคในอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อบริเวณนั้นมีอัตราการระบายอากาศต่ำ มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์สูง และมีผู้ป่วยวัณโรครายใหม่ไอหลายครั้งต่อวันโดยไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

5.2.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศกับตัวแปรหลักและตัวแปรร่วม

1. ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

อัตราการหมุนเวียนอากาศ เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ (แปรผกผัน) ส่วนระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าบริเวณที่มีอัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำจะมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศสูง สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาที่ได้ให้ข้อคิดเห็นว่าการตรวจพบจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น วัณโรคในอากาศของโรงพยาบาลอาจเป็นไปได้ว่ามีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างการระบายอากาศและการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ก่อโรค[20] ทั้งนี้เพราะเมื่ออัตราการหมุนเวียนอากาศต่ำทำให้อากาศภายในบริเวณนั้นไม่มีการถ่ายเท เชื้อจุลชีพต่างๆ ที่อยู่ในอากาศจึงยังคงสะสมอยู่ภายในอาคารได้[32] และในส่วนของบริเวณที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศนั้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากแผนกที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะมีบริเวณที่ค่อนข้างกว้าง ดังนั้นจึงมีการกั้นบริเวณเพื่อให้เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมและสะดวกกับการทำงาน ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวอาจส่งผลให้เกิดมุมอับที่ไม่มีการไหลเวียนของอากาศได้[57]

นอกจากนี้เครื่องปรับอากาศบริเวณดังกล่าวข้างต้นของสถานพยาบาล มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง และส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานมานานไม่ต่ำกว่า 10 ปี อาจทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศลงลง จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แบคทีเรียและเชื้อรามีจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย ดังผลการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินระบบการปรับอากาศและระบายอากาศในห้องแยกโรคของโรงพยาบาลชุมชนในเขตภาคกลาง ที่พบว่าห้องแยกโรคมีการไหลเวียนอากาศไม่เป็นไปตามมาตรฐานร้อยละ 60 ของกลุ่มตัวอย่าง และเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิภาพลดลงสามารถดึงความร้อนออกได้เฉลี่ยร้อยละ 50 ของประสิทธิภาพสูงสุด[65] ดังนั้นหากเครื่องปรับอากาศเกิดการชำรุดหรือ

ประสิทธิภาพลดลงจะทำให้เครื่องปรับอากาศไม่สามารถจัดการสภาวะอากาศตามที่ออกแบบได้ ซึ่งจะมีผลต่อการถ่ายเทอากาศและการควบคุมอุณภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณนั้นๆ และเมื่อการระบายอากาศในพื้นที่ดังกล่าวไม่เพียงพอก็จะเป็นตัวส่งเสริมให้แบคทีเรียและเชื้อรามีการเจริญเติบโตและแพร่กระจายได้ดี ประกอบกับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงก็จะยิ่งส่งผลให้แบคทีเรียและเชื้อรามีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย เพราะปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการอยู่รอดและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อม ดังเช่นการศึกษาที่ผ่านมาในประเทศสิงคโปร์ที่พบว่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับจำนวนแบคทีเรียในอากาศของโรงพยาบาลบริเวณห้องโถงหลัก และแผนกผู้ป่วยใน[6] และการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนแบคทีเรีย แบคทีเรียแกรมลบ และเชื้อราในอากาศของห้องโถงในโรงพยาบาลในประเทศเกาหลีที่พบว่าความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์จำนวนเชื้อราในอากาศของโรงพยาบาล[66]

นอกจากตัวแปรดังกล่าวข้างต้นแล้ว การวิจัยในครั้งนี้พบว่าแผนกฉุกเฉินและบริเวณที่มีผู้รับบริการและผู้ให้บริการต่อวันของหน่วยงานเป็นจำนวนมาก เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ ส่วนจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้ที่มารับบริการ พบว่าเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก (แปรผันตาม) กับเฉพาะจำนวนแบคทีเรียในอากาศเท่านั้น โดยตัวแปรดังกล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวนี้สอดคล้องกับการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศที่บริเวณต่างๆ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการ แผนกฉุกเฉินและแผนกศัลยกรรมของโรงพยาบาลในประเทศโปรตุเกส โดยผลการศึกษาพบว่าแผนกฉุกเฉินมีจำนวนแบคทีเรียและเชื้อรามากที่สุด[64] และการศึกษาในโรงพยาบาลที่ประเทศอิหร่านพบว่าแบคทีเรียในห้องฉุกเฉินมากที่สุดและมากกว่าห้องผ่าตัด[63] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาในโรงพยาบาลในเขตภาคกลางและเขตปริมณฑลของประเทศไทยที่พบว่าแผนกฉุกเฉินมีปริมาณเชื้อรามากที่สุด[49, 57] ทั้งนี้เนื่องจากแผนกฉุกเฉินมีกิจกรรมหลากหลายและเป็นแผนกที่มีจำนวนผู้รับบริการและบุคลากรทางการแพทย์ของสถานพยาบาลในอัตราส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับแผนกอื่น ซึ่งเมื่อคนมีจำนวนมากหรือคนมีความหนาแน่นในห้องเพิ่มขึ้นปริมาณแบคทีเรียในอากาศจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย ดังเช่นการศึกษาที่ผ่านมาในประเทศสิงคโปร์[6] และประเทศเกาหลี[66] เพราะแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียในอากาศมาจากกิจกรรมและร่างกายของคนภายในอาคารนั้นๆ โดยคนมีเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดในระบบทางเดินหายใจและน้ำลาย ซึ่งสามารถปล่อยเข้าสู่สภาพแวดล้อมในลักษณะของละอองลอย

ชีวภาพ โดยการไอ จาม พูด คุย ได้ ดังนั้นเมื่อผู้รับบริการหรือผู้ป่วยไอหลายครั้งโดยไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล จึงทำให้มีโอกาสที่พบจำนวนแบคทีเรียในอากาศมากขึ้นตามไปด้วย[6, 32] สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้ที่มารับบริการกับจำนวนเชื้อราในอากาศ ผลการศึกษาครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรดังกล่าวนั้น อาจเนื่องจากแหล่งกำเนิดของเชื้อราส่วนใหญ่มาจากสภาพแวดล้อมทั่วไป ดังจะเห็นได้จากผลการวิจัยในครั้งนี้และการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าแหล่งกำเนิดหลักของเชื้อรามาจากนอกอาคาร[5, 32, 60] แม้ว่าแหล่งกำเนิดของเชื้อราจะมาจากนอกอาคารแต่การที่บริเวณของแผนกต่างๆ มีการเปิดประตูเข้า-ออกหลายครั้ง และบางครั้งก็มีการเปิดประตูค้างไว้ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบริเวณที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์และแบบแยกส่วนโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีจำนวนผู้รับบริการและผู้ให้บริการต่อวันของหน่วยงานมาก อาจเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้อากาศจากนอกอาคารมีการถ่ายเทเข้าไปภายในอาคารได้ทำให้เชื้อราในอากาศมีจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย และในส่วนห้องที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติด้วยลักษณะห้องที่ต้องมีการเปิดประตูและหน้าต่างเพื่อให้อากาศภายในห้องเกิดการถ่ายเท จึงมีส่วนทำให้เชื้อราจากนอกสามารถเข้าสู่ภายในอาคารได้เช่นกัน นอกจากนี้จากการสังเกตของผู้วิจัยพบว่าบางแผนกของการวิจัยครั้งนี้โดยเฉพาะแผนกฉุกเฉินที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์มีเชื้อราอยู่บนฝ้าเพดานที่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจนด้วย ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เชื้อราเกิดการฟุ้งกระจายภายในห้องนั้นได้

2. ตัวแปรที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

อุณหภูมิ จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน และสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน ไม่พบความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ทั้งนี้ในส่วนของอุณหภูมิผลการศึกษาเป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาบางส่วนที่ผ่าน เช่น การศึกษาในประเทศสิงคโปร์ที่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ห้องจ่ายยา[6] และการศึกษาในโรงพยาบาลในประเทศไทยที่พบว่าจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ [48] และไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวที่หออภิบาลผู้ป่วยหนักอายุรกรรม[5] ทั้งนี้การไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจ

เนื่องจากแบคทีเรียและเชื้อราแต่ละชนิดมีช่วงอุณหภูมิแตกต่างกันสำหรับการเจริญเติบโต ซึ่งส่งผลต่อจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศบริเวณนั้นได้

ตัวแปรจำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการต่อวันของหน่วยงาน ไม่พบความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ น่าจะมีสาเหตุมาจาก 1) การมีจำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อที่มารับบริการเฉลี่ยต่อวันในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับจำนวนผู้มารับบริการทั้งหมดที่ประกอบด้วยผู้ป่วยวัณโรคที่ไม่ได้อยู่ในระยะแพร่เชื้อของแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคและผู้ป่วยด้วยโรคอื่นของแผนกฉุกเฉิน ดังนั้นแม้ว่าเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศจะมีความสัมพันธ์กับกิจกรรมและจำนวนคน แต่การมีผู้ป่วยวัณโรคในจำนวนน้อยดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงทำให้ไม่เป็นปัจจัยเสริมให้มีความสัมพันธ์กับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ 2) การมีมาตรการและแนวปฏิบัติในประเด็นของการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อวัณโรค เช่น การวางระบบการส่งต่อการบริการเมื่อพบผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อ การกำหนดแนวปฏิบัติสำหรับผู้ป่วยวัณโรคที่ชัดเจน เช่น การให้ผู้ป่วยวัณโรคใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (ผ้าปิดปากและจมูก (surgical mask)) การกำหนดจุดสำหรับรอรับบริการที่มีแสงแดดส่องถึง รวมทั้งการดำเนินการตามมาตรฐานโรงพยาบาลและบริการสุขภาพที่มีการติดตามตรวจสอบจากหน่วยงานภายในและนอกอย่างสม่ำเสมอ ดังเช่นผลการวิจัยในครั้งนี้ที่พบว่าทุกแผนกมีระดับสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงานอยู่ในระดับดี เนื่องจากสถานพยาบาลทุกแห่งได้มีการดำเนินการตามแนวทางการควบคุมและป้องกันโรคที่สอดคล้องมาตรฐานโรงพยาบาลและบริการสุขภาพ ดังนั้นจึงทำให้ไม่เกิดความแตกต่างของระดับสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงานในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคกับจำนวนแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ

5.3 ปัญหาและข้อจำกัดการวิจัย

5.3.1 การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบ cross-sectional study และมีการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศเพียงครั้งเดียว อาจทำให้โอกาสตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศได้น้อย ซึ่งผู้วิจัยได้แก้ไขโดยการเลือกวันที่มีผู้ป่วยวัณโรคมารับบริการมากที่สุด โดยพิจารณาจากข้อมูลการนัดและประวัติการรับบริการในอดีตของหน่วยงาน

5.3.2 การวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศ มีบางแผนกไม่สะดวกให้วัด CO_2 ในช่วงที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศ ซึ่งผู้วิจัยได้แก้ไขด้วยการวัด CO_2ในช่วงที่แผนกดังกล่าวสะดวกแทน โดยเลือกช่วงที่มีสภาพแวดล้อมใกล้เคียงกับช่วงที่มีการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศมากที่สุด

5.3.3 การวิจัยครั้งนี้มีจำนวนบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศน้อย ทำให้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณเชื้อวัณโรคในอากาศได้ ซึ่งผู้วิจัยได้แก้ไขโดยการวิเคราะห์หาความแตกต่างกันระหว่างสถานที่ตรวจพบและไม่พบเชื้อวัณโรคในอากาศแทน แต่ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณที่ตรวจพบเชื้อวัณโรคในอากาศมีจำนวนน้อย ดังนั้นการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้นจึงเป็นเพียงการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงแนวโน้มความแตกต่าง

5.3.4 ค่าประมาณระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ (Estimated time for exposure to an *M. tuberculosis* infective dose) ของการวิจัยครั้งนี้ เป็นเพียงข้อมูลแสดงถึงระยะเวลาสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้เท่านั้น เนื่องจากการป่วยเป็นวัณโรคจะขึ้นอยู่กับลักษณะส่วนบุคคลร่วมด้วย แต่ผลจากการวิจัยครั้งนี้สามารถนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางเกี่ยวกับการกำหนดระยะเวลาสำหรับการปฏิบัติงานหรือการอยู่ในบริเวณที่มีลักษณะสิ่งแวดล้อมใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ เพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อในปริมาณที่สามารถก่อโรคได้ของบุคลากรทางการแพทย์

5.4 ข้อเสนอแนะการวิจัย

5.4.1 ข้อเสนอแนะต่อหน่วยงานของสถานพยาบาลและข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. สถานพยาบาลควรมีการตรวจประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ เช่น การวัดอัตราการหมุนเวียนอากาศและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ เช่น เชื้อวัณโรคแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ อย่างน้อยปีละ 1-2 ครั้ง ในแผนกที่มีความเสี่ยงต่อการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค โดยเฉพาะแผนกผู้ป่วยนอกคลินิกวัณโรคบริเวณที่มีการเก็บเสมหะ และบริเวณแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค นอกจากนี้ควรมีการระบุประเภทของสิ่งแวดล้อมที่ต้องตรวจเหล่านี้ไว้ในมาตรฐานโรงพยาบาลและบริการสุขภาพอย่างชัดเจน เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้อาจเป็นตัวบ่งชี้ความเสี่ยงต่อการสัมผัสเชื้อวัณโรคในอากาศของบุคลากรทางการแพทย์ที่ปฏิบัติงานในสถานพยาบาลอีกทางหนึ่งด้วย

2. ผลการวิจัยครั้งพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศของสถานพยาบาลส่วนใหญ่มีค่าเกินค่ามาตรฐานซึ่งเป็นค่าแนะนำจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารของ ACGIH[8] สะท้อนให้เห็นว่ามาตรการป้องกันและควบคุมจุลินทรีย์ในอากาศของสถานพยาบาลยังคงเป็นปัญหาที่ควรได้รับการพิจารณาแก้ไข

3. บริเวณที่มีการเก็บเสมหะจากผู้ป่วยวัณโรคควรเป็นบริเวณเฉพาะที่มีอัตราการหมุนเวียนอากาศเพียงพอ (มีอัตราการหมุนเวียนอากาศผ่านตามค่ามาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์[24] และค่ามาตรฐานของ ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008)[25] และควรมีการควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่า 65% (ผ่านตามค่ามาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในอาคารของ ASHRAE Standard 62.1-2013)[35]

3. บริเวณที่มีการใช้เครื่องปรับอากาศ ควรมีการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้เครื่องปรับอากาศทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทอากาศและการควบคุมอุณหภูมิและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณดังกล่าวของหน่วยงานในสถานพยาบาล

5.4.2 ข้อเสนอแนะสำหรับนักวิจัยในการทำวิจัยต่อไป ดังนี้

1. การศึกษาเรื่องระยะเวลาการพักบริเวณที่ให้บริการทางแพทย์ก่อนให้บริการครั้งต่อไป โดยเฉพาะบริเวณที่มีผู้ป่วยวัณโรคในระยะแพร่เชื้อมารับบริการ

2. การศึกษาเปรียบเทียบผลของการดำเนินการตามมาตรการเกี่ยวกับการควบคุมด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อัตราการหมุนเวียนอากาศ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ การควบคุมแหล่งกำเนิดของแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ ตลอดจนการควบคุมสิ่งแวดล้อมหรือทางผ่าน และการควบคุมป้องกันระดับบุคคล เพื่อลดจำนวนเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศระหว่างกลุ่มศึกษาและกลุ่มควบคุม

รายการอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. Klepeis N.E, Nelson W.C, Ott W.R, Robinson J.P, Tsang A.M, Switzer P, et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. J Expo Anal Environ Epidemiol. 2001;11(3):231-52.

2. สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. คู่มือการปฏิบัติงานเพื่อการตรวจประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคาร สำหรับเจ้าหน้าที่. นนทบุรี: สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข; 2559.

3. วีรานุช หลาง. จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2554.

4. ดำรงศักดิ์ ร่มเย็น. ความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มอาการป่วยเหตุอาคารของผู้ปฏิบัติงานพยาบาลในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2557.

5. ประวิตร ชัยวิสิทธิ์, ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์, ดำรงศักดิ์ ร่มเย็น, ฐิติวร ชูสง. Bioaerosols assessment in the Intensive care unit of a tertiary care hospital. Songkla Med J. 2559;34(1):11-25.

6. Obbard J.P, Fang L.S. Airborne Concentrations of Bacteria in a Hospital Environment in Singapore. Water, Air, and Soil Pollution. 2003;144(1):333-41.

7. Liao C.M, Luo W.C. Use of temporal/seasonal- and size-dependent bioaerosol data to characterize the contribution of outdoor fungi to residential exposures. Sci Total Environ. 2005;347(1-3):78-97.

8. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Guidelines for the assessment of bioaerosols in the indoor environment. Cincinnati: ACGIH; 1989.

9. ศิริพร ศรีเทวิณ, กาญจนา นาถะพินธุ. การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในบรรยากาศในโรงพยาบาลขนาดที่แตกต่างกัน. วารสารวิจัย มข (บศ). 2555;12(1):92.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

10. World Health Organization. Global tuberculosis report 2016. Geneva: World Health Organization; 2016.

11. Baussano I, Nunn P, Williams B, Pivetta E, Bugiani M, Scano F. Tuberculosis among health care workers. Emerg Infect Dis. 2011;17(3):488-94.

12. Dimitrova B, Hutchings A, Atun R, Drobniewski F, Marchenko G, Zakharova S, et al. Increased risk of tuberculosis among health care workers in Samara Oblast, Russia: analysis of notification data. Int J Tuberc Lung Dis. 2005;9(1):43-8.

13. Joshi R, Reingold A.L, Menzies D, Pai M. Tuberculosis among health-care workers in low- and middle-income countries: a systematic review. PLoS medicine. 2006;3(12):e494.

14. Klimuk D, Hurevich H, Harries A.D, Babrukevich A, Kremer K, Van den Bergh R, et al. Tuberculosis in health care workers in Belarus. Public Health Action. 2014;4(Suppl 2):S29-33.

15. O'Donnell M.R, Jarand J, Loveday M, Padayatchi N, Zelnick J, Werner L, et al. High incidence of hospital admissions with multidrug-resistant and extensively drug-resistant tuberculosis among South African health care workers. Ann Intern Med. 2010;153(8):516-22.

16. Sissolak D, Bamford C.M, Mehtar S. The potential to transmit Mycobacterium tuberculosis at a South African tertiary teaching hospital. Int J Infect Dis. 2010;14(5):e423-8.

17. Bamford C.M, Taljaard J.J. Potential for nosocomial transmission of multidrug-resistant (MDR) tuberculosis in a South African tertiary hospital. S Afr Med J. 2010;100(7):438-41.

18. Jensen P.A, Lambert L.A, Iademarco M.F, Ridzon R. Guidelines for preventing the transmission of Mycobacterium tuberculosis in health-care settings, 2005. MMWR Recomm Rep. 2005;54(RR-17):1-141.

19. วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี. ระบาดวิทยาของวัณโรคจากการประกอบอาชีพ ในบุคลากรด้านการแพทย์. จุฬาลงกรณ์เวชสาร. 2546;4(5):353-67.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

20. Chen P.S, Li C.S. Concentration profiles of airborne mycobacterium tuberculosisin a hospital. Aerosol Sci Tech. 2008;42(3):194-200.

21. Hubad B, Lapanje A. Inadequate hospital ventilation system increases the risk of nosocomial Mycobacterium tuberculosis. J Hosp Infect. 2012;80(1):88-91.

22. Matuka O, Singh T.S, Bryce E, Yassi A, Kgasha O, Zungu M, et al. Pilot study to detect airborne Mycobacterium tuberculosis exposure in a South African public healthcare facility outpatient clinic. J Hosp Infect. 2015;89(3):192-6.

23. American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution. Designation: E 741 [Internet]. 2009 [cited 2016 Oct 25]. Available from: ftp://185.72.26.245/Astm/1/Section%2004/ASTM0411/PDF/E736.pdf.

24. คณะอนุกรรมการมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศในคณะกรรมการสาขาวิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมป์. มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ Air conditioning and ventilation Standaed. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมป์; 2559.

25. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2008. ASHRAE/ASHE Standard. Ventilation Standard For Health Care Facilities. Georgia: ASHRAE; 2008.

26. จริยา แสงสัจจา, ทรงยศ ภารดี. คู่มือการปรับปรุงคุณภาพอากาศภายในอาคารสถานพยาบาล. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ; 2550.

27. Streifel A.J, Henrickson C. Assessment of Health Risks Related to Construction, Minimizing the threat of infection from construction-induced air pollution in health-care facilities. HPAC Engineering. 2002:27-32.

28. Ariya P.A, Amyot M. New Directions: The role of bioaerosols in atmospheric chemistry and physics. Atmos Environ. 2004;38(8):1231-2.

29. Sharma P.D. Environmental Microbology. Alpha Science International Ltd.: Harrow; 2005.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

30. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Health hazard evaluation report: evaluation of indoor environmental quality and health concerns in a public university. By Page E, Broadwater K, Burr G. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH HHE ; 2016 Report No. 2015-0118-3249.

31. พรทิพย์ ศรีแดง. ชีววิทยา และ จุลชีววิทยาเบื้องต้นสำหรับวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 3. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์; 2556.

32. Prussin A.J, Marr L.C. Sources of airborne microorganisms in the built environment. Microbiome. 2015;3:78.

33. Dancer S.J. The role of environmental cleaning in the control of hospital-acquired infection. J Hosp Infect. 2009;73(4):378-85.

34. The Victorian WorkCover Authority (WorkSafe Victoria). Compliance code Workplace amenities and work environment. Melbourne: WorkSafe Victoria; 2008.

35. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, Georgia: ASHRAE; 2013.

36. Institute of Environmental Epidemiology. Guidelines for good indoor air quality in office premises. Singapore: Institute of Environmental Epidemiology; 1996.

37. สำนักวัณโรค กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. แนวทางการดำเนินงานควบคุมวัณโรคแห่งชาติ พ.ศ. 2556. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึกในพระบรมราชูปถัมภ์; 2556.

38. สำนักวัณโรค กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. หลักสูตรการอบรมแนวทางการดำเนินงานควบคุมวัณโรคแห่งชาติ สำหรับเจ้าหน้าที่คลินิกวัณโรคและผู้ประสานงานวัณโรคโรงพยาบาล แบบเรียนรู้. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด; 2557.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

39. Cole E.C, Cook C.E. Characterization of infectious aerosols in health care facilities: an aid to effective engineering controls and preventive strategies. Am J Infect Control. 1998;26(4):453-64.

40. Tang J.W, Li Y, Eames I, Chan P.K, Ridgway G.L. Factors involved in the aerosol transmission of infection and control of ventilation in healthcare premises. J Hosp Infect. 2006;64(2):100-14.

41. Fitzgerald D.W, Timothy R.S, Haas D.W. Mycobacterium tuberculosis. In: Bennett J.E, Dolin R, Blaser J.M editors. Principles and practice of infectious diseases. 8th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2015.

42. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Core Curriculum on Tuberculosis: What the Clinician Should Know. 6th edition. Atlanta, Georgia: CDC; 2013.

43. Yanai H, Limpakarnjanarat K, Uthaivoravit W, Mastro T.D, Mori T, Tappero J.W. Risk of Mycobacterium tuberculosis infection and disease among health care workers, Chiang Rai, Thailand. Int J Tuberc Lung Dis. 2003;7(1):36-45.

44. วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี, นรินทร์ หิรัญสุทธิกุล, ภิรมย์ กมลรัตนกุล. วัณโรคในบุคลากรด้านการพยาบาล ณ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ระหว่างปี ๒๕๓๑-๒๕๔๕. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2547;13(4):672-81.

45. Jiamjarasrangsi W, Hirunsuthikul N, Kamolratanakul P. Tuberculosis among health care workers at King Chulalongkorn Memorial Hospital, 1988-2002. Int J Tuberc Lung Dis. 2005;9(11):1253-8.

46. Khawcharoenporn T, Apisarnthanarak A, Sangkitporn S, Rudeeaneksin J, Srisungngam S, Bunchoo S, et al. Tuberculin Skin Test and QuantiFERON((R))-TB Gold In-Tube Test for Diagnosing Latent Tuberculosis Infection among Thai Healthcare Workers. Jpn J Infect Dis. 2016;69(3):224-30.

47. Godish T, Davis W.T, Fu J.S. Air Quality. 5th edition. Florida: Taylor & Francis Group, LLC; 2015.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

48. ศรัญญู คำภาบุตร. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายอากาศและปริมาณจุลินทรีย์ในอากาศภายในโรงพยาบาล [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต] กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2552.

49. ปุญญานิช บริเวธานันท์. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและเชื้อราในอากาศของโรงพยาบาลในเขตปริมณฑล [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.

50. Jiamjarasrangsi W, Bualert S, Chongthaleong A, Chaindamporn A, Udomsantisuk N, Euasamarnjit W, et al. Inadequate ventilation for nosocomial tuberculosis prevention in public hospitals in Central Thailand. Int J Tuberc Lung Dis. 2009;13(4):454-9.

51. Menzies D, Fanning A, Yuan L, FitzGerald J.M. Factors associated with tuberculin conversion in Canadian microbiology and pathology workers. Am J Respir Crit Care Med. 2003;167(4):599-602.

52. วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์. เอกสารการสอนชุดวิชาสุขศาสตร์อุตสาหกรรม: การประเมิน หน่วย 11-15 (54113): หน่วยที่ 12 การประเมินสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 4. นนทบุรี: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช; 2555.

53. Maier R.M, Pepper I.L, Gerba C.P. Environmental microbiology. 2nd edition. California: Academic Press; 2009.

54. Li K. Molecular comparison of the sampling efficiency of four types of airborne bacterial samplers. Sci Total Environ. 2011;409(24):5493-8.

55. ธงชัย แก้วพินิจ. เซลล์ ชีวโมเลกุล และการประยุกต์. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด บีนเฮด มีเดีย; 2558.

56. Arya M, Shergill I.S, Williamson M, Gommersall L, Arya N, Patel H.R. Basic principles of real-time quantitative PCR. Expert Rev Mol Diagn. 2005;5(2):209-19.

57. วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี, สุรัตน์ บัวเลิศ, อนันต์ จงเถลิง, อริยา จินดามพร, นิพนธ์ อุดมสันติสุข, วิภา เอื้อสมานจิต, และคณะ. การประเมินความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อวัณโรค ในโรงพยาบาลเขต

ภาคกลาง. กรุงเทพฯ; สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.); 2549. สัญญาเลขที่ 48-00-063. 2549.

58. Malaithao K, Kalambaheti T, Worakhunpiset S, Ramasoota P. Evaluation of an electronic air filter for filtrating bacteria and viruses from indoor air. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2009;40(5):1113-20.

59. Kim K.Y, Kim Y.S, Kim D. Distribution Characteristics of Airborne Bacteria and Fungi in the General Hospitals of Korea. Industrial Health. 2010;48(2):236-43.

60. Kim K.Y, Kim C.N. Airborne microbiological characteristics in public buildings of Korea. Build Environ. 2007;42(5):2188-96.

61. Goudarzi G., Soleimani Z., Sadeghinejad B., Alighardashi M., Latifi S.M., Moradi M. Visiting Hours Impact on Indoor to Outdoor Ratio of Fungi Concentration at Golestan University Hospital in Ahvaz, Iran. Environ Pollut. 2017;6(1):62-9.

62. จุฑาภาส สายโอให้. การกระจายตัวของละอองลอยชีวภาพและฝุ่นละอองตามระดับความสูงและผลต่อแกนกลั่นตัวของเมฆ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2559.

63. Mirzaei R, Shahriary E, Qureshi M.I, Rakhshkhorshid A, Khammary A, Mohammadi M. Quantitative and qualitative evaluation of bio-aerosols in surgery rooms and emergency department of an educational hospital. Jundishapur J Microbiol. 2014;7(10):e11688.

64. Cabo Verde S, Almeida S.M, Matos J, Guerreiro D, Meneses M, Faria T, et al. Microbiological assessment of indoor air quality at different hospital sites. Rec. Microbiol. 2015;166(7):557-63.

65. งานประเมินเทคโนโลยีทางการแพทย์ กลุ่มมาตรฐานและประเมินเทคโนโลยี กองวิศวกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข. การประเมินระบบการปรับอากาศและระบายอากาศในห้องแยกของโรงพยาบาลชุมชนในเขตภาคกลาง. วารสารวิศวกรรมการแพทย์ กองวิศวกรรมการแพทย์. 2558:16-21.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

66. Park D-U, Yeom J-K, Lee W.J, Lee K-M. Assessment of the Levels of Airborne Bacteria, Gram-Negative Bacteria, and Fungi in Hospital Lobbies. Int J Environ Res Public Health. 2013;10(2):541-55.

67. Cochran W.G. Sampling Techiques. New York John Wiley & Sons. Inc; 1953.

68. Tuberculosis Coalition for Technical Assistance (TBCTA). IMPLEMENTING the WHO Policy on TB Infection Control in Health-Care Facilities, Congregate Settings and Households. Geneva: World Health Organization; 2009.

69. Philipp W.J, Poulet S, Eiglmeier K, Pascopella L, Balasubramanian V, Heym B, et al. An integrated map of the genome of the tubercle bacillus, Mycobacterium tuberculosis H37Rv, and comparison with Mycobacterium leprae. Proc Natl Acad Sci U S A. 1996;93(7):3132-7.

70. Rienthong D, Ajawatanawong P, Rienthong S, Smithtikarn S, Akarasewi P, Chaiprasert A, et al. Restriction fragment length polymorphism study of nationwide samples of Mycobacterium tuberculosis in Thailand, 1997-1998. Int J Tuberc Lung Dis. 2005;9(5):576-81.

71. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Interim Laboratory Biosafety Guidance for Extensively Drug-Resistant (XDR) Mycobacterium Tuberculosis strains [Internet]. 2012 [cited 2015 Oct 1]. Available from: https://www.cdc.gov/tb/topic/laboratory/biosafetyguidance_xdrtb.htm.

72. William D. McArdle, Frank I. Katch, Victor L. Katch. Essential of exercise physiology. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.

73. William D. McArdle, Frank I. Katch, Victor L. Katch. Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance. 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.

74. UNITAID. Tuberculosis diagnostics technology and market landscape 2nd ed. Geneva: UNITAID Secretariat. World Health Organization; 2013.

75. Kyte L, Kleyn J, Scoggins H, Bridgen M. Plants from Test Tubes: An Introduction to Micropropogation. 4th ed. London: Timber Press, Inc.; 2013.

76. Fang Z, Ouyang Z, Zheng H, Wang X, Hu L. Culturable airborne bacteria in outdoor environments in Beijing,China. Microbial ecology. 2007;54(3):487-96.

77. Maldonado G, Greenland S. Simulation study of confounder-selection strategies. Am J Epidemiol. 1993;138(11):923-36.

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงสหสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาด
กับตัวแปรต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางแสดงสหสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัดแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศแยกขนาด กับตัวแปรต่างๆ

ตัวแปร	ขนาดแบคทีเรีย[a]			ขนาดเชื้อรา[a]		
	0.65-2.1µm	2.1-4.7µm	4.7->7µm	0.65-2.1µm	2.1-4.7µm	4.7->7µm
อัตราการหมุนเวียนอากาศ	-0.784**	-0.811**	-0.814**	-0.816**	-0.840**	-0.768**
(ชั่วโมง$^{-1}$)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
อุณหภูมิ	-0.086	-0.012	-0.136	-0.117	0.014	0.024
(องศาเซลเซียส)	0.395	0.908	0.180	0.248	0.893	0.815
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์	0.282**	0.317**	0.239*	0.259**	0.342**	0.271**
(%)	0.005	0.001	0.017	0.010	0.001	0.007
สภาพการดำเนินการตาม	-0.081	-0.149	-0.128	-0.177	-0.156	-0.145
มาตรการควบคุมป้องกัน	0.427	0.141	0.206	0.079	0.122	0.152
การแพร่กระจายเชื้อวัณโรค						
(คะแนน)						
จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ใน	-0.106	-0.020	-0.140	-0.181	-0.102	-0.241*
ระยะแพร่เชื้อต่อวันที่มารับ	0.297	0.847	0.166	0.074	0.316	0.016
บริการของหน่วยงาน (คน)						
จำนวนครั้งการไอที่ไม่ใช้	0.125	0.104	-0.013	-0.040	0.006	-0.127
อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วน	0.219	0.306	0.901	0.694	0.953	0.209
บุคคลต่อวันของผู้มารับ						
บริการ (ครั้ง)						
จำนวนคนที่มารับบริการ	0.287**	0.213*	0.323**	0.284**	0.205*	0.206*
และให้ บริการต่อวันของ	0.004	0.034	0.001	0.004	0.041	0.040
หน่วยงาน (คน)						

สถิติทดสอบ Spearman Rank Correlation

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

[a] cfu/m^3 คือ Colony forming unit per cubic meter

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

แบบสอบถาม และแบบบันทึกสำหรับผู้วิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. แบบประเมินสภาพการดำเนินการตามมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน **เลขที่** | | |

คำชี้แจง วัตถุประสงค์ของแบบประเมิน เพื่อประเมินมาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระบบระบายอากาศ และข้อมูลผู้รับบริการและให้บริการ ของหน่วยงาน

คำจำกัดความ หน่วยงาน หมายถึง แผนกฉุกเฉิน แผนกผู้ป่วยนอกคลีนิกวัณโรค ห้องสส่องกล้องระบบทางเดิน หายใจ และแผนกผู้ป่วยในสำหรับผู้ป่วยวัณโรค

หลักฐานหรือข้อมูล หมายถึง เอกสารในรูปแบบสิ่งพิมพ์ การจดบันทึก เอกสารอิเลคทรอนิกฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์ ฯลฯ

วันเดือนปีตอบแบบสอบถาม ……/……/…… ❑ หัวหน้าหน่วยงาน ❑ รองหัวหน้าหน่วยงาน ❑ ผู้รับชอบงานควบคุมการติดเชื้อ ❑ (ระบุ)……

โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน ❑ ที่ตรงกับคำตอบของท่าน และระบุรายละเอียดเพิ่มเติมในช่อง **หลักฐานหรือข้อมูล**

มาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน	ใช่	ไม่ใช่	หลักฐานหรือข้อมูล
1) หน่วยงานท่านมีแต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมการติดเชื้อหรือมีการมอบหมายเจ้าหน้าที่รับผิดชอบควบคุมการติดเชื้อเป็นลายลักษณ์อักษร	❑	❑	
2) หน่วยงานท่านมีนโยบายควบคุมการติดเชื้ออย่างชัดเจน มีลายลักษณ์อักษร	❑	❑	
3) หน่วยงานท่านมีแผนปฏิบัติการควบคุมการติดเชื้อ เป็นลายลักษณ์อักษร	❑	❑	
4) แผนปฏิบัติการของหน่วยงานท่านในข้อ 3 ถูกบรรจุเป็นส่วนหนึ่งของแผนปฏิบัติการของสถานพยาบาล	❑	❑	
5) หน่วยงานท่านได้รับการจัดสรรงบประมาณและวัสดุอุปกรณ์เพียงพอต่อการควบคุมการติดเชื้อ	❑	❑	
6) จากข้อ 5 งบประมาณและวัสดุสิ่งของควบคุมการติดเชื้อ นำมาใช้ประโยชน์ในการควบคุมการติดเชื้อวัณโรคด้วย	❑	❑	
7) หน่วยงานท่านบรรจุกิจกรรมการฝึกอบรมการควบคุมการติดเชื้อไว้ในแผนปฏิบัติการด้วย	❑	❑	
8) ในปีงบประมาณ 2557-2558 บุคลากรของหน่วยงานท่านทุกคนได้รับการฝึกอบรมการควบคุมการติดเชื้อ	❑	❑	
9) หน่วยงานท่านมีกำหนดตัวชี้วัดความสำเร็จกิจกรรมควบคุมการติดเชื้อ	❑	❑	
10) ในปีงบประมาณ 2557-2558 หน่วยงานท่านมีการประเมินความเสี่ยงการควบคุมการติดเชื้อ	❑	❑	
11) หน่วยงานท่านมีแผนการปรับปรุงระบบงานหรือปรับปรุงสถานที่เพื่อให้การควบคุมการติดเชื้ออย่างเหมาะสม	❑	❑	

มาตรการควบคุมป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของหน่วยงาน	ใช่	ไม่ใช่	หลักฐานหรือข้อมูล
12) มีระบบการเฝ้าระวังการติดเชื้อหรือการเกิดวัณโรคของบุคลากรในหน่วยงานท่าน	❑	❑	
13) หน่วยงานท่านมีการให้ความรู้การควบคุมการติดเชื้อสำหรับบุคลากรในหน่วยงาน	❑	❑	
14) หน่วยงานท่านมีการให้ความรู้การควบคุมการติดเชื้อสำหรับผู้ป่วยและญาติ	❑	❑	
15) หน่วยงานท่านทำการศึกษาวิจัย หรือ มีส่วนร่วมในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมการติดเชื้อ โดยไม่นับรวมถึงการศึกษาวิจัยในครั้งนี้	❑	❑	
16) หน่วยงานท่านมีแผนการคัดกรองอย่างเป็นระบบสำหรับผู้ป่วยมีอาการไอ	❑	❑	
17) หน่วยงานท่านมีการดำเนินการตามแผนการคัดกรองอย่างเป็นระบบสำหรับผู้ป่วยมีอาการไอ	❑	❑	
18) หน่วยงานท่านจะทำการการแยกผู้ป่วยที่มีอาการไอออกจากผู้ป่วยอื่นโดยเร็ว	❑	❑	
19) ผู้ป่วยสงสัยหรือวินิจฉัยเป็นเป็นวัณโรคถูกแยกจากผู้ป่วยสงสัยหรือวินิจฉัยเป็นผู้ติดเชื้อเอชไอวี	❑	❑	
20) หน่วยงานท่านมีระบบช่องทางด่วนสำหรับผู้ป่วยวัณโรคเสมหะบวก เพื่อลดระยะเวลาอยู่ในหน่วยงานท่าน	❑	❑	
21) หน่วยงานท่านมีการแจ้งเตือนมารยาทในการไอแก่ผู้ป่วยและญาติที่มาใช้บริการ	❑	❑	
22) หน่วยงานท่านมีแผนเกี่ยวกับการจัดให้มีหน้ากากอนามัย กระดาษทิชชู ไว้บริการผู้ป่วยมีอาการไอ	❑	❑	
23) หน่วยงานท่านมีการดำเนินการตามแผนเกี่ยวกับการจัดให้มีหน้ากากอนามัย กระดาษทิชชู ไว้บริการผู้ป่วยมีอาการไอ	❑	❑	
24) หน่วยงานท่านมีระบบการคัดกรองวัณโรคสำหรับบุคลากรอย่างเป็นระบบ	❑	❑	
25) หน่วยงานท่านมีการดำเนินการตามระบบการคัดกรองวัณโรคสำหรับบุคลากร	❑	❑	
26) หน่วยงานของท่านอนุญาตให้บุคลากรที่ติดเชื้อเอชไอวีสามารถเลือกที่หลีกเลี่ยงทำงานในพื้นที่เสี่ยงสูงต่อการติดเชื้อฉวยโอกาสอย่างวัณโรคได้	❑	❑	
27) หน่วยงานของท่านมีการใช้เครื่องกรองประสิทธิภาพสูงหรือไม่ (HEPA filter) ถ้าตอบใช่ติดตั้งเมื่อ พ.ศ.	❑	❑	
28) หน่วยงานท่านมีการใช้งานหลอดไฟฟ้าอัลตร้าไวโอเลต ถ้าตอบใช่ติดตั้งเมื่อ พ.ศ.	❑	❑	
29) หน่วยงานท่านมีแผนเกี่ยวกับการใช้หน้ากากกรองอากาศ (respirator) เช่น N95 หรือ FPP2 สำหรับบุคลากรในการปฏิบัติงาน	❑	❑	
30) เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานท่านใช้หน้ากากกรองอากาศ (respirator) เช่น N95 หรือ FPP2 สำหรับบุคลากรในการปฏิบัติงาน	❑	❑	

31) หน่วยงานท่านใช้ระบบระบายอากาศ ❑ อากาศธรรมชาติ

❑ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ติดตั้งเมื่อ พ.ศ. .....

❑ มีพัดลมระบายอากาศ ติดตั้งเมื่อ พ.ศ. .....

❑ ไม่มีพัดลมระบายอากาศ

❑ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ติดตั้งเมื่อ พ.ศ. .....

❑ มีพัดลมระบายอากาศ ติดตั้งเมื่อ พ.ศ. .....

❑ ไม่มีพัดลมระบายอากาศ

32) จำนวนผู้ป่วยวัณโรคที่มารับบริการของหน่วยงาน (ในช่วงเวลาที่ทำการวิจัย) **<u>ภายในวันที่ทำการวิจัย</u>**

อยู่ในระยะแพร่เชื้อ จำนวน.....คน

ไม่อยู่ในระยะแพร่เชื้อ จำนวน.....คน

ผู้ป่วยต้องสงสัย จำนวน.....คน

33) จำนวนผู้ให้บริการและผู้รับบริการต่อวัน ในบริเวณที่เก็บตัวอย่างอากาศ จำนวน .....คน

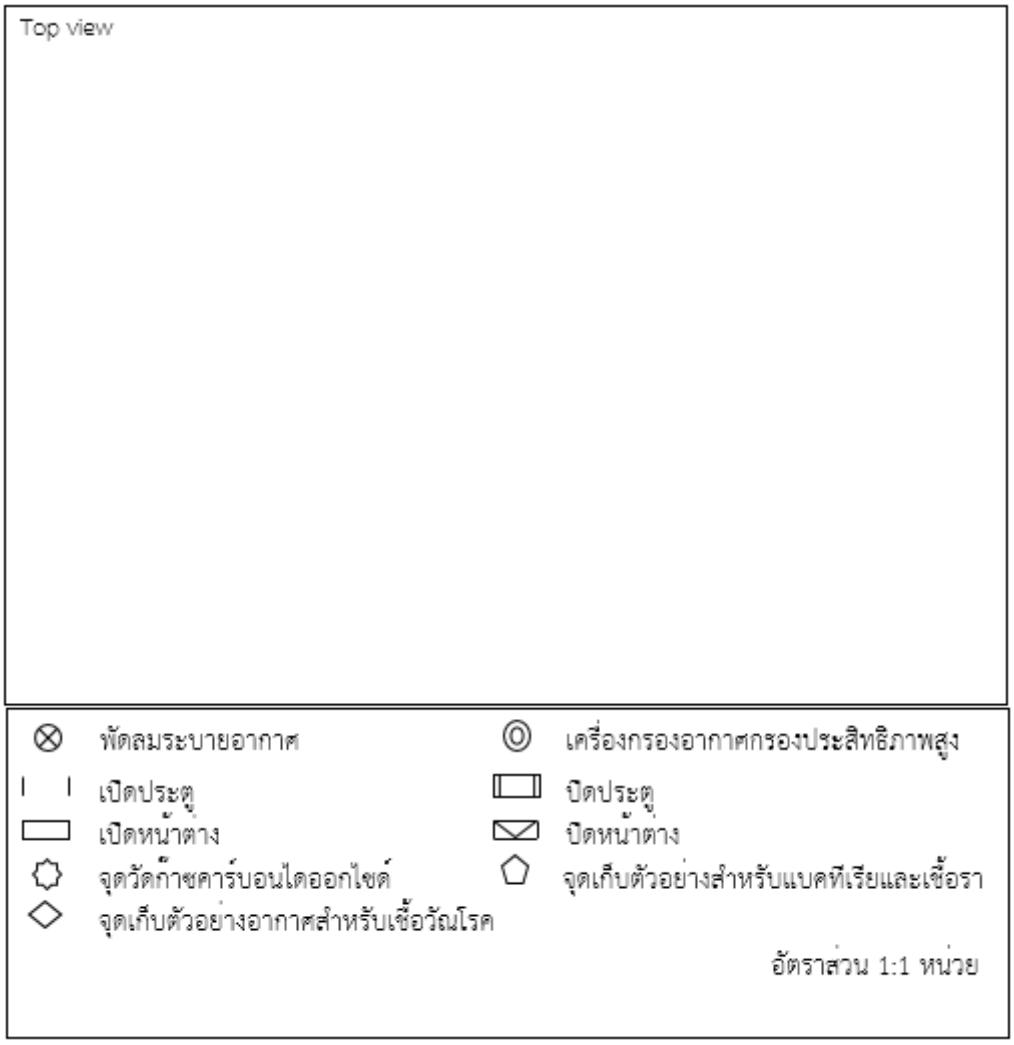
34) จำนวนครั้งการไอที่ไม่ได้ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลต่อวันของผู้มารับบริการ จำนวน .....ครั้ง

<u>จบแบบประเมิน</u> ขอขอบพระคุณท่านที่กรุณาให้ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้เป็นอย่างสูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. แบบบันทึกสำหรับผู้วิจัย มี 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แผนผังสำรวจลักษณะทางด้านสิ่งแวดล้อมของหน่วยงาน และจุดเก็บตัวอย่างสิ่งแวดล้อม ในแต่ละแผนกของสถานพยาบาล



ส่วนที่ 2 แบบบันทึกผลข้อมูล อัตราการหมุนเวียนอากาศ อุณหภูมิ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และจำนวนเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ ในแต่ละแผนกของสถานพยาบาล

รหัสสถานพยาบาล ☐☐ แผนก.....วัน/เดือน/ปี.....

บริเวณ	**อัตราการหมุนเวียนอากาศ (ชั่วโมง$^{-1}$)**	**อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)**	**ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (%)**	**จำนวนเชื้อวัณโรคและจุลินทรีย์ในอากาศ**		
				จำนวน IS *6110* ต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (copy number/m^3)	**แบคทีเรีย (cfu/m^3)[a]**	**เชื้อรา (cfu/m^3)[a]**

[a] cfu/m^3 คือ colony forming unit per cubic meter

ภาคผนวก ค

ภาพตัวอย่างประกอบการวิจัย

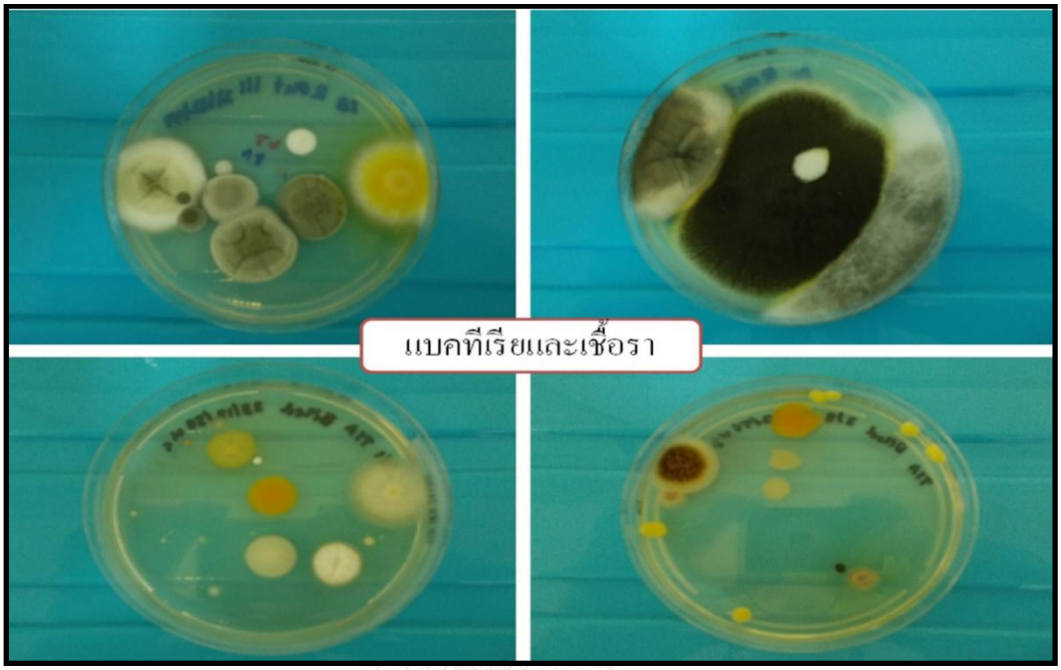
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพแสดงตัวอย่างลักษณะห้องเก็บเสมหะ

ห้องเก็บเสมหะสถานพยาบาล A (ซ้าย) ห้องเก็บเสมหะสถานพยาบาล B (ขวา)

ภาพแสดงตัวอย่างลักษณะห้องพักผู้ป่วยวัณโรค

ภาพแสดงตัวอย่างลักษณะของแบคทีเรียและเชื้อราในอากาศ



ภาพแสดงตัวอย่างลักษณะเชื้อราบนฝ้าเพดานของสถานพยาบาลบางแห่ง

ภาพแสดงตัวอย่างการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อวัณโรคของสถานพยาบาล

โดยการให้ผู้ป่วยวัณโรคที่อยู่ในระยะแพร่เชื้อใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวจามรี สอนบุตร

เกิดเมื่อวันที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2524

สำเร็จการศึกษา

1. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสาธารณสุขชุมชน

จากวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดยะลา

2. วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

จากคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

3. วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาการวิจัยและการจัดการด้านสุขภาพ

แขนงอาชีวเวชศาสตร์ จากภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม คณะแพทยศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทำงาน วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดยะลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University