ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นายอัฐพล อรุณวุฒิพงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม สหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Disinfection System for Public Transport using Aerosolized Hydrogen Peroxide

Mr. Attapol Arunwuttipong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy in Technopreneurship and Innovation Management
Inter-Department of Technopreneurship and Innovation Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
โดย	นายอัฐพล อรุณวุฒิพงศ์
สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กวิน อัศวานันท์ ดร.วิยงค์ กังวานศุภมงคล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กวิน อัศวานันท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.วิยงค์ กังวานศุภมงคล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพ. ดร.อมรพันธุ์ เสรีมาศพันธุ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไปรมา อิศรเสนา ณ อยุธยา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.จริยา บัวเจริญ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อัฐพล อรุณวุฒิพงศ์ : ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. (Disinfection System for Public Transport using Aerosolized Hydrogen Peroxide) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.สนอง เอกสิทธิ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.กวิน อัศวานันท์,ดร.วิยงค์ กังวานศุภมงคล

การใช้ระบบขนส่งสาธารณะพบว่ามีความเสี่ยงต่อการติดต่อโรคทางเดินระบบหายใจ การมีระบบฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพจะลดความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อภายในระบบขนส่งสาธารณะได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีประสิทธิภาพ โดยการวิจัยนี้ใช้ระเบียบวิจัยแบบผสมผสาน เริ่มจากการวิจัยเชิงคุณภาพด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ประกอบรถโดยสารประจำทางสาธารณะจำนวน 20 ราย เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ การทำวิจัยเชิงทดลองด้วยการพ่นฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในรถประจำทางสาธารณะจำนวน 20 คัน และการทำวิจัยเชิงปริมาณด้วยการสำรวจแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 406 รายเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม

ผลการศึกษาการวิจัยเชิงทดลองพบว่า การใช้ระยะเวลาการพ่นฆ่าเชื้อ 30 นาทีในรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่งสามารถฆ่าเชื้อสปอร์ได้ 6-log reduction ซึ่งเป็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในระดับสูง และใช้ระยะเวลาที่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวต่ำกว่าระดับ 1 ppm โดยเฉลี่ย 67 นาที และผลการสำรวจแบบสอบถามพบว่าการรับรู้ประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพฆ่าเชื้อ ด้วยการนำระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในรถขนส่งสาธารณะมีผลต่อความตั้งใจในการใช้บริการรถขนส่งสาธารณะ (X^2=16.185, p-value <0.05) และมีความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.96 จากราคาค่าโดยสารปกติ ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงเป็นระบบฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพฆ่าเชื้อสูงและมีความปลอดภัย

สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6187801520 : MAJOR TECHNOPRENEURSHIP AND INNOVATION MANAGEMENT
KEYWORD: hydrogen peroxide, aerosolized hydrogen peroxide, decontamination, surface disinfection, public transport

Attapol Arunwuttipong : Disinfection System for Public Transport using Aerosolized Hydrogen Peroxide. Advisor: Prof. Dr. SANONG EKGASIT, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. Dr. KAVIN ASAVANANT, Ph.D.,Dr. Wiyong Kangwansupamonkon, Ph.D.

This research aims to develop an effective decontamination system for public transport using aerosolized hydrogen peroxide. This study employed a mixed-methods approach. The qualitative research used in-depth interviews with 20 public bus operators to determine the factors affecting the selection of cleaning and disinfection methods. Then, experimental research was conducted using aerosolized hydrogen peroxide in 20 public buses, and the disinfection efficacy was validated. Finally, quantitative research was conducted with a survey of 406 respondents to determine the factors affecting intention to use the clean public bus and a willingness to pay a premium.

The finding showed that a 30-minute aerosolized period in a 20-seater public bus could inactivate spores by a 6-log reduction. The decomposition period of hydrogen peroxide to decompose below a concentration of 1 ppm was an average of 67 minutes. The survey finding indicated that the perceived usefulness from using enhanced disinfection as aerosolized hydrogen peroxide in the public bus had an effect on the intention to use the public bus (X^2=16.185, p-value <0.05) and willingness to pay a premium of 23.96% over the regular fare.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Technopreneurship and Innovation Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่สละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางข้อคิดเห็น และแก้ไขข้อบกพร่องตลอดในช่วงการทำวิจัยอย่างสม่ำเสมอ รวมถึง ความกรุณาที่ชี้แนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะความสำคัญของการพัฒนานวัตกรรมที่มีส่วนช่วยเหลือสังคม ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อทำงานของผู้วิจัยต่อไปในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กวิน อัศวานันท์ ดร.วิยงค์ กังวานศุภมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่สละเวลาให้คำแนะนำ แก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี และงานวิทยานิพนธ์นี้คงจะไม่สมบูรณ์ หากขาดคณะกรรมการสอบ ศาสตราจารย์ ดร.ผดุง ศักดิ์ รัตนเดโช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นพ.ดร.อมรพันธุ์ เสรีมาศพันธุ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไปรมา อิศรเสนา ณ.อยุธยา ดร.จริยา บัวเจริญ ที่ได้สละเวลาอันมีค่า ให้คำแนะนำต่างๆเพื่อให้งานวิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์มากที่สุด

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนิรันดร์ คุณแม่พรรณี อรุณวุฒิพงศ์ ผู้ที่ส่งเสริมการศึกษาของผู้วิจัยตั้งแต่วัยเด็กและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยในทุกเรื่อง ขอบคุณ ภรรยา พญ.สุปรานี อรุณวุฒิพงศ์ ที่คอยสนับสนุนอยู่เคียงข้าง และลูกสาวผู้เป็นที่รักยิ่ง ดญ. สุธันยารัศม์ อรุณวุฒิพงศ์ และ ดญ. ชนัญญ์วรัตน์ อรุณวุฒิพงศ์ ที่คอยเตือนและกระตุ้นให้ผู้วิจัยทำงานวิจัยให้สำเร็จ คุณประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยขอยกความดีให้กับคณาจารย์ และครอบครัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อัฐพล อรุณวุฒิพงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 4

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 4

1.4 ขอบเขตการวิจัย 5

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 5

1.6 กรอบแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย 6

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

บทที่ 2 8

การทบทวนวรรณกรรม 8

2.1 การทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ (Disinfection and Sterilization) 8

2.2 การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในระบบขนส่งสาธารณะ 49

2.3 การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อบนพื้นผิว 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4 วรรณกรรมเกี่ยวกับทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) และทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model) 54

บทที่ 3 56

ระเบียบวิธีวิจัย 56

3.1 ระยะที่ 1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ 56

3.2 ระยะที่ 2 การพัฒนากระบวนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ 56

3.3 ระยะที่ 3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ 62

บทที่ 4 64

ผลการวิจัย 64

4.1 ผลการวิจัยถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ 64

4.2 ผลการวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ 67

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ 75

บทที่ 5 82

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 82

5.1 สรุปและอภิปรายผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ 82

5.2 สรุปและอภิปรายผลการวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.3 สรุปและอภิปรายผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ 89

5.4 ข้อเสนอแนะ 95

บทที่ 6 97

แนวทางการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ 97

6.1 การวางแผนธุรกิจ 97

6.2 แผนธุรกิจ 107

6.3 บทสรุป 121

บรรณานุกรม 123

ภาคผนวก 141

ประวัติผู้เขียน 153

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาทำการทำลายเชื้อหรือทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการฉายรังสี... 18

ตารางที่ 2.2 ข้อดีข้อเสียของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 28

ตารางที่ 2.3 ความเป็นพิษของแก๊สโอโซนต่อมนุษย์ (Bocci, 2011)..... 48

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติการพ่นด้วยสารเคมีแต่ละชนิด (Kümin, et al., 2020)..... 52

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะเป้าหมายที่สัมภาษณ์จำนวน 20 คน 64

ตารางที่ 4.2 สารที่ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อภายในรถในพนักงานขับรถ บริษัท ธนกวี จำกัด จำนวน 10 คน 65

ตารางที่ 4.3 แสดงเวลาพ่นฆ่าเชื้อและระยะเวลาสลายตัวในรถทัวร์คันที่ 1-20..... 68

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ รถทัวร์คันที่ 1-6 69

ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ รถทัวร์คันที่ 7-20 70

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย ยีสต์ และราบนพื้นผิว ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ 71

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย ยีสต์ และราในอากาศ ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ 75

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม..... 76

ตารางที่ 4.9 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามความรู้เกี่ยวกับสุขอนามัย..... 77

ตารางที่ 4.10 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย..... 78

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม..... 79

ตารางที่ 4.12 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ทดสอบด้วยสถิติ Kruskal-Wallis..... 79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.13 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม ทดสอบด้วยสถิติ Kruskal-Wallis..... 80
ตารางที่ 6.1 ผลประกอบการกลุ่มธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ 100
ตารางที่ 6.2 ค่าตอบแทนบุคลากรในองค์กร..... 109
ตารางที่ 6.3 ต้นทุนของเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารฆ่าเชื้อ..... 112
ตารางที่ 6.4 เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตลาด 112
ตารางที่ 6.5 ราคาสารฆ่าเชื้อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตลาด..... 113
ตารางที่ 6.6 โรงงานผลิตที่ได้รับมาตรฐาน GMP วัตถุอันตราย..... 114
ตารางที่ 6.7 แสดงรายการลงทุน..... 116
ตารางที่ 6.8 ประมาณการงบกำไรขาดทุนกรณีแย่ที่สุด (worst case) 117
ตารางที่ 6.9 ประมาณการงบกำไรขาดทุนกรณีปกติ (base case) 118
ตารางที่ 6.10 ประมาณการงบกำไรขาดทุนกรณีดีที่สุด (best case) 119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB)..... 54

ภาพที่ 3.1 (A) ตัวบ่งชี้ทางเคมีก่อนสัมผัสไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แสดงแถบสีฟ้า; (B) ตัวบ่งชี้หลังสัมผัสไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเปลี่ยนสีชมพู 57

ภาพที่ 3.2 ชุดบ่งชี้ชีวภาพ 3M™ Attest™ ; (A) ตัวบ่งชี้ชีวภาพสำเร็จรูปในหลอดประกอบไปด้วยแผ่นสปอร์และอาหารเลี้ยงเชื้อ; (B) ตัวแอคติเวเตอร์ (activator); (C) เครื่องอ่านผล 3M™ Attest™ Auto-reader 490 58

ภาพที่ 3.3 (A) ตัวบ่งชี้ชีวภาพ Sterind Bio-indicator ในซองกระดาษกลาสซีน; (B) แผ่นสปอร์ในซองกระดาษกลาสซีนถูกนำไปใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Triptic soy broth..... 58

ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งการวางตัวบ่งชี้ทางชีวภาพและตัวบ่งชี้ทางเคมี ในรถทัวร์คันที่ 1-6..... 59

ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการวางตัวบ่งชี้ทางชีวภาพและตัวบ่งชี้ทางเคมี ในรถทัวร์คันที่ 7-20 59

ภาพที่ 3.6 (A) 3M™ Quick Swab; (B) 3M Petrifilm Aerobic Count Plate; (C) 3M Petrifilm Yeast and Mold Plate 60

ภาพที่ 3.7 (A) เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น; (B) เครื่องวัดความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ . 61

ภาพที่ 4.1 (A) รถทัวร์ขนาด 45 ที่นั่ง; (B) รถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่ง..... 68

ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรีย ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อในรถทัวร์คันที่ 1; (A) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (C) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (D) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ 73

ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรีย ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ ในรถทัวร์คันที่ 8; (A) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (C) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (D) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (E) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (F) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (G) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (H) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ หลังพ่นฆ่าเชื้อ 73

ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรีย ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ ในรถทัวร์คันที่ 18; (A) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (C) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (D) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (E) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (F) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (G) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (H) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ หลังพ่นฆ่าเชื้อ 74

ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบการปนเปื้อนยีสต์และรา ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ ในรถทัวร์คันที่ 8 ที่ตำแหน่งแผ่นกรองแอร์; (A) ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) หลังพ่นฆ่าเชื้อ 74

ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรียในอากาศ ในรถทัวร์คันที่ 19; (A) ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) หลังพ่นฆ่าเชื้อ 75

ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 85

ภาพที่ 5.2 กรอบแนวความคิดปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ 90

ภาพที่ 6.1 จำนวนธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อตั้งใหม่ (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2020) 99

ภาพที่ 6.2 จำนวนรถโดยสารประจำทางสาธารณะ ปี 2560-2563 (กรมการขนส่งทางบก, 2563) 103

ภาพที่ 6.3 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถประจำทางสาธารณะ ปี 2560-2563 104

ภาพที่ 6.4 โครงสร้างองค์กร บริษัท บี-คลาร์ จำกัด 108

ภาพที่ 6.5 โมเดลธุรกิจ Business Model Canvas (BMC) 110

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การระบาดของโรคติดเชื้ออุบัติใหม่ (emerging infectious diseases) ของโคโรนาไวรัสสายพันธ์ใหม่ 2019 หรือ โรคโควิด-19 (COVID-19) ซึ่งมีการพบการติดเชื้อครั้งแรกในเมืองอู่ฮั่น มณฑลหูเป่ย สาธารณรัฐประชาชนจีน ช่วงเดือนธันวาคม 2562 และต่อมามีการแพร่กระจายไปในวงกว้าง ในวันที่ 11 มีนาคม 2563 ทางองค์การอนามัยโลก ได้ประกาศให้โรคโควิด-19 เป็นโรคระบาดใหญ่ทั่วโลก (World Health Organization, 2020d) ในวันที่ 7 ธันวาคม 2563 โรคโควิด-19 มีการระบาดกว่า 200 ประเทศ มีผู้ติดเชื้อกว่า 66 ล้านคน และผู้เสียชีวิตกว่า 1.5 ล้านคน (World Health Organization, 2020c)

โรคโควิด-19 เกิดจากการติดเชื้อไวรัส Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) ซึ่งเป็นไวรัสที่มี RNA เป็นสารพันธุกรรมในตระกูล coronaviridae โดยพบเป็นสายพันธุ์ที่ 7 ที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ โดยสายพันธุ์ SARS-CoV, MERSCoV และ SARS-CoV-2 ก่อให้เกิดโรคที่รุนแรงในมนุษย์ ในขณะที่สายพันธุ์ HKU1, NL63, OC43 และ 229E ก่อให้เกิดอาการเพียงเล็กน้อย การศึกษาแหล่งที่มาของไวรัส SARS-CoV-2 จากข้อมูลรหัสพันธุกรรม เชื่อว่าไวรัส SARS-CoV-2 มีแหล่งที่มาจากสัตว์คือ ค้างคาว และมีการติดเชื้อไปยังตัวนิ่ม (pangolin) ก่อนจะมีการแพร่เชื้อมาสู่คน (Andersen, et al., 2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 เข้าสู่คนผ่านทางระบบหายใจ ก่อให้เกิดอาการได้หลายแบบ ทั้งไม่มีอาการแสดง หรือมีอาการทางระบบทางเดินหายใจส่วนบนเล็กน้อย จนถึงอาการปอดอักเสบรุนแรงและระบบหายใจล้มเหลวส่งผลให้เสียชีวิตได้ (Zhou, et al., 2020) โดยหลังจากเชื้อเข้าสู่ร่างกายคนจะมีระยะฟักตัวเฉลี่ย 5.1 วัน โดยผู้ที่ได้รับเชื้อส่วนใหญ่จะแสดงอาการภายใน 12 วัน (Lauer, et al., 2020) ผู้ที่ติดเชื้อและแสดงอาการจะมีโอกาสในการแพร่เชื้อไปยังผู้อื่นได้มาก อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ติดเชื้อที่มีอาการเพียงเล็กน้อย หรือผู้ติดเชื้อที่ไม่มีอาการ ก็สามารถที่จะแพร่เชื้อให้กับผู้อื่นได้ (Bai, et al., 2020)

การติดเชื้อโควิด-19 โดยส่วนใหญ่จะติดต่อทางตรงจากคนสู่คน ในระยะใกล้ชิด โดยผู้ติดเชื้อแพร่เชื้อให้กับผู้รับเชื้อ ทางการสัมผัส หรือผ่านการสูดดมเข้าทางจมูกหรือปากของละอองฝอยขนาดใหญ่ (droplets) จากการ ไอ จาม ของผู้ติดเชื้อ และการติดต่อทางอ้อม จากการสัมผัสมือบนวัสดุพื้นผิวที่มีการปนเปื้อนเชื้อไวรัส (fomite) แล้วสัมผัสบนใบหน้า ซึ่งการไอหรือจาม น้ำมูกหรือน้ำลายในรูปของฝอยละอองขนาดใหญ่ (droplets) ที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน จะสามารถกระจายได้ไกล 1-2 เมตร ก่อนที่จะตกลงบนพื้นผิวตามแรงโน้มถ่วงโลก อย่างไรก็ตามพบว่า การแพร่กระจายของเชื้อไวรัสสามารถแพร่ในรูปของฝอยละอองขนาดเล็ก (aerosol) ที่มีขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน ในบางสถานการณ์โดยการแพร่กระจายของฝอยละอองขนาดเล็ก จะทำให้แพร่กระจายได้ในระยะทางที่ไกลกว่า 2 เมตร และเชื้อสามารถอยู่ในอากาศได้นานกว่าปกติ มีการศึกษาพบว่า เชื้อไวรัส SARS-CoV-2 สามารถอยู่ในฝอยละอองขนาดเล็ก (aerosol) ได้นานถึง 3 ชั่วโมงและอยู่บนพื้นผิวสแตนเลสได้ 48 ชั่วโมง และพื้นผิวพลาสติกได้นาน 72 ชั่วโมง (Van Doremalen, et al., 2020)

จากข้อมูลการศึกษาผู้ติดเชื้อโควิด-19 ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2563 ถึง 7 กุมภาพันธ์ 2563 พบว่า ผู้ติดเชื้อมีอัตราการแพร่เชื้อค่าเฉลี่ย (Ro) 3.28 ซึ่งแสดงถึงอัตราที่ผู้ติดเชื้อ 1 คนจะสามารถแพร่เชื้อให้ผู้อื่นได้ถึง 3.28 คน (Liu, et al., 2020) อัตราการแพร่เชื้อที่สูง ประกอบกับยังไม่มีวัคซีนหรือยาต้านไวรัสเพื่อรักษาโรคโควิด-19 ก่อให้เกิดปัญหาทางสาธารณสุข เนื่องจากในสถานการณ์การระบาดของโรค หากจำนวนผู้ป่วยมีมากจนเกินกว่าที่ทรัพยากรทางการแพทย์ที่รองรับจะทำให้การดูแลรักษาเป็นไปด้วยความลำบาก การควบคุมโรคจึงจำเป็นต้องใช้การมาตรการกักตัวเพื่อเฝ้าระวังโรค (quarantine) การเว้นระยะห่างจากสังคม (social distancing) และการแยกผู้ติดเชื้อออกจากผู้อื่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับประเทศไทยมีการตรวจพบผู้ป่วยโรคโควิด-19 รายแรก เมื่อวันที่ 8 มกราคม 2563 โดยเป็นประเทศแรกที่มีการพบผู้ป่วยโรคโควิด-19 นอกประเทศจีน (Sookaromdee and Wiwanitkit, 2020) ผู้ป่วยโรคโควิด-19 กลุ่มแรกเป็นผู้เดินทางมาจากประเทศจีน และกลุ่มถัดมาเป็นผู้ป่วยที่ประกอบอาชีพพนักงานขับรถโดยสารนำเที่ยว ในวันที่ 3 มีนาคม 2563 ประเทศไทยมีผู้ติดเชื้อโควิด-19 จำนวนทั้งหมด 43 คน โดยเป็นการติดเชื้อในประเทศจำนวน 17 คน ในจำนวนนี้เป็นเป็นพนักงานขับรถโดยสารนำเที่ยว 4 คน คิดเป็นร้อยละ 23.53 จากจำนวนผู้ติดเชื้อในประเทศ (Yasri and Wiwanitkit, 2020)

ระบบขนส่งสาธารณะถือเป็นจุดเสี่ยงต่อการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 เนื่องจากภายในระบบขนส่งสาธารณะเป็นระบบปิด หากมีการถ่ายเทอากาศไม่ดีจะทำให้เกิดการแพร่เชื้อแบบฝอย

ละอองขนาดเล็กที่สามารถไปได้ไกลถึง 5 เมตร หรือการได้รับเชื้อผ่านทางการสัมผัสกับพื้นผิวที่ปนเปื้อนเชื้อ ทำให้การแพร่เชื้อกระจายไปสู่คนจำนวนมากได้ เช่นในกรณีการแพร่เชื้อของผู้ป่วยโรคโควิด-19 ในรถทัวร์ที่เมืองเจ้อเจียง ประเทศจีน ทำให้มีผู้ติดเชื้อจำนวน 23 คนจากจำนวนผู้โดยสารทั้งหมด 68 คนในรถคันเดียวกัน การโดยสารในรถคันเดียวกับผู้ป่วยโควิด-19 จะทำให้มีความเสี่ยงในการติดเชื้อเพิ่มขึ้น 42.2 เท่า (Shen, et al., 2020) และในกรณีที่พบผู้ติดเชื้อโควิด-19 จากการโดยสารในรถประจำทางในมณฑลหูหนาน ประเทศจีน ทำให้มีผู้ติดเชื้อในรถคันเดียวกันจำนวน 10 ราย (Luo, et al., 2020) และการโดยสารระบบขนส่งสาธารณะอื่นก็พบมีความเสี่ยงในการแพร่กระจายโรคเช่นเดียวกัน เช่น การโดยสารในรถไฟพบว่าเพิ่มความเสี่ยงในการติดโรคโควิด-19 เพิ่มขึ้น โดยความเสี่ยงขึ้นอยู่กับระยะห่างของที่นั่งจากผู้ติดเชื้อและระยะเวลาที่ใช้ในการโดยสาร (Hu, et al., 2020) การติดเชื้อจากการโดยสารในเครื่องบินที่มีผู้ป่วยโรคโควิด-19 เช่นในเที่ยวบินจากประเทศสิงคโปร์ไปยังมณฑลเจ้อเจียง ประเทศจีน ทำให้มีผู้ติดเชื้อ 12 คนจากผู้โดยสารทั้งหมด 325 คน (Yang, et al., 2020) และกรณีเที่ยวบินจากลอนดอน ประเทศอังกฤษ ไปยังเมืองฮานอย ประเทศเวียดนาม ทำให้มีการติดเชื้อไปยังผู้โดยสารและลูกเรือรวม 16 คนจากจำนวนผู้โดยสารและลูกเรือทั้งหมด 217 คน (Khanh, et al., 2020)

ในการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 จึงได้มีมาตรการในการควบคุมการแพร่ระบาด ทางรัฐบาลไทยได้ประกาศสถานการณ์ฉุกเฉินและได้มีข้อกำหนดออกตามความในมาตรา 9 ตามพระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉิน พ.ศ. ๒๕๕๘ โดยมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 26 มีนาคม 2563 โดยมีการปิดพื้นที่เสี่ยงต่อการติดโรคที่ซึ่งมีคนจำนวนมากไปทำกิจกรรมร่วมกัน เช่น สนามมวย สนามกีฬา สนามเด็กเล่น ผับ สถานที่บริการ สถานที่ออกกำลังกาย รวมถึงสถานีขนส่งหรือโดยสารร่วมด้วย (กระทรวงสาธารณสุข, 2563a)

การแพร่เชื้อโดยการสัมผัสพื้นผิวที่มีการปนเปื้อนเชื้อ พบว่าเป็นตัวกลางที่สำคัญในการแพร่เชื้อ ดังนั้นการใช้สารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อบนพื้นผิวจึงช่วยลดความสี่ยงในการแพร่เชื้อได้ สารเคมีในการทำลายเชื้อ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.5% สามารถทำลายเชื้อไวรัสโคโรนาได้ภายใน 1 นาที (Kampf, et al., 2020) การทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อพื้นผิวด้วยวิธีเช็ดทำความสะอาดนั้นมีประสิทธิภาพจำกัด อีกทั้งยังไม่สามารถฆ่าเชื้อบนพื้นผิวได้ครอบคลุมทั้งหมด

การพัฒนาระบบพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (aHP) ที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อบนพื้นผิวและในอากาศ ในสถานที่มีความเสี่ยง เช่น ระบบขนส่งสาธารณะ โรงเรียน โรงพยาบาล สถานที่สาธารณะที่มีคนใช้จำนวนมาก จะช่วยลดการแพร่เชื้อของโรคโควิด-19 และโรคติดเชื้ออื่น จึงมี

ความสำคัญในด้านการควบคุมและป้องกันโรคติดต่อ ลดการสูญเสียจากการเจ็บป่วยและการตาย อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นมาตรการในการควบคุมโรคแทนการปิดการให้บริการขนส่งสาธารณะ ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้ใช้บริการจำนวนมากและยังส่งผลต่อผู้ประกอบการขนส่งสาธารณะ จึงมีความสำคัญในด้านสาธารณสุข สังคม และเศรษฐกิจของประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้วิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะ

1.2.2 พัฒนาระบบฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.2.3 พัฒนากระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ เริ่มต้นด้วยการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีจากรายงานทางวิชาการ งานวิจัย บทความที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อพัฒนาระบบพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน และประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ โดยการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1.3.1 ทำการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีจากรายงานทางวิชาการ งานวิจัย บทความ ที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.3.2 เป็นการดำเนินการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed-Method Design) ระหว่างการวิจัยเชิงคุณภาพ การวิจัยเชิงปริมาณ โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1.3.2.1 การวิจัยเชิงคุณภาพ โดยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview) กับผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะ โดยสัมภาษณ์ผู้บริหารและแม่บ้านทำความสะอาดรถโดยสารสาธารณะ จำนวน 20 ราย เกี่ยวกับคำถามถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้วิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ และนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแบบสอบถามเพื่อสอบถามถึงปัจจัยเรื่องความสะอาดที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ

1.3.2.2 การวิจัยเชิงปริมาณ โดยสอบถามผู้ใช้บริการรถสาธารณะ จำนวน 400 ราย

1.3.3 ทำการทดลองระบบฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยทำการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถโดยสารสาธารณะ จำนวน 20 คัน เพื่อทำการพัฒนาหารอบระยะเวลาการพ่นที่เหมาะสม และทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

1.4.1.1 ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีจากรายงานทางวิชาการ งานวิจัย บทความ ที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.1.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

1.4.1.3 ศึกษาแนวทางพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อ

1.4.2 ขอบเขตด้านกลุ่มตัวอย่าง

1.4.2.1 การศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

ประชากร : ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะในประเทศไทย

กลุ่มตัวอย่าง : ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะเป้าหมาย จำนวน 20 ราย

1.4.2.2 การศึกษาปัจจัยที่สงผลต่อการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ

ประชากร : ประชากรในประเทศไทยที่เดินทางโดยรถโดยสารสาธารณะ

กลุ่มตัวอย่าง : ผู้ที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 400 คน

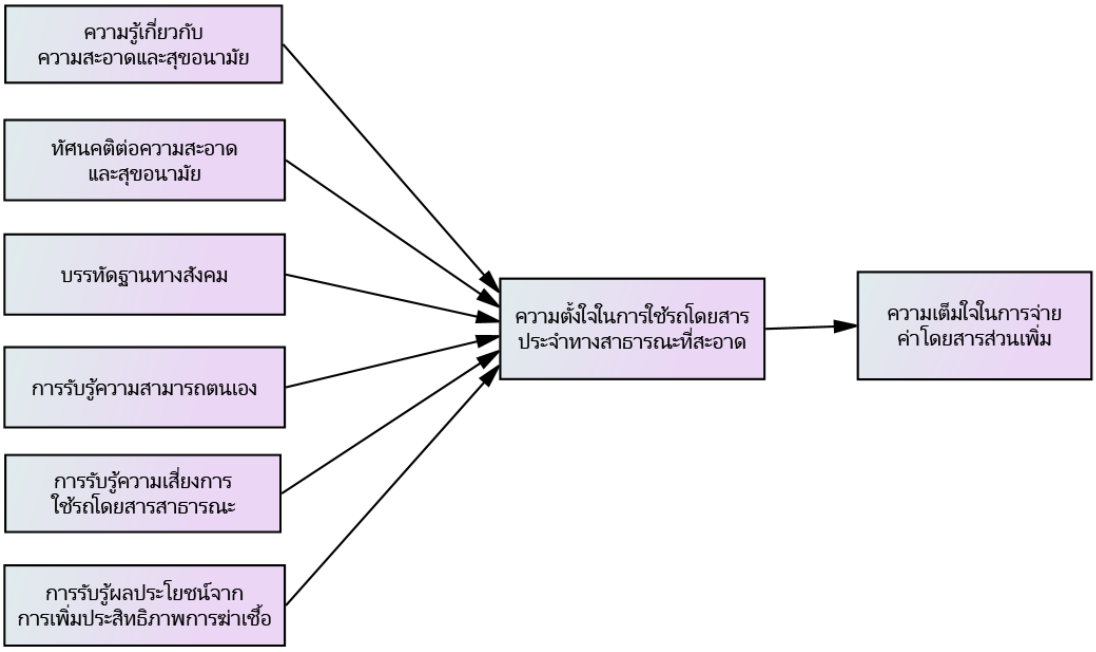
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

ไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide Vapor-HPV) ผลิตจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของเหลวความเข้มข้นประมาณ 30-35% โดยน้ำหนัก (w/w) ด้วยเครื่องผลิตที่ออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์โดยเฉพาะ เครื่องเหล่านี้จะลดความชื้นในอากาศในขั้นต้นจากนั้นผลิตไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยการสร้างความร้อนสูงให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระเหยกลายเป็นไอ แล้วถูกฉีดผ่านหัวฉีดแรงดันสูงเข้าสู่พื้นที่เป้าหมาย ส่วนใหญ่จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (Otter, et al., 2010)

ละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Aerosolized Hydrogen Peroxide-aHP) ผลิตจากสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปแบบของเหลวความเข้มข้นระหว่าง 5-7% ด้วย ultrasonic atomizer เพื่อสร้างละอองขนาดเล็ก มีขนาดอนุภาค 0.5 ถึง 10 ไมโครเมตร

1.6 กรอบแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

การทำวิจัยเชิงคุณภาพและการทำวิจัยเชิงปริมาณ มีกรอบแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้



1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ประโยชน์เชิงวิชาการ

1.7.1.1 ได้ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเลือกใช้วิธีการฆ่าเชื้อรถโดยสารสาธารณะ สามารถขยายผลนำไปใช้เพื่อกำหนดเป็นนโยบายหรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้องได้

1.7.1.2 ได้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะสำหรับการฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

1.7.1.3 ได้ข้อมูลระดับประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะด้วยระบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1.7.2 ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และสังคม

1.7.2.1 ระดับผู้ประกอบการ สามารถนำนวัตกรรมด้านการฆ่าเชื้อไปพัฒนาต่อยอดในเชิงพาณิชย์ที่เป็นความต้องการของตลาด

1.7.2.2 ระดับสังคม ช่วยแก้ปัญหาการแพร่กระจายของเชื้อโรค ลดโอกาสในการติดต่อโรค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.7.2.3 ระดับสังคม ช่วยทำให้ผู้โดยสารมีความมั่นใจต่อระบบรถโดยสารสาธารณะและระบบรถโดยสารสาธารณะยังคงสามารถเป็นทางเลือกให้กับผู้โดยสารโดยเฉพาะผู้โดยสารที่ไม่มีทางเลือกในการเดินทางอื่นนอกจากระบบขนส่งสาธารณะ

1.7.2.4 ระดับประเทศ ผู้กำหนดนโยบายสามารถนำใช้ในการกำหนดแนวทางการควบคุมโรคติดต่อ ในโรงพยาบาล สถานพยาบาล สถานที่สาธารณะที่มีคนใช้บริการหนาแน่น อาคารบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย สถานประกอบการ ตลอดจนระบบขนส่งสาธารณะ ที่มีความเสี่ยง เนื่องจากการถ่ายเทอากาศไม่ดีและมีความเสี่ยงในการแพร่ระบาดของเชื้อโรค เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ (Disinfection and Sterilization)

การควบคุมการติดเชื้อ (infection control) มีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการแพร่เชื้อของจุลินทรีย์หรือจุลินทรีย์ก่อโรค โดยการป้องกันสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การป้องกันแพร่เชื้อในแนวตั้ง (vertical transmission) ซึ่งเป็นการส่งผ่านของเชื้อโรคจากรุ่นสู่รุ่น การใช้ยาต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antibiotics) อย่างเหมาะสมจะช่วยป้องกันการแพร่เชื้อในแนวตั้งได้ ส่วนการแพร่เชื้อในแนวนอน (horizontal transmission) เป็นการแพร่เชื้อจากเชื้อโรคหนึ่งไปสู่เชื้อโรคอื่นในรุ่นเดียวกัน หรือการแพร่กระจายเชื้อโรคไปสู่สิ่งแวดล้อม การป้องกันการแพร่เชื้อในแนวนอนเป็นหลักสำคัญในการควบคุมการติดเชื้อ ซึ่งต้องอาศัยการทำความสะอาด (cleaning) การทำลายเชื้อ (disinfection) และการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) (Yoo, 2018)

การทำความสะอาด หมายถึง กระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์) ออกจากพื้นผิวหรือวัตถุ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ เพราะหากมีการสารอินทรีย์เช่น เลือด สารคัดหลั่ง ตกค้างอยู่บนพื้นผิวหรือวัตถุจะขัดขวางประสิทธิภาพของการทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทำลายเชื้อ หมายถึง กระบวนการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogenic microorganisms) ส่วนใหญ่หรือทั้งหมดบนพื้นผิวที่ไม่ได้มีชีวิต โดยไม่ได้มีประสิทธิภาพในการฆ่าสปอร์ของแบคทีเรีย (Centers for Disease Control and Prevention., 2016)

การทำให้ปราศจากเชื้อ หมายถึง กระบวนการที่ทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมถึงการฆ่าสปอร์ของแบคทีเรีย โดยการใช้วิธีทางกายภาพ (physical method) หรือวิธีทางเคมี (chemical method)

การแบ่งกลุ่มของการเลือกใช้วิธีการทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ นิยมใช้เกณฑ์ตาม Earle H. Spaulding ที่ได้แบ่งกลุ่มประเภทการทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยดูจากการใช้งานของอุปกรณ์ทางการแพทย์ต่อความเสี่ยงในการติดเชื้อ โดย Earle

H. Spaulding ได้แบ่งประเภทของระดับความเสี่ยงในการติดเชื้อที่เกิดจากการใช้งานเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1.อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงสูง (critical items) เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือทางการแพทย์ที่ต้องใส่เข้าไปในร่างกายโดยสัมผัสกับเนื้อเยื่อหรือในเส้นเลือดซึ่งเป็นส่วนที่ปราศจากเชื้อและจำเป็นที่อุปกรณ์การแพทย์นั้นก็ต้องปราศจากเชื้อ หากมีการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์บนอุปกรณ์หรือเครื่องมือจะทำให้เกิดการติดเชื้อในร่างกายได้ อุปกรณ์หรือเครื่องมือเหล่านี้ เช่น เครื่องมือผ่าตัด สายสวนหัวใจและสายสวนปัสสาวะ กล้องส่องระบบทางเดินอาหาร อุปกรณ์เทียมที่ฝังในร่างกาย เป็นต้น การเลือกซื้ออุปกรณ์หรือเครื่องมือควรเลือกซื้อในสภาพที่ปราศจากเชื้อและสามารถทำให้ปราศจากเชื้อได้ด้วยวิธีใช้ไอน้ำ (steam) อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ไม่สามารถทนความร้อนได้สามารถใช้วิธีทำให้ปราศจากเชื้อด้วย เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide-EtO) แก๊สพลาสมาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide gas plasma) ไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (HPV) หรือการใช้สารเคมีทำให้ปราศจากเชื้อ (chemical sterirants) หากไม่สามารถใช้การทำให้ปราศจากเชื้อโดยวิธีอื่นได้ การใช้สารเคมีทำให้ปราศจากเชื้อ อุปกรณ์นั้นจะต้องได้รับการล้างก่อนการทำให้ปราศจากเชื้อ และต้องมีแนวทางที่เหมาะสมที่ครอบคลุม ความเข้มข้น ระยะเวลาสัมผัส (contact time) อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสม

ได้มีการพิจารณาปรับเกณฑ์ของอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงสูง สำหรับอุปกรณ์กล้องส่องกระเพาะอาหารและทางเดินท่อน้ำดี (duodenoscope) เนื่องจากกล้องส่องกระเพาะอาหารและทางเดินท่อน้ำดีแต่เดิมถูกจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงปานกลาง เนื่องจากอุปกรณ์สัมผัสกับเยื่อบุ จึงเลือกใช้วิธีการทำลายเชื้อระดับสูง (high-level disinfection) แทนที่จะเป็นวิธีปราศจากเชื้อแต่พบว่ากล้องส่องกระเพาะอาหารและทางเดินน้ำดี เป็นอุปกรณ์ที่เป็นท่อแคบและยาว ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ลำบาก ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องการแพร่เชื้อจนทำให้เกิดการระบาดของโรคติดต่อได้ (Rutala and Weber, 2014a) ดังนั้นจึงมีการปรับเกณฑ์สำหรับอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงสูงจากอุปกรณ์ที่เข้าสู่ร่างกายบริเวณเนื้อเยื่อที่ปราศจากเชื้อและระบบหลอดเลือด เป็น อุปกรณ์ที่เข้าสู่ร่างกายบริเวณเนื้อเยื่อที่ปราศจากเชื้อของระบบหลอดเลือดทั้งทางตรงและทางอ้อม (เช่นผ่านทางเยื่อบุของกล้องส่องกระเพาะอาหารและทางเดินท่อน้ำดี) (Rutala and Weber, 2016) เมื่อกล้องส่องกระเพาะอาหารและทางเดินท่อน้ำดี จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีความสี่ยงสูง จึงควรเลือกใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อ

2. อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงปานกลาง (semicritical Items) เป็นอุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสกับเยื่อบุของร่างกาย (mucous membrane) หรือบริเวณผิวหนังที่มีบาดแผล เช่น เครื่องช่วยหายใจ อุปกรณ์

ที่ใช้ในการดมยาสลบ กล้องส่องทางเดินอาหารบางรุ่น กล้องส่องท่อช่วยหายใจ (laryngoscope) อุปกรณ์เหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการทำลายเชื้อระดับสูง (high-level disinfection) อุปกรณ์เหล่านี้เมื่อผ่านการทำลายเชื้อระดับสูงแล้วอาจจะยังมีสปอร์ของแบคทีเรียอยู่บ้าง การสัมผัสเนื้อเยื่อบุร่างกายเช่นบริเวณปอดหรือทางเดินอาหารปกติจะสามารถต้านทานการติดเชื้อของสปอร์แบคทีเรียได้ จึงทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการติดเชื้อ องค์การอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกาได้อนุมัติสารเคมีที่ใช้ในการทำลายเชื้อระดับสูง สำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ ได้แก่สารเคมีในกลุ่มกลูตารัลดีไฮด์ (glutaraldehyde), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide), ออร์โท-พทาลอัลดีไฮด์ (ortho-phthalaldehyde), กรดเปอร์แอซีติก (peracetic acid), ไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite), กรดเปอร์แอซีติกผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (peracetic acid with hydrogen peroxide) ที่ใช้ตามเงื่อนไขการฆ่าเชื้อที่กำหนด (U.S. Food and Drug Administration., 2015)

3. อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่ำ (noncritical items) เป็นอุปกรณ์ที่สัมผัสกับผิวหนังที่ปกติคือผิวหนังที่ไม่มีบาดแผล และไม่ได้สัมผัสกับเยื่อบุของร่างกาย เนื่องจากผิวหนังโดยธรรมชาติจะทำหน้าที่เป็นด่านในการป้องกันเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ร่างกาย ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับผิวหนังที่ไม่มีบาดแผลจึงจัดเป็นกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำ อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่ เช่น หม้อนอน (bedpan), ที่รัดแขนวัดความดันโลหิต, ราวข้างเตียง, เฟอร์นิเจอร์ในห้องผู้ป่วย หรือพื้นผิวอื่นๆ โดยปกติอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่ำจะมีความเสี่ยงน้อยมากในการแพร่เชื้อโดยตรง แต่อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่ำเหล่านี้สามารถแพร่กระจายเชื้อทางอ้อมได้โดยผ่านการสัมผัสทางมือและไปสัมผัสต่อผู้อื่นหรือตนเอง เนื่องจากเชื้อที่ก่อโรคสามารถจะมีชีวิตอยู่บนพื้นผิวต่างๆ ได้เป็นวันหรือเป็นเดือน การแพร่เชื้อทางอ้อมพบได้บ่อยในสถานพยาบาล โดยเชื้อที่พบการระบาดได้บ่อยในสถานพยาบาล ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA), vancomycin resistant enterococci (VRE), Acinetobacter, Clostridium difficile และเชื้อไวรัส norovirus โดยพบว่าสาเหตุการแพร่กระจายเชื้อเกิดจากการสัมผัสทางมือของบคุลากรทางการแพทย์ที่ไปสัมผัสผู้ป่วยจากการตรวจร่างกายหรือการสัมผัสพื้นผิวในสภาพแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนและนำไปสัมผัสกับผู้ป่วยรายอื่นทำให้เกิดการติดเชื้อได้ (Stiefel, et al., 2011)

การศึกษาพบว่าพื้นผิวของวัตถุที่ไม่มีชีวิต (fomite) ทั้งที่เป็นชนิดแบบมีรูพรุนและไม่มีรูพรุน (porous and nonporous surfaces) เป็นตัวกลางที่สำคัญในการแพร่เชื้อ โดยเฉพาะเชื้อไวรัสที่ก่อโรคทางเดินหายใจและไวรัสก่อโรคทางเดินอาหาร (Boone and Gerba, 2007) โดยหลังจากผู้ป่วยติดเชื้อ ไวรัสจะมีการเจริญเติบโตและอาศัยในสารคัดหลั่ง เช่น น้ำลาย น้ำมูล เลือด ปัสสาวะ อุจจาระของผู้ป่วย ซึ่งหากผู้ป่วยที่ติดเชื้อมีการพูด การไอ จาม อาเจียน เชื้อไวรัสก่อโรคนั้นก็จะออกกับสารคัด

หลั่งและปนเปื้อนบนพื้นผิวของวัสดุ การสัมผัสทางมือบนวัตถุและสัมผัสบนส่วนของร่างกายที่เชื้อไวรัสใช้เป็นช่องทางเข้าสู่ร่างกายก็จะทำให้เกิดการแพร่เชื้อได้ ความเสี่ยงของการได้รับเชื้อโรคขึ้นกับความถี่ในการสัมผัสมือบนใบหน้า โดยพบว่าความถี่ในการใช้มือสัมผัสบนใบหน้าสูงถึง 23 ครั้งต่อชั่วโมง โดยบริเวณจมูกและปากเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสที่สูงถึงร้อยละ 27 และร้อยละ 31 ตามลำดับ (Kwok, et al., 2015) ปัจจัยที่พื้นผิวของวัตถุจะเป็นตัวกลางในการแพร่เชื้อขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความเข้ากันได้ของพื้นผิววัตถุและไวรัส, ความถี่ในการสัมผัสกับวัตถุที่มีการปนเปื้อน และปัจจัยสภาพแวดล้อม

นอกจากพื้นผิวของวัตถุที่อยู่ในสถานพยาบาลที่เป็นตัวกลางในการแพร่กระจายเชื้อ ยังพบว่านอกสถานพยาบาล เช่น เครื่องบินพาณิชย์ ที่มีลักษณะเป็นพื้นที่จำกัด แม้ว่าในเครื่องบินจะมีการควบคุมความดัน อุณหภูมิ ระบบระบายอากาศ และการใช้ระบบกรองอากาศประสิทธิภาพสูง (High-efficiency particulate air filter-HEPA filter) ที่กรองอากาศโดยสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาด 0.3 ไมครอนได้ร้อยละ 99.97 ก่อนจะปล่อยอากาศที่ดีเข้าสู่ภายในเครื่องบิน โดยอากาศภายในเครื่องบินจะมีการปล่อยอากาศจากด้านเหนือศีรษะและจะออกทางพื้น มีการแลกเปลี่ยนอากาศประมาณ 15 -20 ครั้งต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามพบว่า มีการแพร่กระจายเชื้อวัณโรค โรคทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง (Severe Acute Respiratory Syndrome-SARS) โรคหวัด ไข้หวัดใหญ่ และโรคหัดบนเครื่องบินพาณิชย์ (Mangili and Gendreau, 2005) โดยการแพร่เชื้อเกิดจากการสัมผัสใกล้ชิดหรือจากการสัมผัสกับพื้นผิวที่ปนเปื้อน การไอหรือจามในเครื่องบิน จะทำให้ละอองฝอยกระจายไปไกลถึง 2 แถวที่นั่ง และร้อยละ 60-70 ของละอองฝอยก็จะตกลงบนพื้นผิวของวัสดุต่างๆ ทำให้เกิดการปนเปื้อนและเป็นช่องทางในการแพร่กระจายเชื้อได้ (Sze To, et al., 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการทำลายเชื้อและทำให้ปราศจากเชื้อมีหลายวิธี สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีการหลักคือการทำลายเชื้อและปราศจากเชื้อโดยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี

การทำลายเชื้อและทำให้ปราศจากเชื้อโดยวิธีทางกายภาพ (Physical Disinfectant)

การทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อด้วยวิธีทางการภาพที่นิยมใช้ได้แก่ การใช้ความร้อน (heat) ทั้งรูปแบบความร้อนแห้ง (dry heat) และความร้อนชื้น (moist heat) และวิธีการใช้รังสี (radiation)

การใช้ความร้อน (Heat)

การใช้ความร้อนเป็นวิธีการทำลายเชื้อและทำให้ปราศจากเชื้อรูปแบบหนึ่งที่ใช้กันมากที่สุด ความร้อนเป็นรูปแบบของพลังงานที่ถ่ายเทจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง โดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งการถ่ายเทสามารถทำได้ใน 3 รูปแบบคือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) โดยผ่านของเหลวหรือแก๊ส และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาค

กระบวนการใช้ความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนและการพาความร้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ (McDonnell, 2017b)

1. ความร้อนแห้ง
    1.1 การเผา (incineration) เป็นการทำให้ปราศจากเชื้อ
    1.2 การอบความร้อน (hot air) เป็นการทำลายเชื้อ หรือ ทำให้ปราศจากเชื้อ
2 ความร้อนชื้น
    2.1 การให้ความร้อนแก่ของเหลว รวมถึงการพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) และการต้ม (boiling) จัดเป็นการทำลายเชื้อ
    2.2 ไอน้ำภายใต้ความดันบรรยากาศ (steam under atmospheric pressure) จัดเป็นการทำลายเชื้อ
    2.3 ไอน้ำภายใต้ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (steam under subatmospheric pressure) หรือ ภายใต้อุณหภูมิต่ำ จัดเป็นการทำลายเชื้อ
    2.4 ไอน้ำภายใต้แรงดัน (pressure) จัดเป็นการทำลายเชื้อ หรือการทำให้ปราศจากเชื้อ

การใช้ความร้อนชื้นเป็นวิธีที่ใช้กันมากเนื่องจากความสะดวกและมีประสิทธิภาพเนื่องจากน้ำในรูปของเหลวหรือไอน้ำสามารถนำพาความร้อนไปยังพื้นผิวได้มากกว่าวิธีใช้ความร้อนแห้ง วิธีความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร้อนแห้งมีการใช้น้อยในกระบวนการฆ่าเชื้อ และจะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถใช้ความร้อนชื้นได้ ส่วนใหญ่ใช้กับอุปกรณ์บางชนิดที่สามารถทนความร้อนสูงได้เช่นอุปกรณ์ที่ทำจากเครื่องแก้วหรือโลหะ

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

ความร้อนทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพ กรดนิวคลีอิกเกิดการคลายเกลียว (unwinding) รวมถึงผนังเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์ เปลือกหุ้มไวรัสเกิดการเสียสภาพ ทำให้เซลล์ตายหรือไม่สามารถแพร่เชื้อได้ สำหรับการทำลายสปอร์จะต้องอาศัยความร้อนที่สูงขึ้นเพื่อทำลายผนังชั้นนอกที่หุ้มสปอร์

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

ความร้อนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส รา และสปอร์ได้ โดยเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่สามารถถูกทำลายโดยความร้อนที่สูงกว่า 65°C มีแบคทีเรียและไวรัสบางชนิดที่สามารถทนต่อความร้อนสูงได้ถูกเรียกว่า “เทอร์โมไฟล์ (thermophiles)” ที่สามารถทนและเจริญเติบโตได้ในอุณหภูมิที่สูงกว่า 45°C ถึง 50°C ตัวอย่างเช่นแบคทีเรียในกลุ่ม ลีจิโอเนลลา (Legionella), เอนเทอโรคอคคัส (Enterococcus), มัยโคแบคทีเรียม (Mycobacterium) และ โนโรไวรัส (Noroviruses) ซึ่งเทอร์โมไฟล์ส่วนใหญ่ต้องอาศัยความร้อนที่สูงขึ้นระหว่าง 70°C ถึง 90°C จึงจะสามารถทำลายได้ ยังมีจุลินทรีย์อีกกลุ่มที่เรียกว่า ไฮเปอร์เทอร์โมไฟล์ (hyperthermophiles) ที่จะสามารถเจริญเติบโตในความร้อนที่สูงมากกว่า 80°C ถึง 90°C เช่น เทอร์โมไครนิส รูเบอร์ (Thermocrinis ruber), เทอร์โมโทกา มาริไทม์ (Thermotoga maritime) และ เทอร์มัส อคอร์ทิคัส (Thermus aquaticus) ที่พบได้ในบ่อน้ำพุร้อน ซึ่งบางสายพันธ์สามารถทนความร้อนได้สูงถึง 160°C แต่จุลินทรีย์เหล่านี้ไม่ได้ก่อโรคและไม่ก่อปัญหาด้านการปนเปื้อนจึงไม่ต้องใช้การทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ ส่วนเชื้อราและสปอร์ของแบคทีเรีย เช่น บาซิลัส (Bacillus), จีโอบาซิลลัส (Geobacillus) และ คลอสตริเดียม (Clostridium) ต้องใช้ความร้อนสูงกว่า 100°C จึงจะสามารถทำลายได้

การใช้งาน (Uses)

การทำลายเชื้อด้วยความร้อนแห้งโดยการเผาส่วนใหญ่ใช้ในการฆ่าเชื้อและทำลายของเสียปนเปื้อนทางการแพทย์และอุตสาหกรรมเช่น เข็มฉีดยา ส่วนการอบลมร้อนจะใช้กับอุปกรณ์ที่ทนความร้อนได้แต่ไม่ทนต่อความชื้น เช่น ขี้ผึ้งป้ายตา ผลิตภัณฑ์ประเภทน้ำมันหรือที่เป็นผง

การทำลายเชื้อด้วยความร้อนชื้น (moist heat) โดยปกติใช้ความร้อนระหว่าง 60°C ถึง 65°C เพื่อทำลายเชื้อ แบคทีเรีย ไวรัส รา แต่ไม่สามารถทำลายสปอร์ได้ การต้มน้ำหรืออุปกรณ์มากกว่า 5 นาทีสามารถทำลายเชื้อได้อย่างรวดเร็ว การใช้น้ำร้อนเป็นวิธีที่นิยมที่ใช้กับอุปกรณ์ที่ทนความร้อนได้ เวลาที่ใช้ในการฆ่าเชื้อสำหรับการใช้ความร้อนจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ เวลาที่ใช้สำหรับการทำลายเชื้อของอุปกรณ์ทางการแพทย์โดยวิธีความร้อนชื้นคือ 100 นาทีสำหรับอุณหภูมิ 70°C, 10 นาทีสำหรับอุณหภูมิ 80°C, 1 นาทีสำหรับอุณหภูมิ 90°C และ 0.1 นาทีสำหรับอุณหภูมิ 100°C

การทำพาสเจอร์ไรส์ (pasteurization) เป็นการทำลายเชื้อระดับต่ำที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร นม และของเหลวเพื่อลดความเสี่ยงในการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์และเพิ่มอายุผลิตภัณฑ์ และมีการนำมาใช้ทดแทนการต้มอุปกรณ์เพื่อฆ่าเชื้อ

การทำพาสเจอร์ไรส์เดิมจะใช้อุณหภูมิระหว่าง 63°C ถึง 66°C ในเวลามากกว่า 30 นาที และตามด้วยอุณหภูมิระหว่าง 71°C ถึง 72°C ในเวลาสั้นๆระหว่าง 15 ถึง 16 วินาที จะสามารถเพิ่มอายุผลิตภัณฑ์โดยการจัดเก็บสินค้าไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C โดยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเน่าเสียได้ การใช้อุณหภูมิที่สูง (ultra-high-temperature) หรือที่เรียกว่า “UHT” เป็นการใช้อุณหภูมิที่มากกว่า 100°C (เช่น 140°C ระยะเวลา 4 วินาที) เป็นทางเลือกของการทำพาสเจอร์ไรส์ในการยืดอายุผลิตภัณฑ์

การทำให้ปราศจากเชื้อด้วยไอน้ำ (steam sterilization) สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทุกชนิด รวมทั้งสปอร์ จะใช้เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ใช้ไอน้ำสัมผัสกับอุปกรณ์โดยตรงในอุณหภูมิและแรงดันที่กำหนด สำหรับเครื่องนึ่งไอน้ำชนิดแทนที่อากาศ (gravity displacement autoclave) ส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิที่ 121°C เป็นเวลา 30 นาที สำหรับเครื่องนึ่งไอน้ำชนิดเครื่องดูดสุญญากาศความเร็วสูง (high-speed prevacuum autoclave) จะใช้อุณหภูมิที่ 132°C เป็นเวลา 4 นาที สำหรับฆ่าเชื้อในอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่อยู่ในหีบห่อ

การใช้ไอน้ำ (steam) สามารถทำลายเชื้อบนพื้นผิวได้อย่างรวดเร็ว และการใช้ไอน้ำในอุณหภูมิต่ำ (หรือไอน้ำภายใต้สุญญากาศ) สามารถใช้ทำลายเชื้อบนผ้าหรืออุปกรณ์ที่ทนต่อความร้อนไม่ได้

ข้อดีและข้อเสีย

การใช้ความร้อนในการทำลายเชื้อและการทำให้ปราศจากเชื้อ มีข้อดีคือ การใช้งานที่ง่าย ออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อที่เร็ว ความร้อนแห้งด้วยการเผาไม่สามารถใช้กับวัสดุพวก ยาง พลาสติก การเผาทำให้เกิดสารประเภท ไดออกซิน (dioxins) ฟิวแรน (furans) และคลอรีนไดออกไซด์ที่เป็นอันตรายออกสู่สิ่งแวดล้อม ความร้อนชื้นมีข้อดีคือสามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในหีบห่อได้ ไม่มีสารตกค้าง ส่วนข้อเสียคืออาจทำลายอุปกรณ์ที่ไม่ทนต่อความร้อนได้ ความร้อนชื้นไม่สามารถทำลายเอนโดทอกซิน (endotoxin) ที่ถูกปล่อยมาจากผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบจากที่เซลล์ตายจากความร้อนชื้น ซึ่งความร้อนแห้งจะมีประสิทธิภาพในการทำลายเอ็นโดทอกซินมากกว่า ความร้อนชื้นอาจทำให้อุปกรณ์ยังเปียกและขึ้นสนิมได้ และการใช้ความร้อนมีความเสี่ยงต่อการเกิดการไหม้ได้

การฉายรังสี (Radiation)

รังสีเป็นรูปแบบพลังงานที่เกิดจากอะตอมที่อยู่ในสภาพที่ไม่เสถียรและปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปอนุภาค (particles) หรือ รูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) แหล่งกำเนิดของรังสีอาจมาจากไอโซโทป (isotope) ที่มาจากธรรมชาติหรือมาจากการสร้างขึ้น และอุปกรณ์อื่นที่สร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ไอโซโทปสามารถปล่อยรังสีออกมาในรูปของอนุภาค ได้แก่ อนุภาคแอลฟา (alpha particle) , อนุภาคเบตา (beta particle) และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่รังสีแกมมา (gamma radiation) โดยอนุภาคแอลฟามีอำนาจในการทะลุผ่านน้อย จึงไม่ได้มีประโยชน์ในการทำลายเชื้อ ส่วนอนุภาคเบตามีอำนาจทะลุผ่านมากกว่าอนุภาคแอลฟาแต่ก็ยังไม่มากพอ จึงไม่ได้นำมาใช้ในการทำลายเชื้อโดยตรง การใช้งานจะมีการเร่งอนุภาคเบตาให้มีอำนาจทะลุผ่านสูงขึ้นด้วยปืนอิเล็กตรอน (electron gun) จึงสามารถทำลายเชื้อได้ รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูง สามารถสร้างจากสารกัมมันตรังสี (radioisotope) เช่น โคบอลต์-60 (^{60}Co) และ ซีเซียม-137 (^{137}Cs) จึงมีการใช้รังสีแกมมาในการทำลายเชื้อและทำให้ปราศจากเชื้อ

รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีหลายรูปแบบแตกต่างตามความยาวคลื่น ตั้งแต่คลื่นวิทยุ (radio waves), ไมโครเวฟ (microwaves), อินฟราเรด (infrared), แสงที่มองเห็นได้ (visible light), รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet), รังสีเอกซ์ (x-rays) และรังสีแกมมา (gamma rays) โดยเรียงลำดับ

ความยาวคลื่นมากไปยังความยาวคลื่นน้อย รังสีที่มีความยาวคลื่นมากจะมีความถี่ต่ำและพลังงานต่ำ ส่วนรังสีที่มีความยาวคลื่นน้อยจะมีความถี่สูงและพลังงานมาก ในการใช้งานด้านการทำลายเชื้อ จะแบ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็น รังสีที่ก่อไอออน (ionizing radiation) ได้แก่ รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นรังสีที่ให้พลังงานสูง และ รังสีที่ไม่ก่อไอออน (nonionizing radiation) เช่น รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) และไมโครเวฟ (microwaves) ซึ่งเป็นรังสีที่ให้พลังงานต่ำ รังสีที่ก่อไอออนจะใช้ในการทำให้ปราศจากเชื้อ ส่วนรังสีที่ไม่ก่อไอออนจะใช้ในการทำลายเชื้อ

รังสีอัลตราไวโอเลต (UV) สามารถแบ่งตามความยาวคลื่นได้เป็น รังสียูวีเอ (UVA) ความยาวคลื่น 315-400 นาโนเมตร, รังสียูวีบี (UVB) ความยาวคลื่น 280-315 นาโนเมตร และ รังสียูวีซี (UVC) ความยาวคลื่น 100-280 นาโนเมตร ซึ่งรังสียูวีซี (UVC) จะมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อมากที่สุด โดยความยาวคลื่นที่มีประสิทธิภาพที่สุดอยู่ระหว่าง 265 นาโนเมตร

<u>กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)</u>

รังสีที่ก่อไอออนจะทำให้อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (ionization) ในโมเลกุลทำให้โมเลกุลเสียโครงสร้างและการทำงาน จนทำให้เซลล์ตาย และการฉายรังสียังทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (mutation) ทำให้เซลล์ไม่สามารถมีชีวิตได้

รังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet) จะทำปฏิกิริยาโฟโตเคมิคอล (Photochemical reaction) ที่เบสไพริมิดีน (pyrimidine base) ทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์ (covalent linkage) กับเบสที่ใกล้เคียง ทำให้โครงสร้างของดีเอ็นเอ (DNA) ถูกทำลาย ทำให้เซลล์ไม่สามารถแบ่งตัวได้

รังสีอินฟราเรด (infrared) ส่วนใหญ่ออกฤทธิ์จากการถ่ายเทความร้อนไปที่พื้นผิวของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้เซลล์ตาย ส่วนไมโครเวฟ จะทำให้เกิดความร้อนโดยเฉพาะส่วนประกอบที่เป็นน้ำและโมเลกุลอื่น เช่นไขมันและน้ำตาล เกิดความร้อน ทำให้เสื่อมสภาพ

<u>การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)</u>

การฉายรังสีสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงคือการออกฤทธิ์ที่กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) โดยเฉพาะที่ดีเอ็นเอ (DNA) และทางอ้อม โดยการสร้างอนุมูลอิสระ (free radicals), โอโซน (ozone) และสารอื่นที่ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ขนาดปริมาณพลังงานรังสีที่น้อย

กว่า 1 กิโลเกรย์ (kGy) มีฤทธิ์ทำลายเชื้อจุลินทรีย์กว้าง ทั้ง แบคทีเรีย รา ไวรัส โพรโทซัว สำหรับการฆ่าเชื้อสปอร์ซึ่งสามารถทนต่อการฉายรังสีได้มากกว่าจะต้องใช้ปริมาณรังสีสูงขึ้น การฉายรังสีแกมมาในการทำให้ปราศจากเชื้อจะใช้ขนาดที่ 15-25 กิโลเกรย์ (kGy) (Obodovskiy, 2019)

รังสียูวีซีมีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์กว้าง โดยประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสียูวีซี ระยะห่างของแหล่งกำเนิด และระยะเวลาสัมผัส โดยรังสียูวีซีสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวกและแกรมลบได้ในขนาดที่ใช้มากกว่า 5 mJ/cm^2 เชื้อราและไวรัสโดยเฉพาะไวรัสที่ไม่มีเปลือกหุ้ม (nonenveloped viruses) ต้องใช้ปริมาณที่สูงขึ้น (>20 mJ/cm^2) ส่วนสปอร์จะสามารถทนต่อยูวีซีได้สูงจึงต้องใช้เวลาในการฆ่าเชื้อและใช้ปริมาณรังสีที่สูง

<u>การใช้งาน (Uses)</u>

การฉายรังสีก่อไอออน สามารถนำมาใช้ในการทำลายเชื้อ และทำให้ปราศจากเชื้อ ได้หลากหลาย เช่น อุปกรณ์เครื่องมือ, อาหาร, เครื่องสำอาง, น้ำ, น้ำเสีย, อากาศ การใช้เพื่อทำให้ปราศจากเชื้อส่วนใหญ่นำมาใช้กับผลิตภัณฑ์ยา ทั้งขี้ผึ้ง ของเหลว หรือของแห้ง นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้รักษาโรคทางการแพทย์ เช่นโรคมะเร็ง และใช้กับอาหารและผลผลิตทางการเกษตร โดยใช้กำจัดจุลินทรีย์ก่อโรคที่ปนเปื้อนในอาหารเช่น แหนม ปลาป่น, ใช้เพื่อยับยั้งการงอกระหว่างการเก็บรักษาที่ใช้กับพืชประเภทหัวสะสมอาหาร เช่น หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง, ใช้ชะลอการสุกของผลไม้ เช่น มะม่วงอกร่อง กล้วยหอม, ยืดอายุการเก็บรักษาพวกเนื้อสัตว์เช่น เนื้อหมู ปลาทูนึ่ง, ควบคุมการแพร่พันธุ์ของแมลงในอาหารหรือผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องเทศ ข้าวสาร ถั่วเขียว เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่นำมาทำการทำลายเชื้อหรือทำให้ปราศจากเชื้อด้วยการฉายรังสี

ประเภท	รายละเอียด
ของเหลว	แผ่นแอลกอฮอล์เช็ดทำความสะอาด (alcohol wipes)
	น้ำยาปราศจากเชื้อ (sterile disinfectant)
	น้ำ
	เลือดและน้ำเลือด
	โปรตีนและเอมไซม์
	เจลหล่อลื่น
อาหาร	ผักและผลไม้
	เนื้อสัตว์และสัตว์ปีก
	อาหารที่บรรจุเสร็จ (Prepackaged product)
	เครื่องเทศและอาหารแห้ง
เครื่องมือ	เครื่องกระตุ้นไฟฟ้าหัวใจ (pacemakers)
	อุปกรณ์กระดูกและข้อเทียม
	วัสดุเย็บแผล
	เข็มและกระบอกฉีดยา
วัสดุอื่น	เนื้อเยื่อและผิวหนังที่ได้จากการผ่าตัด (excised skin)
	จานเพาะเชื้อ หลอดทดลอง สำลี ถุงมือ เสื้อกาวน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลอดยูวีซีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดซึ่งให้รังสีความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน คือ

1. หลอดไอปรอทความดันต่ำ (low pressure mercury lamp) จะบรรจุไอปรอทที่ความต่ำน้อยกว่า 10 ทอร์ เมื่อไอปรอทในหลอดได้รับกระแสไฟฟ้าจะปล่อยคลื่นรังสียูวีซีในช่วงแคบ ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เป็นหลอดที่พบได้เป็นส่วนใหญ่ ใช้งานในการฆ่าเชื้อทั่วไป
2. หลอดไอปรอทความดันสูง (high pressure mercury lamp) จะบรรจุไอปรอทที่ความดันที่ความดันประมาณ 1,000 ทอร์ จะให้ระดับรังสียูวีที่สูงและความยาวคลื่นในช่วงกว้าง การใช้งานส่วนใหญ่เป็นการฆ่าเชื้อน้ำเสียในอุตสาหกรรม
3. หลอดแอลอีดี (LED) เป็นหลอดที่ใช้สารกึ่งตัวนำ (semiconductor) ในการสร้างรังสีซึ่งสามารถปรับแต่ความยาวคลื่นที่ต้องการได้ สามารถสร้างความยาวที่ 265 นาโนเมตรซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อ

รังสียูวีซีใช้ในการทำลายเชื้อทั้งที่เป็นของเหลว อากาศ และพื้นผิว สามารถทำการทำลายเชื้อแบบต่อเนื่องหรือทำเป็นครั้งเดียว การทำลายเชื้อในน้ำทั่วไปทำโดยปล่อยให้น้ำไหลผ่านหลอดกำเนิดยูวีซีในระบบปิดที่ควบคุมเวลาในการได้รับรังสียูวีซี ซึ่งคำนวณจากอัตราการไหลของน้ำและความเข้มของรังสี ในการทำลายเชื้อในน้ำดื่มจะใช้ปริมาณของรังสียูวีซีระหว่าง 16 ถึง 40 mJ/cm^2 การใช้รังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้ออากาศสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทได้แก่ การติดตั้งหลอดยูวีซีในระบบท่อลม (in-duct system) เพื่อฆ่าเชื้ออากาศก่อนจ่ายเข้ามาในห้อง และการติดตั้งหลอดยูวีซีที่ส่วนบนของห้อง (upper room system) ที่เพดานหรือผนังห้อง หลอดยูวีซีจะหงายให้ส่องเฉพาะด้านบนโดยไม่ให้แสงลงมาที่ด้านล่าง ทำให้คนสามารถอยู่ในห้องได้ ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพหากมีระบบถ่ายเทอากาศที่ดี สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียในอากาศ เช่นเชื้อมัยโคแบคทีเรียและสปอร์ (Xu, et al., 2003) รวมถึงการป้องกันการติดเชื้อไวรัสในอากาศอย่างไวรัสไข้หวัดใหญ่ (McDevitt, et al., 2012) การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ในโรงพยาบาลและโรงเรียน ปริมาณรังสียูวีซีที่แนะนำให้ใช้สำหรับฆ่าเชื้อแบบส่วนบนของห้องคือ ใช้หลอดขนาด 8 วัตต์ต่อพื้นที่ 200 ตารางฟุตเมื่อเพดานสูงจากพื้น 8 ฟุต (First, et al., 1999)

การใช้รังสียูวีซีสำหรับฆ่าเชื้อบนพื้นผิว จะใช้กับอุปกรณ์การแพทย์ เวชภัณฑ์ อาหาร บรรจุภัณฑ์ และท่อนำส่งความเย็น (cooling coil) การฆ่าเชื้อไวรัสบนพื้นผิวปริมาณรังสียูวีซีที่ใช้จะแตกต่างกันตามชนิดของไวรัส โดยปริมาณรังสีที่มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อไวรัสได้ 90% สำหรับไวรัสอาร์เอ็นเอสายเดี่ยว (single-stranded RNA) อยู่ระหว่าง 1.32 ถึง 3.20 mJ/cm^2 สำหรับไวรัสดีเอ็นเอสายเดี่ยว (single-stranded DNA,) อยู่ระหว่าง 2.50 ถึง 4.47 mJ/cm^2 สำหรับไวรัสอาร์เอ็นเอสายคู่ (double-stranded RNA) อยู่ระหว่าง 3.80 ถึง 5.36 mJ/cm2 และไวรัสดีเอ็นเอสายคู่ (double-stranded DNA) อยู่ระหว่าง 7.70 ถึง 8.13 mJ/cm^2 ซึ่งหากต้องการลดเชื้อให้ได้ 99% จะต้องใช้ปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (Tseng and Li, 2007) แต่หากถ้าใช้ฆ่าเชื้อบนพื้นผิวที่มีรูพรุนเช่นการใช้รังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อบนอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลอย่างหน้ากาก N95 จะใช้ปริมาณรังสีที่สูง การศึกษาพบว่ารังสียูวีซีปริมาณ 1 J/cm^2 สามารถลดจำนวนเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ H1N1 บนหน้ากาก N95 ได้มากกว่า 3-log reduction (Mills, et al., 2018) และในสถานการณ์ขาดแคลนหน้ากาก N95 ในการระบาดของโรคโควิด-19 ได้มีการใช้รังสียูวีซีในปริมาณ 900 mJ/cm^2 ถึง 1,200 mJ/cm^2 เพื่อทำการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 เพื่อนำมาใช้ซ้ำ (Lowe, et al., 2020) โดยปริมาณรังสียูวีซีที่ใช้ในการฆ่าเชื้อมีความแตกต่างกัน บางแห่งใช้ปริมาณรังสีที่สูงถึง 3 J/cm^2 เพื่อฆ่าเชื้อไวรัสบนหน้ากาก N95 เพื่อนำมาใช้ซ้ำ (Baluja, et al., 2020)

ข้อดีและข้อเสีย

การฉายรังสีมีข้อดีต่างจากการใช้ความร้อนและการใช้สารเคมีคือ ไม่ต้องเตรียมความพร้อมของอุณหภูมิและความชื้นก่อนการฉายรังสี ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการฉายรังสีจะสามารถบรรจุในหีบห่อได้หลายหลายรูปแบบ และเวลาที่ต้องใช้ในการฉายรังสีเพื่อฆ่าเชื้อสั้น ส่วนข้อเสียคือการฉายรังสียังคงจำกัดในการใช้งานบางชนิดเนื่องจากต้นทุนสูงและมีข้อระวังเรื่องความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน ในการใช้รังสีแกมมาจากไอโซโทปต้องระวังเรื่องของเสียจากกัมมันตรังสี รังสีแกมมาทำลายพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride-PVC) พอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (polytetrafluoroethylene) และอะซิติล (acetyl) การฉายรังสีอาจทำให้เกิดสีเปลี่ยน กลิ่นไม่พึงประสงค์ และเกิดการเปลี่ยนของรสชาติได้ ซึ่งพบได้ใน ยาหรืออาหารบางชนิด

รังสีก่อไอออนส่งผลเสียต่อมนุษย์ได้ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของรังสีที่ได้รับ ผลที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกได้เป็นผลเฉียบพลัน (deterministic effects) ที่เกิดจากการได้รับปริมาณรังสีที่สูงส่งผลอันตรายต่ออวัยวะที่ได้รับรังสี และผลระยะยาว (stochastic effect) ที่ได้รับปริมาณรังสีน้อยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของหน่วยพันธุกรรมและเกิดความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งในระยะยาว การได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 0.7 เกรย์ ทำให้เกิดกลุ่มอาการเฉียบพลันจากรังสี (Acute radiation syndrome) ได้แก่ กลุ่มอาการกดไขกระดูก (Bone marrow syndrome) เกิดจากได้รับปริมาณรังสีระหว่าง 0.7-10 เกรย์, กลุ่มอาการทางเดินอาหาร (Gastrointestinal syndrome) เกิดจากได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 10 เกรย์ และกลุ่มอาการระบบหัวใจหลอดเลือดและระบบประสาท (Cardiovascular/Central Nervous System syndrome) ที่เกิดจากได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 50 เกรย์ (บางคนมากกว่า 20 เกรย์) จะทำให้เสียชีวิตภายใน 3 วัน (Centers for Disease Control Prevention., 2018)

พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงานได้กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับรังสีขนิดก่อไอออน พ.ศ. 2457 กำหนดให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับปริมาณรังสีสะสมไม่เกิน 20 มิลลิซีเวอร์ต (milli sievert) ต่อปี โดยเฉลี่ยในช่วงห้าปีติดต่อกันสำหรับศีรษะ ลำตัว และอวัยวะที่เกี่ยวกับการสร้างโลหิตและระบบสืบพันธุ์ โดยในแต่ละปีจะได้รับรังสีสะสมได้ไม่เกิน 50 มิลลิซีเวอร์ต (พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๑.)

รังสียูวีซี มีฤทธิ์ในการทำลายจุลินทรีย์กว้าง สามารถใช้ฆ่าเชื้อในน้ำ อากาศ และพื้นผิว ไม่มีสิ่งตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ใช้เป็นทางเลือกในการฆ่าเชื้อในน้ำแทนกลุ่มคลอรีนและฟอร์มาลดีไฮด์ มีการใช้งานที่ง่ายและสามารถติดตามปริมาณความเข้มรังสีที่ใช้เพื่อมั่นใจว่าสามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเวลาและอายุของหลอดกำเนิดรังสีที่ใช้งาน ส่วนข้อเสียของรังสียูวีซีที่อาจทำอันตรายต่อผิวหนังและดวงตาได้ ระดับสารเคมีที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสได้โดยไม่ก่อให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ สำหรับรังสียูวีซี ความเข้มแสงที่ 254 นาโนเมตร ค่าระดับขีดจำกัดสูงสุด (threshold limit value-TLV) อยู่ที่ปริมาณรังสี 6 mJ/cm2 (American Conference of Governmental Industrial Hygienists., 2012) รังสียูวีซีอาจทำให้พื้นผิวบางชนิดเกิดสีซีด ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจะลดลงหากมีสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ปนเปื้อน และรังสียูวีซีมีประสิทธิภาพในการทะลุผ่านได้น้อยและจะถูกดูดซับได้ด้วยวัสดุพวก แก้ว พลาสติก โลหะ ที่จะทำให้พื้นผิวหรือของเหลวได้รับรังสีได้จำกัด

การทำลายเชื้อด้วยสารเคมี (Chemical Disinfectants)

แอลกอฮอล์ (Alcohol)

แอลกอฮอล์เป็นสารประกอบอินทรีย์ มีหลายประเภทตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) หรือ เอทานอล (ethanol), ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) หรือ ไอโซโพรพานอล (isopropanol), เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) หรือ เมทานอล และ เอ็น-โพรพิลแอลกอฮอล์ (n-propyl alcohol) หรือ เอ็น-โพรพานอล (n-propanol) โดยแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำลายเชื้อและสารฆ่าเชื้อสำหรับร่างกาย (antiseptic) จะใช้อยู่ 2 ชนิดคือ เอทิลแอลกอฮอล์ กับ ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์

เอทิลแอลกอฮอล์ มีกลิ่นอ่อน ในขณะที่ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์จะมีกลิ่นที่ฉุนกว่า ทั้ง 2 ชนิดจะมีอัตราการระเหยที่เท่ากัน อัตราการระเหยของแอลกอฮอล์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ เนื่องจากการทำลายเชื้อต้องอาศัยเวลาสัมผัสที่เพียงพอ (contact time) จึงจะสามารถทำลายเชื้อได้ แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นสูงจะมีอัตราการระเหยที่มากกว่าแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่ำ (O'Hare and Spedding, 1992) ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อ การระเหยหรือเวลาในการสัมผัสนอกจากจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับสูตรผลิตภัณฑ์ของแอลกอฮอล์ด้วย การเพิ่มสารลดแรงตึงผิวหรือการทำให้อยู่ในรูปแบบของเนื้อเจลจะช่วยเพิ่มเวลาสัมผัสกับเชื้อโรคได้ (Rutala and Weber, 2014b, Wilkinson, et al., 2018) แอลกอฮอล์เป็นสารไวไฟ แอลกอฮอล์ที่

ความเข้มข้นสูงจะมีจุดวาบไฟ (flash points) ต่ำกว่า แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่ำ เช่น 70% เอทิลแอลกอฮอล์ และ 70% ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ มีจุดวาบไฟเท่ากับ 20.5℃ และ 21℃ ตามลำดับ

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

การทำลายเชื้อ เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของแอลกอฮอล์จะจับกับโปรตีนของจุลินทรีย์ผ่านพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ซึ่งจะเปลี่ยนโครงสร้างและการทำงานของโปรตีน ทำให้โปรตีนเสื่อมสภาพและตกตะกอน เอมไซม์ภายในเซลล์ไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งกลไกนี้สนับสนุนว่าทำไมแอลกอฮอล์ความเข้มข้นสูงมากจะมีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อลดลง เนื่องจากการเสื่อมสภาพของโปรตีนจะเกิดได้เร็วในภาวะที่มีน้ำ แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นสูงมากกว่า 80% จะไปจับกับโปรตีนบนผนังเซลล์และทำให้เกิดการตกตะกอน ทำให้แอลกอฮอล์ผ่านเข้าไปเซลล์ได้ยากขึ้น ทำให้ฤทธิ์ในการทำลายเชื้อของแอลกอฮอล์ลดลง (McDonnell, 2017a)

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

แอลกอฮอล์ (alcohol) มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อกว้างโดยมีฤทธิ์ทำลายเชื้อแบคทีเรีย เชื้อวัณโรค ไวรัส และ รา แต่ไม่มีฤทธิ์ทำลายสปอร์ของแบคทีเรีย ฤทธิ์ในการทำลายเชื้อของแอลกอฮอล์จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นต่ำว่า 50% โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้ออยู่ระหว่าง 60%-90% v/v

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) ที่ความเข้มข้น 60%-80% เป็นสารฆ่าเชื้อไวรัสที่ดีกว่าไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) มีฤทธิ์ในการฆ่าไวรัสประเภทชนิดมีชั้นไขมันหุ้ม (lipophilic viruses) ได้ทั้งหมด เช่น ไวรัสไข้หวัดใหญ่ (influenza virus), ไวรัสเริม (herpes virus), ไวรัสเอชไอวี (HIV) รวมถึงไวรัส SARS-CoV-2 ที่เป็นสาเหตุโรคโควิด-19 (Kratzel, et al., 2020) และประเภทที่ไวรัสชนิดที่ไม่มีชั้นไขมันหุ้ม (hydrophilic virus) ได้จำนวนมาก เช่น อดิโนไวรัส (adenovirus), เอนเทอโรไวรัส (enterovirus), ไรโนไวรัส (rhinovirus) และ โรตาไวรัส (rotaviruses) แต่แอลกอฮอล์ไม่สามารถทำลายเชื้อไวรัสที่ไม่มีชั้นไขมันหุ้มเช่น ไวรัสตับอักเสบเอ (hepatitis A) (Mbithi, et al., 1990) หรือไวรัสโปลิโอ (poliovirus) (Tyler, et al., 1990)

เมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) หรือที่รู้จักว่าเป็น แอลกอฮอล์ที่ได้จากการกลั่นไม้ (wood alcohol) ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์อื่นได้ดี มีความเป็นพิษสูง และมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียต่ำ จึงไม่นิยมนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อ การใช้งานส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม

การใช้งาน (Uses)

แอลกอฮอล์ถูกใช้เป็นสารทำความสะอาด สารทำลายเชื้อ และสารฆ่าเชื้อสำหรับร่างกาย ซึ่งแอลกอฮอล์เป็นสารที่ทำความสะอาดได้ดีโดยเฉพาะสิ่งปนเปื้อนประเภทไขมัน และสมบัติที่ทำให้พื้นผิวที่ทำความสะอาดแห้งเร็วหลังจากเช็ดด้วยแอลกอฮอล์ แต่สิ่งปนเปื้อนพวกโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอาจจะตกตะกอนได้เมื่อสัมผัสกับแอลกอฮอล์

แอลกอฮอล์ถูกใช้เป็นสารฆ่าเชื้อสำหรับร่างกายมายาวนาน โดยได้เริ่มมีการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของแอลกอฮอล์ตั้งแต่ปี ค.ศ.1881 โดยพบว่าแอลกอฮอล์บริสุทธิ์สามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียโรคแอนแทรกซ์ (Price, 1939) และได้มีการนำแอลกอฮอล์มาทำใช้ในการล้างมือบุคลากรทางการแพทย์ก่อนผ่าตัด รวมถึงการทำความสะอาดแผลและผิวหนังก่อนการฉีดยา การใช้แอลกอฮอล์ทำความสะอาดมือเพื่อฆ่าเชื้อโรคโดยไม่ต้องใช้น้ำ การศึกษาของ Price พบว่าแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 10%-20% โดยน้ำหนักไม่มีฤทธิ์หรือมีฤทธิ์น้อยในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และที่ความเข้มข้น 30%-50% โดยน้ำหนักมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคที่แรงขึ้น โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียควรอยู่ระหว่าง 60%-90%โดยน้ำหนัก (Price, 1950) กรมควบคุมและป้องกันโรคของสหรัฐอเมริกาได้แนะนำให้ใช้ผลิตภัณฑ์ล้างมือที่มีส่วนประกอบของแอลกอฮอล์ตั้งแต่ 60% ขึ้นไปในการป้องกันการติดต่อโรคในกรณีไปเยี่ยมผู้ป่วยที่โรงพยาบาลหรือในกรณีที่มือสกปรกและไม่สามารถล้างออกด้วยสบู่และน้ำได้ (Centers for Disease Control Prevention., 2012b) ในประเทศไทย กระทรวงสาธารณสุขได้ประกาศกำหนดลักษณะของเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์เพื่อทำความสะอาดมือโดยไม่ใช้น้ำต้องมีความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์หรือไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 โดยปริมาตร (กระทรวงสาธารณสุข, 2563b)

ไม่ควรใช้แอลกอฮอล์ในการทำให้ปราศจากเชื้อสำหรับอุปกรณ์การแพทย์และวัสดุสำหรับผ่าตัดเนื่องจากแอลกอฮอล์ไม่มีฤทธิ์ทำลายสปอร์ แต่แนะนำให้ใช้แอลกอฮอล์สำหรับทำลายเชื้อบนเทอร์โมมิเตอร์วัดไข้ทางปากและทางทวาร และ สเต็ทโตสโคป (stethoscopes) หรือหูฟังแพทย์ เนื่องจากมีรายงานพบว่าเทอร์โมมิเตอร์วัดไข้สามารถเป็นตัวกลางแพร่เชื้อ เอนเทอโรแบคเตอร์ โคลเอเก้ ที่ดื้อยาต้านจุลชีพหลายชนิด (multi-drug resistant Enterobacter cloacae) ซึ่งเป็นเชื้อที่พบบ่อยในโรงพยาบาล (van den Berg, et al., 2000) และสเต็ทโตสโคปเป็นอุปกรณ์ที่แพทย์ใช้ฟังเสียงปอดและหัวใจคนไข้เวลาตรวจร่างกาย พบว่ามีการพบปนเปื้อนเชื้อสแตปฟิโลคอคคัสออเรียสที่ดื้อยาเมธิซิลลิน (methicillin-resistant Staphylococcus aureus-MRSA) (Merlin, et al., 2009) การ

ใช้เจลแอลกอฮอล์สามารถทำลายเชื้อ MRSA ที่ปนเปื้อนสเต็ทโตสโคปได้มีประสิทธิภาพ (Teixeira, et al., 2015)

แอลกอฮอล์ในรูปแบบแผ่นทำความสะอาด (alcohol wipes or towelettes) สามารถใช้เช็ดฆ่าเชื้อฝาขวดยาฉีดที่ใช้หลายครั้งหรือขวดวัคซีนได้ กรมควบคุมและป้องกันโรคของสหรัฐอเมริกาไม่แนะนำให้ใช้แอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อบนพื้นผิวขนาดใหญ่เนื่องจากแอลกอฮอล์ระเหยได้เร็วทำให้ควบคุมเวลาในการสัมผัสกับเชื้อได้ยาก (Sehulster, et al., 2003) การใช้งานสำหรับพื้นผิวจึงควรใช้ทำลายเชื้อบนพื้นผิวที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

ข้อดีและข้อเสีย

แอลกอฮอล์จัดเป็นสารทำลายเชื้อระดับต่ำ (low-level disinfection) มีข้อดีคือ ใช้ง่าย ไม่ติดเสื้อผ้า มีกลิ่นไม่แรง ออกฤทธิ์เร็ว และให้ฤทธิ์ฆ่าเชื้อกว้าง ไม่มีสารตกค้าง ส่วนข้อเสียคือ มีฤทธิ์จำกัดต่อการฆ่าเชื้อไวรัสที่ไม่มีชั้นไขมันหุ้มบางชนิด, ไม่สามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียได้, ประสิทธิภาพจะลดลงหากมีสารอินทรีย์ปนเปื้อน และสมบัติที่เป็นสารติดไฟ (Boyce, 2018) การใช้ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์เพื่อทำความสะอาดมือ หากใช้เป็นเวลานานอาจทำให้ผิวแห้ง ระคายเคือง และเกิดอันตรายต่อผิวหนังได้

คลอรีนและสารประกอบคลอรีน (Chlorine and Chlorine Compounds)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คลอรีน (Chlorine-Cl) มีประวัติการใช้มานานที่ถูกใช้เป็นสารฆ่าเชื้อสำหรับร่างกาย โดยใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ.1847 โดย นายแพทย์ Ignaz Phillip Semmelweis สูตินารีแพทย์ชาวฮังการี ได้นำแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ มาเป็นน้ำยาล้างมือเพื่อลดการปนเปื้อนเชื้อและการแพร่กระจายเชื้อไปยังผู้ป่วยหลังคลอด (Nuland, 1979) ในปี ค.ศ. 1908 ได้มีการใช้โซเดียมไฮโปรคลอไรด์ มาใช้ในการฆ่าเชื้อในน้ำดื่มเป็นครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา (Hall and Dietrich, 2000)

คลอรีนมีความหมายในภาษากรีกแปลว่า สีเขียวเหลือง ด้วยเนื่องจากแก๊สคลอรีนให้สีเหลืองแกมเขียว คลอรีนจัดอยู่ในกลุ่มฮาโลเจน (Halogen) ซึ่งเป็นหมู่ที่ 17 ของตารางธาตุ สารที่อยู่ในกลุ่มนี้จะมีอีเล็กตรอนในวงนอกสุด 7 ตัว จึงต้องรับอิเล็กตรอนภายนอก 1 ตัวเพื่อให้ครบ 8 ตัว เป็นไปตามกฎของออกเตต (octet rule) ที่อะตอมต้องพยายามที่จะทำให้อิเล็กตรอนวงนอก (valence electron) ของตัวเองให้ครบแปด ปฏิกิริยาที่มีการดึงอิเล็กตรอนมาจากอะตอมอื่น เรียกว่าเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน

(oxidation) และสารที่ทำหน้าที่รับอีเล็กตรอนมาเรียกว่า ตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) คลอรีนจัดเป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงมาก

<u>กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)</u>

กลไกในการทำลายเชื้อของคลอรีนมีมากกว่าหนึ่งกลไกได้แก่ การทำลายคุณสมบัติของเอมไซม์ การทำลายกรดนิวคลีอิกซึ่งเป็นสารพันธุกรรมทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเติบโตได้ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ทำลายผนังเซลล์ เมื่อคลอรีนละลายกับน้ำ จะได้กรดไฮโปคลอรัส ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อของคลอรีนจะขึ้นอยู่กับการแตกตัวของคลอรีนที่ให้กรดไฮโปคลอรัส (hypochlorous acid-HOCL) และ กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) ตามสมการเคมีด้านล่าง

$$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HOCl + HCl$$

กรดไฮโปคลอรัสเป็นกรดอ่อนๆ ซึ่งจะแตกตัวให้ ไฮโปคลอไรท์ไอออน และไฮโดรเจนไอออน

$$HOCL \rightleftharpoons H^+ + OCl^- \text{ (hypochlorite ion)}$$

ปฏิกิริยานี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและค่า pH ที่อุณหภูมิ 25°C และ pH 7.5 ครึ่งหนึ่งของคลอรีนจะอยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอรัส และอีกครึ่งหนึ่งจะอยู่ในรูปของไฮโปคลอไรท์ไอออน ซึ่งหาก pH มีค่าต่ำกว่า 7.5 จะเกิดกรดไฮโปคลอรัสที่ไม่แตกตัว (undissociated form) เป็นส่วนใหญ่ และหาก pH ต่ำถึง 5 จะพบว่าคลอรีนเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอรัส ในทางกลับกัน หาก pH มีค่ามากกว่า 7.5 จะได้ไฮโปคลอไรท์ไอออนเป็นส่วนใหญ่ และถ้า pH เท่ากับ 10 คลอรีนเกือบทั้งหมดจะอยู่ในรูปของไฮโปคอลไรท์ไอออน ซึ่งพบว่ากรดไฮโปคลอรัสจะมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อที่สูงกว่าไฮโปคอลไรท์ไอออนมากเนื่องจากกรดไฮโปคลอรัสไม่มีประจุและมีโมเลกุลขนาดเล็กจึงผ่านเขาสู่เซลล์จุลชีพได้ดี ในขณะที่ไฮโปคลอไรท์ไอออนจะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อไม่ดี ดังนั้นประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของคลอรีนจึงอยู่กับกรดไฮโปคลอรัสเป็นหลัก (Rossington, 2013)

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

คลอรีนมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวก และแกรมลบ เชื้อรา ไวรัส และสปอร์แบคทีเรียในระยะเติบโตสามารถถูกทำลายโดยคลอรีนความเข้มข้นต่ำ (0.1 ถึง 0.3 mg/liter) ภายใน 30 นาที มีการใช้คลอรีนในการกำจัดไบโอฟิล์ม (biofilms) เพื่อควบคุมเชื้อแบคทีเรียที่พบได้บ่อยพวกซูโดโมแนส (*Pseudomonas*) และ ลีจิโอเนลลา *(Legionella*) คลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อไวรัสทั้งประเภทที่มีเปลือกหุ้มและไม่มีเปลือกหุ้มแม้ในภาวะที่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อน

สารประกอบคลอรีนอื่นที่มีใช้ในการทำลายเชื้อคือ คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide), โซเดียมไดคลอไรไอโซไซยานูเรท (sodium dichloroisocyanurate) และ คลอรามีน-ที (chloramine-T) ซึ่งสารเหล่านี้มีข้อดีคือมีการปล่อยคลอรีนได้นานกว่าสารกลุ่มไฮโปรคลอไรท์ จึงมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้นานกว่า โดย สารโซเดียมไดคลอไรไอโซไซยานูเรทจะมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อได้ดีกว่าโซเดียมไฮโปคลอไรท์ เนื่องจาก สารละลายโซเดียมไดคลอไรไอโซไซยานูเรท มีสภาวะเป็นกรด ในขณะที่สารละลาย โซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีสภาวะเป็นด่าง ซึ่งในสภาวะที่เป็นกรดคลอรีนส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอรัส

คลอรีนอิสระความเข้มข้นต่ำ (5 ppm) สามารถฆ่าเชื้อแบคเทีเรียภายได้ในไม่กี่วินาทีในสภาพที่ไม่มีสารอินทรีย์ ในความเข้มข้นสูง 1000 ppm สามารถฆ่าเชื้อวัณโรค *M.tuberculosis* ได้ และความเข้มข้น 5000 ppm สามารถทำลายสปอร์ของเชื้อ *Clostridium difficile* ภายใน 10 นาที ในความเข้มข้น 200 ppm มีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อไวรัส ส่วนคลอรีนที่ความเข้นข้น 500 ppm พบว่าสามารถทำลายเชื้อรา *Candida* ได้ภายใน 30 วินาที

การใช้งาน (Uses)

ไฮโปรคลอไรด์ (hypochlorites) เป็นสารประกอบคลอรีนที่นิยมใช้กันมาก มี 2 รูปแบบคือรูปแบบของเหลว คือ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite-NaOCl) และ รูปแบบของแข็ง คือ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (calcium hypochlorite-CaOCl) มีการใช้งานกว้างขวางในการทำลายเชื้อในน้ำ ทั้งระบบผลิตน้ำดื่ม น้ำประปา หรือในสระว่ายน้ำ และใช้ในการทำความสะอาดพื้นผิว การใช้งานส่วนใหญ่นิยมใช้รูปแบบของเหลว โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ที่ความเข้มข้น 5.25%-6.15% (เทียบเท่าคลอรีนอิสระ 52,500-61,500 ppm) โซเดียมไฮโปคอลไรท์ มีชื่อที่เป็นที่รู้จักคือ “คลอรีนน้ำ” และเนื่องจากโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีคุณสมบัติในการฟอกสี จึงมีชื่อเรียกอื่นคือ “น้ำยาฟอกขาว” ที่ใช้

ทั่วไปตามบ้านเรือนในการซักผ้าขาว มีข้อดีคือ มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อกว้าง ไม่ก่อให้เกิดสารพิษตกค้าง ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำกระด้าง ราคาถูก ออกฤทธิ์เร็ว และสามารถกำจัดไบโอฟิล์มจากพื้นผิวได้ ส่วนข้อเสียคือ สามารถทำให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตา (ocular irritation) ทางเดินหายใจทางปาก (oropharyngeal) หลอดอาหาร (esophagus) และกระเพาะอาหารได้ โซเดียมไฮโปคอลไรท์จะมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อลดลงเมื่อมีสารอินทรีย์ปะปน ทั้งทำให้ผ้าเปลี่ยนสีและสีจางลง และหากผสมโซเดียมไฮโปคลอไรท์กับแอมโมเนียหรือกรดจะทำให้เกิดแก๊สพิษคลอรีนได้ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้นมากกว่า 500 ppm จะกัดกร่อนโลหะ

การใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อในน้ำช่วยในการควบคุมโรคติตต่อเช่น อหิวาตกโรค (cholera) และ ไข้ไทฟอยด์ (typhoid) โดยความเข้มข้นของคลอรีนอิสระที่ใช้ในน้ำดื่มปกติอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนการใช้ในการฆ่าเชื้อในสระว่ายน้ำหรือในระบบบำบัดน้ำเสียจะใช้ปริมาณที่สูงกว่า โดยทั่วไปจะใช้ความเข้มข้นระหว่าง 1 ถึง 3 มิลลิกรัม/ลิตร องค์การอนามัยโลกได้แนะนำการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อในน้ำดื่ม ซึ่งความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (free chlorine) ในระบบการจ่ายน้ำควรมีไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร และในที่จุดที่ใช้งานควรมีคลอรีนอิสระเหลืออยู่อย่างน้อย 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (World Health Organization, 2017)

การตรวจพบเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ในอุจจาระของผู้ป่วยโควิด-19 (Chen, et al., 2020) ซึ่งเชื้อไวรัสที่พบในอุจจาระยังมีความสามารถในการแพร่เชื้อได้ (Xiao, et al., 2020) เช่นเดียวกับการพบไวรัส SARS-CoV และ MERS-CoV ในระบบน้ำเสียจึงมีโอกาสที่โรคระบาดเหล่านี้จะแพร่เชื้อผ่านทางสัมผัสอุจจาระผ่านทางปาก (fecal-oral route) (Yeo, et al., 2020) สำหรับในสถานการณ์ที่มีการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 องค์การอนามัยโลกได้แนะนำให้ค่าคลอรีนทั้งระบบควรมีค่าคลอรีนไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร (World Health Organization, 2020b)

สารละลายไฮโปคลอไรท์อาจมีสารหลงเหลือจากการใช้เป็นสารทำลายเชื้ออยู่ในน้ำ และก่อให้เกิดสารพลอยได้ที่ไม่พึงประสงค์ (disinfection by-products-DBPs) ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ระหว่างสารอินทรีย์กับคลอรีนอิสระ ได้เป็นสารกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (trihalomethanes-THMs) ฮาโลอะซิติกแอซิด (haloacetic acids-HAAs) และฮาโลอะซิโตไนไตรล์ (haloacetonitriles-HANs) โดยไตรฮาโลมีเทน เป็นกลุ่มที่พบได้บ่อยที่เป็นอันตรายต่อปลาและสัตว์น้ำต่างๆ

การใช้งานโซเดียมไฮโปคลอไรท์อาจสัมผัสกับกรดหากไม่ระวังเพราะทำให้เกิดแก๊สคลอรีนที่เป็นพิษ (Centers for Disease Control Prevention., 2012a) โซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ 5% ถึง 10% จัดว่าเป็นสารทำให้ระคายเคือง และความเข้มข้นที่ 10% ขึ้นไปถือว่ามีสารทำให้กัดกร่อนได้ (European Union Risk Assessment Report., 2007) ทางสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration-OSHA) ได้กำหนดค่าสูงสุดที่สัมผัสได้(Permissible exposure limit-PEL) ไม่เกิน 1 ppm สำหรับพนักงานที่ทำงานในระยะเวลาทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (Occupational Safety and Health Administration., 2020)

ข้อดีและข้อเสีย

ตารางที่ 2.2 ข้อดีข้อเสียของโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ข้อดี	ข้อเสีย
ให้ฤทธิ์กว้างในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (broad antimicrobial spectrum)	ระคายเคืองต่อเยื่อบุผิว
ออกฤทธิ์เร็ว	หากผสมกับกรดจะได้แก๊สคลอรีนที่มีพิษ
ละลายน้ำได้ทำให้สะดวกในการใช้	มีกลิ่น
มีความคงตัวในสารละลายตามความเข้มข้นที่ใช้	ประสิทธิภาพลดลงหากสัมผัสกับสารอินทรีย์
ค่อนข้างปลอดภัยในความเข้มข้นที่ใช้งาน	กัดกร่อนโลหะบางชนิด
ไม่มีสี ไม่ติดไฟ ราคาไม่แพง	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)

ฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde) มีใช้เป็นสารทำลายเชื้อทั้งในรูปแบบของเหลว และ แก๊ส โดย ฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปแบบของเหลวชนิดที่รู้จักกันดีในชื่อว่า ฟอร์มาลิน (formalin) ซึ่งเป็นสารละลายในน้ำของฟอร์มาลดีไฮด์ 37% โดยน้ำหนัก และมีในรูปแบบของโพลีเมอร์คือพาราฟอร์มาลดีไฮด์ที่เป็นผงสีขาว มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย วัณโรค เชื้อรา ไวรัส และสปอร์ องค์กรวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (International Agency for Research on Cancer: IARC) ได้จัดให้ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่มที่ 1 คือทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้คือ มะเร็งโพรงจมูก (IARC,

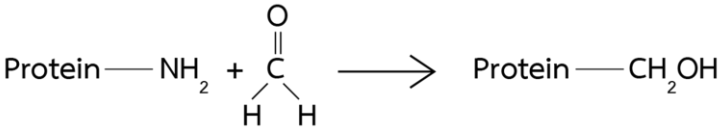
2006) เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็ง ทางสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้พนักงานที่ทำงาน ต้องได้รับการสัมผัสกับฟอร์มาลดีไฮด์ไม่เกิน 0.75 ppm ในระยะเวลาทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง และสูงสุดไม่เกิน 2 ppm ในระยะเวลาทำงาน 15 นาที

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

กลไกการออกฤทธิ์ของฟอร์มาลดีไฮด์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ เป็นการทำปฏิกิริยาแอลคิเลชัน (alkylation) ซึ่งเป็นการเติมหมู่แอลคิลเข้าไปที่หมู่แอมิโน (amino groupe-NH_2) และ หมู่ซัลฟ์ไฮดรอล (sulfhydral groupe-SH) ของโปรตีน และเกิดพันธะเชื่อมโยง หรือ ครอสลิงก์ (crosslink) ทำให้เกิดวงไนโตรเจนของเบสพิวรีน (purine base) ของโปรตีน เกิดการยับยั้งการสร้างอาร์เอ็นเอ (RNA) ดีเอ็นเอ (DNA) และโมเลกุลอื่น (McKeen, 2012)

ปฏิกิริยาแอลคิเลชัน (alkylation) ของฟอร์มาลดีไฮด์

ขั้นตอน **1:** ปฏิกิริยาแอลคิเลชัน โดยฟอร์มาลดีไฮด์



ขั้นตอน **2:** โปรตีนสร้างพันธะเชื่อมโยง **(crosslink)** กับโปรตีนอื่น

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

ฟอร์มาลินความเข้มข้น 8% สามารถทำลายเชื้อไวรัสโปลิโอได้ภายใน 10 นาที ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 4% สามารถฆ่าเชื้อวัณโรคได้ภายใน 2 นาที และ ฟอร์มาลดีไฮด์ 2.5% ทำลายเชื้อแบคทีเรีย ซาลโมเนลลา (*salmonella*) ได้ภายใน 10 นาที โดยทั่วไปฟอร์มาลดีไฮด์จะมีประสิทธิภาพลดลงหากมีสารอินทรีย์ปนเปื้อน ฤทธิ์ในการกำจัดสปอร์ของฟอร์มาลดีไฮด์ (ความเข้มข้น 4%) จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่ากลูตารัลดีไฮด์ (ความเข้มข้น 2%) ในการลดเชื้อให้ได้ 4-log reduction และฟอร์มาลดีไฮด์ต้องใช้เวลาสัมผัสนานกว่าถึง 2 ชั่วโมง ในขณะที่ กลูตารัลดีไฮด์ใช้เวลาสัมผัสนาน 15 นาที

การใช้งาน

สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ความเข้มข้น 4% ถึง 8% ในน้ำหรือแอลกอฮอล์ ใช้เป็นสารทำลายเชื้อสำหรับพื้นผิวที่แข็ง โดยเฉพาะการใช้งานในห้องปฏิบัติการ ฟอร์มาลินมีการใช้งานหลักในการรักษาสภาพของชิ้นเนื้อหรืออวัยวะไม่ให้เน่าเปื่อย ฟอร์มาลดีไฮด์ยังใช้ในการผลิตสินค้า เช่น วัสดุเกี่ยวกับเรซิน กาว และการผลิตวัคซีนโปลิโอ

แก๊สฟอร์มาลดีไฮด์สามารถสร้างขึ้นได้หลายวิธี โดยการให้ความร้อนแก่พาราฟอร์มาลดีไฮด์หรือให้ความร้อนแก่ฟอร์มาลิน หรือผสมฟอร์มาลินกับเกล็ดด่างทับทิม (potassium permanganate crytals) การใช้งานในรูปรมไอ (fumigation) เพื่อฆ่าเชื้อในห้องหรือในตู้เพาะเชื้อ ขนาดที่ใช้ทั่วไปคือ ฟอร์มาลิน 6 กรัมผสมกับน้ำ 40 มิลลิลิตรต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร การรมด้วยแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์จะใช้เวลาประมาณ 7 ชั่วโมงและทิ้งห้องไว้ 2 วันเพื่อให้แก๊สสลายตัว ประสิทธิภาพของการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ที่ควรมีมากกว่า 70%

ถึงแม้ว่าฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารทำลายเชื้อระดับสูง (high-level disinfectant) แต่การใช้งานก็มีจำกัดเนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้เกิดความระคายเคืองและมีกลิ่นฉุน แม้ว่าจะใช้ปริมาณน้อย (<1 ppm) และมีความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ เช่น โรคมะเร็งโพรงจมูกและมะเร็งปอด ส่วนพาราฟอร์มาลดีไฮด์ (paraformaldehyde) ซึ่งเป็นฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปแบบของแข็ง มีการนำมาใช้งานในการฆ่าเชื้อตู้ชีวะนิรภัยโดยทำให้กลายเป็นไอด้วยความร้อนเวลาใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อดีและข้อเสีย

การรมด้วยแก๊สฟอร์มาลดีไฮด์มีข้อดีคือทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำ ฟอร์มาลดีไฮด์ทั้งของเหลวและแก๊สมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่กว้าง และเข้าได้กับวัสดุหลายเช่น ทั้งโลหะและพลาสติก ส่วนข้อเสียคือเป็นสารที่เป็นพิษ ระคายเคือง และถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง การสูดดมอาจทำให้เกิดอาการหายใจลำบาก และทำลายการดมกลิ่นถาวร ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปริมาณ 0.2 ppm ทำให้เกิดการแพ้ที่ผิวหนังได้และที่ปริมาณ 0.5 ppm ทำให้เกิดการระคายเคืองที่ตาและเยื่อบุ

กลูตาราลดีไฮล์ (Glutaraldehyde)

กลูตาราลดีไฮด์เป็นสารกลุ่มอัลดีไฮด์ (aldehyde) เกิดจากกรดกลูตาริค (glutaric acid) สร้างพันธะกับอัลดีไฮด์ 2 หมู่ มีใช้งานแพร่หลายในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ เช่น ใช้ฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ไม่ทนต่อความร้อน โดยใช้เป็นสารทำลายเชื้อระดับสูง (high-level disinfectant) หรือสารเคมีทำให้ปราศจากเชื้อ (chemical sterilant) และคงประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อแม้ว่ามีสารอินทรีย์ปนเปื้อนเช่นเลือดหรือสารคัดหลั่ง และการไม่กัดกร่อนต่อโลหะ กลูตาราลดีไฮด์ในรูปแบบของเหลวบางสูตรจะมีสภาพเป็นกรดที่จะไม่สามารถทำลายสปอร์ได้ เวลาใช้งานจะต้องถูก “activated” คือการเปลี่ยนสภาพให้เป็นด่าง โดยการเติมสารละลายด่างลงไป จึงจะมีฤทธิ์ในการทำลายสปอร์ได้ และเมื่อถูกเปลี่ยนสภาพเป็นด่างจะมีอายุใช้งานได้อย่างน้อย 14 วัน แต่กลูตาราลดีไฮด์สูตรใหม่ได้มีการพัฒนาให้สามารถเก็บได้นานขึ้นโดยไม่เสียประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อ

<u>กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)</u>

เป็นการทำปฏิกิริยาแอลคิเลชัน (alkylation) ซึ่งเป็นการเติมหมู่แอลคิลเข้าไปทีหมู่ซัลฟ์ไฮดรอล (sulfhydral groupe-SH), หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group-OH), หมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group-COO) และหมู่แอมิโน (amino group-NH_2) ของเชื้อจุลชีพทำให้มียับยั้งการสร้างอาร์เอ็นเอ (RNA) ดีเอ็นเอ (DNA) และโปรตีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)</u>

กลูตาราลดีไฮด์ ความเข้มข้นมากกว่าหรือเท่ากับ 2% ในสภาวะที่เป็นด่างที่ pH ระหว่าง 7.5-8.5 ด้วยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) จะมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียภายใน 2 นาที และฆ่าเชื้อ วัณโรค เชื้อรา และไวรัสได้ภายใน 10 นาที ส่วนการฆ่าสปอร์ของเชื้อ บาซิลลัส (Bacillus) และ คลอสตริเดียม (Clostridium) ได้ภายใน 3 ชั่วโมง กลูตาราลดีไฮด์ในสภาวะที่เป็นด่างจะมีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อ วัณโรคได้ดีกว่าในสภาวะที่เป็นกรด กลูตาราลดีไฮด์ความเข้มข้น 2% สามารถทำลายเชื้อวัณโรคจำนวน 10^5 บนพื้นผิวเซรามิคได้ภายในเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 18 °C (Collins and Montalbine, 1976)

การใช้งาน

กลูตาราลดีไฮด์ ส่วนใหญ่ถูกใช้งานเป็นสารทำลายเชื้อระดับสูงสำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ เช่น กล้องส่องทางเดินอาหาร อุปกรณ์ทางเดินหายใจ เนื่องจากกลูตาราลดีไฮด์ไม่กัดกร่อนโลหะ ยาง และพลาสติก แต่ไม่นิยมใช้กับงานสำหรับทำความสะอาดพื้นผิวของอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่ำ (Noncritical items) เนื่องจากมีความเป็นพิษและมีราคาแพง และการใช้งานกลูตาราลดีไฮด์ในเครื่องมือแพทย์ต้องระวังเรื่องสารตกค้างเนื่องจากมีรายงานพบ กลูตาราลดีไฮด์ที่ตกค้างในกล้องส่องทางเดินอาหารและทำให้เกิดลำไส้อักเสบได้ (Glutaraldehyde colitis)

ข้อดีและข้อเสีย

กลูตาราลดีไฮด์เป็นสารทำลายเชื้อที่ออกฤทธิ์เร็ว ใช้กับอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่ทนความร้อนไม่ได้ ไม่กัดกร่อนโลหะ พลาสติกและยาง ข้อเสียของกลูตาราลดีไฮด์คือการระคายเคืองและเป็นพิษต่อผิวหนัง เยื่อบุ และระบบทางเดินหายใจ การระคายเคืองทางเดินหายใจสามารถพบได้แม้ในความเข้มข้นต่ำ 0.3 ppm ดังนั้นการใช้งานจึงต้องมีระบบระบายอากาศที่ดี

ออร์โท-พทาลอัลดีไฮด์ (Ortho-phthalaldehyde-OPA)

ออร์โท-พทาลอัลดีไฮด์ ได้รับการยอมรับจากองค์การอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกา จัดให้เป็นสารทำลายเชื้อระดับสูง (high-level disinfectant) ในปี ค.ศ.1999 มีส่วนผสมเป็น 1,2-benzenedicarboxaldehyde (OPA) ที่ความเข้มข้น 0.55% โดยสารละลาย OPA เป็นสารละลายใส มีสีฟ้าอ่อน มีค่า pH เท่ากับ 7.5

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

OPA ออกฤทธิ์คล้ายกับกลูตาราลดีไฮด์ ที่ทำปฏิกิริยากับกรดแอมิโน, โปรตีน และเชื้อจุลินทรีย์ แต่ OPA จะสร้างพันธะเชื่อมขวาง (crosslink) ได้น้อยกว่ากลูตาราลดีไฮด์ แต่เนื่องจาก OPA เข้าได้ดีกับน้ำมัน (lipophilic) จึงสามาถซึมเข้าสู่ชั้นนอกของ mycobacteria และเชื้อแบคทีเรียชนิด gram-negative ได้ดี

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

OPA มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี โดยมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ มัยโคแบคทีเรีย (mycobacteria) ได้ 5-log reduction ภายใน 5 นาทีซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับกลูตาราลดีไฮด์

การใช้งาน (Uses)

OPA มีข้อดีเหนือกว่ากลูตาราลดีไฮด์หลายด้าน ได้แก่การมีความคงตัวต่อ pH กว้าง (pH 3-9) ไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตาและโพรงจมูก จึงไม่ต้องเฝ้าระวังเรื่องปริมาณการสัมผัสเวลาใช้ , OPA มีกลิ่นฉุนน้อยกว่า และไม่ต้องอาศัยการทำ “activation” เวลาใช้งานเหมือนกลูตาราลดีไฮด์ OPA เข้าได้ดีกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ไม่ทำให้กัดกร่อน แต่ข้อเสียของ OPA คือสามารถติดสีที่โปรตีนทำให้เกิดสีชีด เช่นทำให้ผิวหนังเปลี่ยนเป็นสีชีดได้ การล้างหัวเครื่องมือตรวจหลอดอาหารที่ฆ่าเชื้อด้วย OPA ออกไม่หมดทำให้เกิดผิวหนังที่ปากเปลี่ยนสีได้

มีการรายงานการแพ้รุนแรง (anaphylaxis-like reaction) ในผู้ป่วยที่ได้รับการส่องกล้องตรวจกระเพาะปัสสาวะที่ฆ่าเชื้อด้วย OPA จึงมีการกำหนดให้ต้องล้าง OPA ออกให้หมดและไม่ใช้ OPA ฆ่าเชื้อกล้องส่องกระเพาะปัสสาวะในผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งที่กระเพาะปัสสาวะ

ข้อดีและข้อเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

OPA มีข้อดีคือไม่ระคายเคืองตาและโพรงจมูก ไม่ต้องการทำ “activation”ก่อนการใช้งาน ออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อต่อมัยโคแบคทีเรียได้เร็วและทำลายเชื้อที่ดื้อต่อกลูตาราลดีไฮด์ได้ ข้อเสียของ OPA มีฤทธิ์ในการทำลายสปอร์ของแบคทีเรียและซีสต์โปรโตซัวบางชนิดได้น้อย และทำให้เกิดการติดสีเทาหรือดำบนพื้นผิว เนื้อเยื่อ และเสื้อผ้า ที่ใช้งาน

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็น สารออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ที่แรง เป็นสารฆ่าเชื้อที่ใช้มากที่สุดตัวหนึ่งในด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม และตามครัวเรือน ทั้งในรูปแบบของเหลวและแก๊ส ในรูปแบบของของเหลวจะมีวางจำหน่ายในความเข้มข้นตั้งแต่ 3% ถึง 90% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

บริสุทธิ์จะมีความคงตัว แต่ในรูปแบบของสารละลายเจือจางจะมีการเติมสารช่วยทำให้คงตัว (stabilizer) เช่น อะซิตานิไลด์ (acetanilide) หรือ ฟีนอล (phenol)

เปอร์ออกไซด์ (peroxide) มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากการสลายตัวให้ น้ำ และออกซิเจน เมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงหรือได้รับตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เช่น สารอินทรีย์, เอนไซม์คะตาเลส (catalase) หรือ เปอร์ออกซิเดส (peroxidase), โลหะพวก เหล็ก ทองแดง แมงกานีส

<u>กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)</u>

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ออกฤทธิ์ผ่านการสร้างสารอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล (hydroxyl free readical) ที่ไปทำลาย ชั้นไขมัน ดีเอ็นเอ และส่วนประกอบภายในเซลล์ ของเชื้อจุลินทรีย์ มีจุลินทรีย์บางชนิดที่สามารถสร้างเอมไซม์คะตาเลส (catalase) ที่ใช้ในการสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นน้ำและออกซิเจน จึงทำให้สามารถทนต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ สำหรับกลไกการออกฤทธิ์ในการทำลายสปอร์จะทำให้สปอร์ไม่สามารถขยายตัวได้เหมาะสมในช่วงการงอกของสปอร์ (Melly, et al., 2002)

<u>การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)</u>

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อกว้าง ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ รา ไวรัส และ สปอร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ชนิดเร่ง (accelerated hydrogen peroxide) ความเข้มข้น 0.5% สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และ ไวรัส ได้ภายใน 1 นาที และฆ่าเชื้อวัณโรคและเชื้อรา ได้ภายใน 5 นาที (Omidbakhsh and Sattar, 2006) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 6% ถึง 25% สามารถใช้เป็นสารเคมีทำให้ปราศจากเชื้อได้ ผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายที่ใช้สำหรับทำให้ปราศจากเชื้อจะเป็นรูปแบบผสมพร้อมใช้งาน เป็นการผสมระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 7.5% และกรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) 0.85% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 7.5% สามารถกำจัดเชื้อวัณโรคมัยโคแบคทีเรียมทูเบอร์คูโลซิส (*Mycobacterium tuberculosis*) ที่ดื้อยา จำนวน 10^5 ได้ภายใน 10 นาที และลดเชื้อไวรัสโปลิโอ (poliovirus) และไวรัสตับอักเสบเอ (*hepatitis A virus*) ได้ภายใน 30 นาที

การใช้งาน

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีการใช้งานหลากหลายทั้งใช้เป็นสารกันเสีย (preservative) สารฆ่าเชื้อสำหรับร่างกาย, สารทำลายเชื้อ, ใช้รมเพื่อทำลายเชื้อ (fumigation) และใช้ทำให้ปราศจากเชื้อ โดยสามารถใช้ในรูปแบบสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในน้ำหรือรูปแบบแก๊ส และสามารถใช้ร่วมกับสารทำลายเชื้ออื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้ โดยหากใช้ในรูปแบบของเหลวจะถูกเก็บไว้ในภาชนะพลาสติกที่มีรูระบายอากาศ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวได้ออกซิเจนและน้ำ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 3% ที่มีความคงตัวและมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อบนพื้นผิวที่ไม่มีชีวิต โดยทั่วไปใช้ความเข้มข้นระหว่าง 3% ถึง 6% ในการทำลายเชื้อของคอนแทคเลนส์แบบนิ่ม เครื่องวัดความดันลูกตา เครื่องช่วยหายใจ กล้องเอ็นโดสโคป (endoscope) การฆ่าเชื้ออุปกรณ์ทางการแพทย์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต้องระวังเรื่องสารตกค้าง มีรายงานพบเครื่องวัดความดันลูกตาที่แช่ในไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไม่ได้ล้างออกหมดทำให้เกิดอันตรายต่อกระจกตา (Levenson, 1989) และการล้างกล้องส่องทางเดินอาหารที่ยังมีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างอยู่ทำให้เกิดลำไส้อักเสบ (colitis) ได้ (Bilotta and Waye, 1989)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปแบบของเหลวจะมีการใช้งานจำกัดกว่ารูปแบบของแก๊ส โดยส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่นการทำให้ปราศจากเชื้อในบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุแบบปลอดเชื้อ (aseptic filling lines) โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30-60% ในระยะเวลาหนึ่งแล้วกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่หลงเหลือด้วยน้ำหรือใช้ความร้อน ซึ่งไฮโดรเจนในรูปของแก๊สสามารถใช้แทนรูปแบบของเหลวในการใช้ทำให้ปราศจากเชื้อในการบรรจุแบบปลอดเชื้อโดยมีข้อดีกว่ารูปแบบของเหลวคือการมีสารตกค้างน้อยกว่า

แก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถสร้างได้จาก 2 วิธีคือวิธีการระเหย (evaporation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดอย่างช้าๆ ที่ของเหลวจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นแก๊สในระยะเวลาที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมปิด ซึ่งแก๊สที่เกิดขึ้นจะมีสัดส่วนที่เป็นน้ำมากกว่าเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไม่ค่อยมีประโยชน์ในการใช้งาน และวิธีการกลายเป็นไอ (vaporization) จะทำให้ของเหลวกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว แก๊สที่เกิดขึ้นจะมีสัดส่วนของน้ำและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับความเข้มข้นของของเหลวตั้งต้น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของเหลวจะถูกทำให้ร้อน (>100°C) เพื่อให้เป็นแก๊สและส่งเข้าไปในห้องอบ (chamber) ระบบการสร้างแก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อาจจะใช้เฉพาะแก๊สอย่างเดียวหรือใช้ร่วมกับพลาสมา (plasma) ก็ได้

เครื่องทำให้ปราศจากเชื้อด้วยแก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide gas sterilizer) จะประกอบด้วยห้องอบ (chamber) ที่ทำด้วยอลูมิเนียมหรือวัสดุอื่นที่ไม่ทำปฏิกิริยาและสามารถรับแรงดันได้ 0.02 kPa แก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกสร้างจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของเหลว ความเข้มข้น 35% ถึง 59% ในปริมาตรที่กำหนดไว้จะทำให้ร้อนและทำให้เป็นไอและส่งเข้าไปในห้องอบ หรืออาจจะมาในรูปของตลับที่บรรจุไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไว้แล้วและตลับจะถูกเจาะรูและดูดเข้าไปในห้องอบ ในเครื่องบางรุ่นจะมีห้องที่คอยเก็บแก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ได้ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ โดยการลดอุณหภูมิ ให้เกิดการควบแน่น และกำจัดน้ำออกให้เหลือแต่แก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ห้องอบ ซึ่งห้องอบนี้จะถูกดูดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกด้วยปั๊มสุญญากาศและอาจมีตัวช่วยทำลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่ม

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปแบบแก๊สจะมีการใช้งานหลากหลายกว่า นิยมนำมาใช้ทำให้ปราศจากเชื้ออุปกรณ์การแพทย์เพื่อนำมาใช้ซ้ำ โดยเป็นวิธีทำให้ปราศจากเชื้อด้วยอุณหภูมิต่ำนำมาใช้ทดแทนการทำให้ปราศจากเชื้อด้วย เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) และฟอร์มาลดีไฮด์ (formaldehyde)

ในช่วงการระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ได้มีการศึกษาที่นำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในการฆ่าเชื้ออุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลเพื่อนำมาใช้ซ้ำ โดยมีการใช้เทคโนโลยีของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกันที่มีผลต่อการฆ่าเชื้อ Fischer และคณะพบว่าการใช้ไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (HPV) เป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อบนหน้ากาก N95 โดยสามารถทำลายเชื้อ SARS-CoV-2 ได้รวดเร็วกว่าการใช้รังสีอัลตราไวโอเลต และความร้อน (Fischer, et al., 2020) Schwartz และคณะใช้ไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide Vapor) ที่สร้างจากเครื่อง Bioquell Clarus C System (Schwartz, et al., 2020) Kenney และคณะ ได้ใช้ไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (HPV) ที่สร้างจากเครื่อง BQ-50 system (Kenney, et al., 2020) ซึ่งทั้งคู่เป็นเครื่องพ่นไอฆ่าเชื้อภายในห้อง (room disinfection) พบว่าสามารถฆ่าเชื้อในหน้ากาก N95 ได้ และไม่มีผลต่อความกระชับใบหน้า ส่วน Hao และคณะ ได้ทำการศึกษาไอโฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (HPV) ที่สร้างขึ้นในตู้ฆ่าเชื้อสำหรับฆ่าเชื้อผ้าคลุมหมวกสำหรับอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ (Powered Air Purifying Respirator Hood-PAPR Hood) พบว่ามีประสิทธิภาพในการทำให้ปราศจากเชื้อ สามารถนำผ้าคลุมหมวกมาใช้ซ้ำได้ (Hao, et al., 2019) Oral และคณะ ได้ใช้เครื่อง STERIS VHP® LTS-V ซึ่งเป็นเครื่องทำให้ปราศจากเชื้ออุณหภูมิต่ำด้วยระบบไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ทำให้ปราศจากเชื้อในอุปกรณ์ทาง

การแพทย์ ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 59% มาใช้ในการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 โดยไม่ทำลายประสิทธิภาพการกรองและการกระชับบนใบหน้า

Derr และคณะ ได้ใช้เทคโนโลยีละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (aHP) ที่สร้างจากเครื่อง Pathogo Curis® decontamination system ที่เป็นเครื่องพ่นละอองฆ่าเชื้อภายในห้อง (room disinfection) ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 7% สามารถทำให้หน้ากาก N95 ปราศจากเชื้อได้ ส่วนการศึกษาของ Cramer และคณะเป็นการใช้เทคโนโลยี ไอออนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Ionized Hydrogen Peroxide-iHP) ที่สร้างจากเครื่อง SteraMist Binary Ionization Technology® (ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 7.8%) ซึ่งเป็นระบบการพ่นไอฆ่าเชื้อในห้อง (room disinfection) มาใช้ในการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) หน้ากาก N95 และอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ได้แก่ ผ้าคลุมหมวกสำหรับอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศ รวมถึงอุปกรณ์อื่นได้แก่ IPAD และ IPAD Case พบว่าการใช้ไอออนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พ่นให้ได้ความเข้มข้น 17.7 มิลลิลิตรต่อตารางเมตร ในระยะเวลา 100 นาที สามารถทำให้ปราศจากเชื้อบนหน้ากาก N95 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการกรอง (filtration efficiency) และความแนบกระชับกับใบหน้าของหน้ากาก (tight-fitting) แต่อุปกรณ์ป้องกันบุคคลอย่าง ท่อส่งอากาศในอุปกรณ์ปกป้องทางเดินหายใจแบบจ่ายอากาศบริสุทธิ์ (PAPR Hoses) ที่มีรูปร่างซับซ้อนเป็นกิ่งระบบปิดการใช้ไอออนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวจะไม่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ ต้องอาศัยการเตรียมด้วยการพ่น (pretreatment) ไอออนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยเครื่องแบบมือถือก่อน (iHP handheld deive) ก่อนจึงจะสามารถฆ่าเชื้อได้มีประสิทธิภาพ (Cramer, et al., 2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกเหนือจากการใช้ฆ่าเชื้อในอุปกรณ์ทางการแพทย์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังมีใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมสิ่งทอ เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์น้ำยาฟอกผ้าขาว เชื้อเพลิง และใช้ฆ่าเชื้อบนพื้นผิวในอุตสาหกรรม อาหาร ผัก และผลไม้ มีการใช้การพ่นไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในโรงฟักไข่เพื่อฆ่าเชื้อบนพื้นผิวไข่ไก่ สามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียในอากาศ ทำให้ไข่ไก่มีอัตราการฟักเป็นตัวที่มากขึ้นและการตายของตัวอ่อนลดลง โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพการฟักไข่ (Melo, et al., 2020) การใช้ละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (aHP) เพื่อพ่นทำลายเชื้อแบคทีเรียและยีสต์ในโรงงานนม มีประสิทธิภาพสามารถนำมาใช้เสริมในมาตรการดูแลรักษาความสะอาดในโรงงาน (Masotti, et al., 2019) การใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ล้างผลไม้ เมล่อนฮันนี่ดิว (honeydew melon) ก่อนเอาไปตัดสด สามารถลดจำนวนการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อ Salmonella ที่ผิวผลไม้ได้ และสามารถยืดอายุของผลตัดสดพร้อมรับประทานได้ (fresh-cut melon) (Ukuku, 2004) หรือการ

ใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ล้างมะเขือเทศที่ตัดสดแล้ว (fresh-cut tomato) สามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียที่ปนเปื้อนได้ 5-log reduction นอกจากการใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ล้างผลไม้ ยังมีการศึกษาการใช้การพ่นไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (HPV) เพื่อฆ่าเชื้อบนพื้นผิวแอปเปิล บลูเบอร์รี่ แตงกวา และสตอร์เบอรี่ พบว่า ไอโฮโดรเจนเปอร์ไซด์สามารถทำลายเชื้อบนพื้นผิวแอปเปิลและบลูเบอร์รี่ที่เป็นผลไม้ที่มีผิวเรียบและแข็งได้ดีกว่าผลไม้หรือผักที่มีผิวอ่อนอย่างสตอร์เบอรี่และแตงกวา (Becker, et al., 2020) การใช้เทคโนโลยีการพ่นไอออนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (iHP) สามารถนำมาใช้ฆ่าเชื้อบนพื้นผิวของแอปเปิลและมะเขือเทศ เพื่อป้องกันโรคระบาดจากการรับประทานแอปเปิลและมะเขือเทศที่ปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย Salmonella Typhimurium และ Listeria innocua (Song, et al., 2020)

<u>ข้อดีและข้อเสีย</u>

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารทำลายเชื้อที่แรง ความเข้มข้นสูงสามารถทำลายสปอร์ได้ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสลายตัวได้น้ำและออกซิเจน แก๊สไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่ออยู่ภายใต้อุณหภูมิใดที่ต่ำกว่าจุดควบแน่นจะมีประสิทธิภาพในการทำให้ปราศจากเชื้อ และสามารถใช้ได้กับวัสดุหลายชนิดโดยไม่กัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยา ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 3% ถึง 6% มีความปลอดภัยต่อผิวหนัง ข้อเสียคือในความเข้มข้นที่สูงที่ความเข้มข้น 35% จะทำให้ระคายเคืองผิวหนังเล็กน้อย และความเข้มข้น 50% จะระคายเคืองผิวหนังรุนแรง กัดกร่อนผิวหนัง และทำให้ผิวไหม้ได้ และในรูปแบบแก๊สการสัมผัสในปริมาณ 10mg/m^3 ทำให้ระคายเคืองทางเดินหายใจ (EU-RAR, 2003) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสหากใช้ฆ่าเชื้ออุปกรณ์ที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบจะทำให้เสื่อมสภาพได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรดเปอร์แอซีติกแอซิด (Peracetic acid)

กรดเปอร์แอซิติก หรือ กรดเปอร์ออกซีอะซีติก (peroxyacetic acid) มีสูตรเคมีคือ CH3CO3H ออกฤทธิ์ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่มีสารอันตรายตกค้าง (สลายตัวได้กรดอะซีติก, น้ำ, ออกซิเจน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อถึงแม้มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน และมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อสปอร์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ กรดเปอร์แอซีติกมีฤทธิ์กัดกร่อนทองแดง (copper) ทองเหลือง (brass) บรอนซ์ (bronze) เหล็ก (steel) และ เหล็กชุบสังกะสี (galvanized iron) กรดเปอร์แอซีติกส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุนแรงคล้ายน้ำส้มสายชู มีความเข้มข้นระหว่าง 5% ถึง 37% โดยความคงตัวจะน้อยกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

โดยเฉพาะในรูปการเจือจาง เช่น 1% สารละลายกรดเปอร์แอซีติกจะสลายตัวครึ่งหนึ่งภายใน 6 วัน ในขณะที่ 40% กรดเปอร์แอซีติกจะสลายตัว 1%-2% ต่อเดือน ผลิตภัณฑ์ของกรดเปอร์แอซีติกนิยมผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารอื่นเพื่อเพิ่มความคงตัว

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

กรดเปอร์แอซีติกมีกลไลการออกฤทธิ์เหมือนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยทำลายโปรตีนและผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์ กรดเปอร์แอซีติกต่างจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ไม่ถูกทำลายเอมไซม์คะตาเลส (catalase) หรือ เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) จากแบคทีเรีย

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

กรดเปอร์แอซีติกความข้มข้นน้อยกว่า 100 ppm มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิด แกรมบวก (gram-positive) และแกรมลบ (gram-negative), เชื้อรา และยีสต์ได้ภายใน 5 นาที ในกรณีที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อน ต้องใช้ความเข้มข้นระหว่าง 200-500 ppm ในการฆ่าเชื้อไวรัส จะใช้ความเข้มข้นระหว่าง 12-2250 ppm กรดเปอร์แอซีติกความเข้มข้น 0.26% สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย mycobacteria ได้ทุกสายพันธุ์ และความเข้มข้น 500-10,000 ppm สามารถทำลายสปอร์ได้ภายใน 15 วินาทีถึง 30 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การใช้งาน (Uses)

การใช้งานเครื่องฆ่าเชื้อสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์ ด้วยกรดเปอร์แอซีติกเป็นสารทำให้ปราศจากเชื้อ โดยการใช้กรดเปอร์แอซีติกความเข้มข้น 35% ทำให้เจือจางด้วยน้ำให้ได้ความเข้มข้น 0.2% ที่อุณหภูมิ 50°C สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ดี

ข้อดีและข้อเสีย

กรดเปอร์แอซีติกมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อที่กว้างในความเข้มข้นต่ำ มีความปลอดภัยในการใช้ ไม่เคยมีประวัติที่พบเชื้อโรคดื้อต่อกรดเปอร์แอซีติก และยังช่วยในกำจัดสารอินทรีย์ เช่น เลือด สารคัดหลั่งที่ตกค้างบนอุปกรณ์การแพทย์ (Tucker, et al., 1996) ข้อเสียคือมีกลิ่นฉุน สามารถระคายเคืองตา ผิวหนังเยื่อบุ และระบบทางเดินหายใจ การสัมผัสกับละอองกรดเปอร์แอซีติกปริมาณ 0.5 ถึง 1

ppm ทำให้ระคายเคืองทางเดินหายใจ (ECHA, 2015) การเก็บรักษากรดเปอร์แอซีติกควรเก็บในภาชนะที่อากาศถ่ายเทเพื่อป้องกันการเกิดการระเบิดและกรดเปอร์แอซีติกไม่คงตัวในน้ำ

ไอโอโดฟอร์ (Iodophor)

ไอโอโดฟอร์ (iodophor) เป็นสารประกอบไอโอดีน (iodine) กับสารช่วยละลาย (solubilizer) หรือสารตัวพา (carrier) ที่ช่วยทำให้เกิดการปลดปล่อยไอโอดีนอย่างช้าๆ (sustained-release) สารตัวพาส่วนใหญ่จะเป็นสารโพลิไวนิลไพโรลิโดน (polyvinylpyrrolidone) หรือ โพวิโดน (povidone) ผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ โพวิโดน-ไอโอดีน (povidone-iodine) ที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1955 ที่เมืองฟิลาเดลเฟีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดย H. A. Shelanski และ M. V. Shelanski เพื่อใช้ทดแทนทิงเจอร์-ไอโอดีน (tincture of iodine) ที่ทำให้เกิดผิวหนังไหม้ ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อของไอโอโดฟอร์จะขึ้นอยู่กับปริมาณไอโดดีนอิสระ ที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแม้ในความเข้มข้นต่ำ และพบว่าความเข้มข้นของไอโอโดฟอร์ที่ความเข้มข้นต่ำยังจะฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าความเข้มข้นสูง ปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่าเป็น “paradoxical effect” ที่ยังไม่ทราบเหตุผลที่แน่ชัด (Durani and Leaper, 2008)

<u>กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)</u>

ไอโอดีนสามารถแพร่ผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ได้อย่างรวดเร็วและไปทำปฏิกิริยากับหมู่ไทออล (thiol group) ของเอ็มไซม์และโปรตีน จึงทำลายเชื้อแบคทีเรีย สปอร์ และเชื้อรา ไอโอดีนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของไวรัสโปลิโอโดยไอโอดีนจะออกฤทธิ์ที่โปรตีนที่หุ้มกรดนิวคลีอิคมากกว่ากรดนิวคลีอิคโดยตรง และออกฤทธิ์โดยการเกิดออกซิเดชั่นของกรดแอมิโน ซิสเทอีน (cysteine), ไทโรซีน (tyrosine), ฮิสทีดีน (histidine) และปฏิกิริยากับชั้นไขมันที่หุ้มไวรัส ก็เป็นอีกกลไกหนึ่งในการทำลายเชื้อไวรัสที่มีไขมันหุ้ม (lipid-enveloped viruses) (Russell, 2003)

<u>การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)</u>

ไอโอโดฟอร์สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัสและรา ไอโอโดฟอร์มีการใช้งานเป็นสารทำลายเชื้อและสารฆ่าเชื้อตามร่างกายตามความเข้มข้นต่างๆ แต่พบว่าไอโอโดฟอร์ที่ความเข้มข้นต่ำจะไม่มีฤทธิ์ในการฆ่าสปอร์ (Fraise, et al., 2013) โพวิโดน-ไอโอดีน มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียดื้อยา MRSA, Chlamydia, Herpes simplex, adenoviruses และ enteroviruses (Reimer, et

al., 2002) โพวิโดน-ไอโอดีน ปกติมีขายในความเข้มข้นที่ 10% ซึ่งการใช้งานในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียจะเจือจางที่อัตราส่วน 1:2 ถึง 1:100

โพวิโดน-ไอโอดีน ความเข้มข้นสูงกว่า 0.5% สามารถยับยั้งเชื้อไวรัส measles, mumps, herpes, HIV, influenza, rota virus ในขณะที่เชื้อไวรัส rubella, polio, adeno, rhino ต้องใช้โพวิโดน-ไอโอดีนที่ความเข้มข้นสูงขึ้น โพวิโดน-ไอโอดีนความเข้มข้นตั้งแต่ 0.23% ถึง 1% สามารถฆ่าเชื้อไวรัส Sar-CoV ที่เป็นสาเหตุของโรค severe acute respiratory syndrome (SARS) ได้ภายใน 2 นาที (Kariwa, et al., 2006) มีการนำ โพวิโดน-ไอโอดีน มาใช้ฆ่าเชื้อสำหรับร่างกาย (antiseptic) โดยใช้ล้างมือเพื่อฆ่าเชื้อบนมือสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ก่อนผ่าตัด ใช้ผสมในน้ำยาบ้วนปากเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในช่องปาก โดยพบว่า โพวิโดน-ไอโอดีน ความเข้มข้น 7% ในน้ำยาบ้วนปาก เมื่อเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 1:30 (ได้ความเข้มข้น 0.23%) สามารถฆ่าเชื้อไวรัส SARs-CoV, MERs-CoV, Influenza virus A (H1N1) และ rotavirus ได้ภายใน 15 วินาที (Eggers, et al., 2018)

การศึกษาโพวิโดน-ไอโอดีนในผลิตภัณฑ์สเปรย์พ่นจมูกและน้ำยาบ้วนปากต่อการทำลายเชื้อ SARS-CoV-2 พบว่าโพวิโดน-ไอโอดีนในสเปรย์พ่นจมูกความเข้มข้น 0.5% และ โพวิโดน-ไอโอดีนในน้ำยาบ้วนปากความเข้มข้น 0.5% สามารถทำลายเชื้อไวรัส SARS-CoV-2 ได้ 4-log reduction ใน 60 วินาที ซึ่งอาจมีประโยชน์ในการนำมาพ่นจมูกหรือบ้วนปากหรือฆ่าเชื้อบนพื้นผิวในผู้ป่วยที่ติดเชื้อโควิด-19 หรือผู้ป่วยที่ต้องสงสัย (Pelletier, et al., 2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>การใช้งาน</u>

ไอโอโดฟอร์มีการใช้เป็นสารทำลายเชื้อในอุปกรณ์ทางการแพทย์ ได้แก่ ถังวารีบำบัดสำหรับกายภาพบำบัด (hydrotherapy tank) เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermometer) และขวดเก็บเลือดเพาะเชื้อ (blood culture bottle) ไอโดโดฟอร์ใช้เป็นสารทำลายเชื้อในหลายความเข้มข้น แต่ไม่นิยมนำมาใช้ทำลายเชื้อบนพื้นผิวชนิดแข็ง เนื่องจากความเข้มข้นแตกต่างกัน การใช้งานไอโอโดฟอร์เพื่อฆ่าเชื้อสำหรับร่างกาย (antiseptic) จะใช้สูตรที่มีปริมาณไอโอดีนอิสระน้อยกว่าเพื่อใช้ในการทำลายเชื้อ (disinfection) ผลิตภัณฑ์ที่มีไอโอดีนไม่เหมาะสมใช้กับท่อหรือสายซิลิโคน (silicone tube) เนื่องจากทำให้ท่อหรือสายซิลิโคนอ่อนลงได้ (Becker, 2000)

กรมอนามัยได้ออกประกาศเรื่อง แนวทางการปฏิบัติการรักษาทางทันตกรรมในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรค COVID-19 เมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ.2563 ให้ผู้ป่วยที่ต้องได้รับการรักษาทาง

ทันตกรรมบ้วนปากด้วยน้ำยาบ้วนปากก่อนทำหัตถการ โดยใช้ โพวิโดน-ไอโอดีน ความเข้มข้น 0.2% อมกลั้วในช่องปาก 1 นาทีแล้วบ้วนทิ้ง โดยมีข้อห้ามใช้ในผู้ป่วยที่มีการทำงานของต่อมไทรอยด์ผิดปกติ ผู้ที่มีประวัติการแพ้ไอโอดีน ผู้ป่วยโรคไต ผู้ป่วยตั้งครรภ์ ผู้ป่วยให้นมบุตร และเด็กต่ำกว่าอายุ 6 ปี (กรมอนามัย, 2563)

ข้อดีและข้อเสีย

การใช้ง่ายที่สะดวกและแพร่หลาย มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อที่กว้างที่ความเข้มข้นต่ำ และยังคงมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อหลงเหลือบนผิวหนังหลังจากการใช้ ข้อเสียคือการทำให้ติดสีบนพื้นผิวบางชนิด รวมถึงผิวหนัง เสื้อผ้า และวัสดุที่มีรูพรุนเช่นพลาสติก ไอโอดีนที่ความเข้มข้นมากกว่า 5% สามารถทำให้ผิวหนังที่มีบาดแผลระคายเคือง โดยเฉพาะการใช้ร่วมกับแอลกอฮอล์ และการใช้งานต้องระวังในผู้ป่วยที่มีการทำงานของต่อมไทรอยด์ผิดปกติ

สารประกอบฟีนอลิก (Phenolics)

ฟีนอลิกเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของสารประกอบแอลกอฮอล์ที่หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่บนวงแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอน (aromatic hydrocarbon ring) สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารทำลายเชื้อที่ใช้กันมานาน และมีการพัฒนาอนุพันธ์ของฟีนอล (phenol derivatives) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งอนุพันธ์ฟีนอลที่มีการใช้กันมากคือ ออโธ-ฟีนิลฟีนอล (ortho-phenylphenol) และ ออโธ-เบนซิล-พารา-คลอโรฟีนอล (ortho-benzyl-para-chlorophenol) สารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้อาจตกค้างอยู่บนวัสดุที่มีรูพรุนและอาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

ฟีนอลความเข้มข้นสูงจะรบกวนและทำลายผนังเซลล์ ส่วนถ้าความเข้มข้นต่ำจะยับยั้งการทำงานของเอ็มไซม์ และทำให้สารเมตาบอไลท์ที่จำเป็นไหลออกจากผนังเซลล์ทำให้เชื้อแบคทีเรียตาย การฆ่าเชื้อจุลชีพ (microbicidal activity)

สารประกอบฟีนอลิกสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รา ไวรัส และวัณโรคได้ แต่ไม่มีฤทธิ์ในการฆ่าสปอร์ ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อไวรัสจะขึ้นกับความเข้มข้นของชนิดและสูตรของฟีนอลซึ่งมีความ

แตกต่างกัน สูตรของฟีนอลส่วนใหญ่จะประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปซึ่งจะให้ฤทธิ์ในการครอบคลุมเชื้อที่กว้างกว่าสารประกอบฟีนอลิกเพียงชนิดเดียว

การใช้งาน (Uses)

การใช้งานฟีนอลิกจะใช้เป็นสารทำลายเชื้อบนพื้นผิวต่างๆ เช่น โต๊ะ ราวเตียง หรือพื้นผิวในห้องแล็บ และอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่ำ (noncritical items) ฟีนอลิกไม่ได้รับการรับรองจากองค์การอาหารและยาให้เป็นสารทำลายเชื้อระดับสูง (high-level disinfectant) การใช้ฟีนอลิกในการฆ่าเชื้อเปลเด็กในแผนกเด็กทารกแรกเกิดต้องระวังเรื่องการทำให้เด็กทารกเกิดภาวะตัวเหลือง (hyperbilirubinemia) ได้

ข้อดีและข้อเสีย

พีนอลิกใช้เป็นสารทำลายเชื้อและสารฆ่าเชื้อสำหรับร่างกายที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อที่กว้าง สามารถใช้ได้ในสภาวะที่มีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ปนเปื้อน การยังมีฤทธิ์คงเหลือในทำลายเชื้อเมื่อใช้งานบนพื้นผิว ส่วนข้อเสียคือสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีความระคายเคือง ดวงตาและผิวหนัง ฟีนอลที่ความเข้มข้นต่ำ 1% ก็อาจทำให้เกิดผิวหนังไหม้ได้ ฟีนอลเมื่อสัมผัสกับผิวหนังโดยตรงจะถูกดูดซึมเข้าร่างกายโดยเร็ว การสัมผัสถูกฟีนอลทางผิวหนังในปริมาณมากและเวลานาน ทำให้เสียชีวิตได้ภายใน 30 นาทีถึงไม่กี่ชั่วโมง (EU-RAR, 2006) การมีสารตกค้างเหลืออยู่ในการใช้งานอาจทำให้เกิดเชื้อดื้อยาได้ การที่มีกลิ่นแรงอาจจะไม่เหมาะในการใช้งานบางชนิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียม (Quaternary Ammonium compounds)

สารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียม หรือเรียกว่า “ควอต” เป็นสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (cationic surfactant) ด้วยคุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิวที่มีส่วนที่เข้าได้กับน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่เข้าได้กับน้ำมัน (lipophilic) ควอตเป็นสารทำความสะอาดที่ดีแม้ในสภาวะน้ำกระด้าง แต่ฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จะลดลงหากใช้ร่วมกับสำลีและผ้าก๊อซเนื่องจากสำลีและผ้าก๊อซจะดูดซับน้ำยาเอาไว้

ควอตมีโครงสร้างทางเคมีพื้นฐานที่ประกอบด้วยอะตอมไนโตรเจนกลางสร้างพันธะกับหมู่แอลคิล 4 พันธะ ซึ่งส่วนนี้เป็นส่วนประจุบวก ที่มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ และสร้างพันธะที่พันธะ

ที่ 5 จะเป็นหมู่แฮไลด์ (halide) หรือ ซัลเฟต (sulfate) ซึ่งเป็นประจุลบ สารในกลุ่มนี้เช่น เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ (benzalkonium chloride) หรือ เซตริโมเนียมคลอไรด์ (cetrimonium chloride)

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

กลไกการออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ควอตจะซึมเข้าสู่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างเซลล์ถูกทำลาย เมื่อควอตสัมผัสกับผนังเซลล์จะทำปฏิกิริยากับไขมันเยื่อหุ้มเซลล์และโปรตีน ทำให้เอ็มไซม์ไม่สามาถทำงานได้ การทำปฏิกิริยากับไวรัสที่มีเปลือกไขมันหุ้มโดยตรง ทำให้หยุดการเติบโต สูญเสียการทำงานและไม่สามารถแพร่เชื้อได้

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

ควอตในความเข้มข้นต่ำ (<500 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย รา วัณโรค และสปอร์ โดยในความเข้มข้นสูงจะมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและราได้ ควอตมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อไวรัสที่มีไขมันหุ้ม (lipophilic viruses) แต่ไม่สามารถทำลายไวรัสชนิดที่มีไขมันหุ้ม (nonenveloped viruses) และไม่สามารถทำลายสปอร์ได้ ควอตยังมีความแตกต่างกันในประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ขึ้นอยู่กับชนิดและสูตรของผลิตภัณฑ์

การใช้งาน (Uses)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการทำความสะอาดทั่วไปของอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงต่ำ (noncritical items) เช่น พื้นห้อง เฟอร์นิเจอร์ ผนังกำแพง โดยใช้งานในบ้านเรือนและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร และใช้ทำลายเชื้อของอุปกรณ์ที่ใช้กับผิวหนังที่ปกติ เช่น สายรัดแขนวัดความดันโลหิต นอกจากนี้ยังมีการใช้เพื่อฆ่าเชื้อสำหรับร่างกาย ใช้เป็นน้ำยาบ้วนปาก ใช้ล้างบาดแผล และล้างมือ รวมถึงใช้เป็นสารกันเสียในสีทาบ้าน น้ำยาคอนแทคเลนส์ เครื่องสำอางประเภทครีมบำรุงเส้นผม น้ำยาดับกลิ่นผ้า

เบนซาลโคเนียมคลอไรด์มีใช้งานเป็นส่วนผสมในสบู่ แผ่นทำความสะอาด และผลิตภัณฑ์ล้างมือเพื่อฆ่าเชื้อโรค เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1% สามารถใช้ฆ่าเชื้อที่ผิวหนัง โดยลดเชื้อแบคทีเรียได้ 5-log reduction ในระยะเวลาสัมผัส 5 นาที (Leitch, et al., 2015) การล้างมือด้วยเบนซาลโคเนียมคอลไรด์ยังมีข้อดีที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อจำนวนครั้งของการล้างมือมากขึ้น ซึ่งต่างจาก

แอลกอฮอล์ที่ประสิทธิภาพจะลดลง ผลิตภัณฑ์ล้างมือที่มีส่วนผสมของเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.13%โดยปริมาตร ในการล้างมือครั้งที่ 10 จะยังสามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียได้ 4-log reduction (Dyer, et al., 1998) สาเหตุเนื่องจากยังมีเบนซาลโคเนียมคลอไรด์หลงเหลืออยู่หลังจากการล้างมือ หลังจากล้างมือด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมเบนซาลโคเนียมคลอไรด์นาน 4 ชั่วโมง ก็ยังคงมีประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อ (Bondurant, et al., 2019) แต่เนื่องจากการศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อที่มีส่วนผสมของเบนซาลโคเนียมคลอไรด์พบว่ามีความแตกต่างกัน Sattar และคณะพบว่าเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.04%w/v ที่ใช้เป็นสารทำลายเชื้อบนพื้นผิว ไม่สามารถฆ่าเชื้อไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sattar, et al., 1989) และการศึกษาของ Wood และ Payne พบว่าเบนซาลโคเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.2% ไม่สามารถทำลายไวรัสโคโรน่าได้ (Wood and Payne, 1998) ทางกรมควบคุมและป้องกันโรคของสหรัฐอเมริกาจึงไม่แนะนำให้ใช้เบนซาลโคเนียมคอลไรด์ในผลิตภัณฑ์ล้างมือเพื่อฆ่าเชื้อโรค (Centers for Disease Control Prevention., 2020)

<u>ข้อดีและข้อเสีย</u>

ควอตเป็นสารทำความสะอาดที่ดีเนื่องจากคุณสมบัติการลดแรงตึงผิว มีการใช้งานในการทำลายเชื้อบนพื้นผิวใสสถานพยาบาลและอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งมีความจำเป็นที่ต้องกำจัดสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว ควอตมีความเป็นพิษต่ำ การใช้งานไม่จำเป็นต้องล้างออก ซึ่งในบางกรณีเช่นในการผลิตยารักษาโรค จำเป็นต้องล้างควอตที่ตกค้างซึ่งจะล้างออกยาก ข้อเสียคือควอตจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงหากใช้ร่วมกับ น้ำกระด้าง สารไขมัน และสารลดแรงตึงผิวประจุลบ ควอตในความเข้มข้นสูงทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนังและเยื่อบุได้ เบนซาลโคเนียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5% ถึง 1% ทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง (Merchel and Tagkopoulos, 2019)

โอโซน (Ozone)

โอโซนมีการใช้กันมานานในการฆ่าเชื้อในระบบน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำเสีย โดยมีการใช้ฆ่าเชื้อในระบบน้ำดื่มครั้งแรกในปี ค.ศ.1893 ที่ประเทศเนเธอร์แลนด์ ต่อมาได้มีการขยายนำไปสร้างโรงงานผลิตน้ำดื่มที่ฆ่าเชื้อด้วยโอโซนในเมืองนีซ ประเทศฝรั่งเศส ในปี ค.ศ.1906 และขยายไปทั่วยุโรป โดยใช้เป็นทางเลือกสำหรับการทดแทนการฆ่าเชื้อในน้ำดื่มด้วยคลอรีน (Rice, et al., 1981)

โอโซนเป็นสารที่อยู่ในสถานะแก๊ส มีอยู่ในธรรมชาติในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ (Stratospheres) ช่วยปกป้องสิ่งมีชีวิตจากอันตรายของรังสียูวีบีและยูวีซี (UVB and UVC) ที่จะทะลุ

ผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก โอโซนสามารถสร้างขึ้นจากการให้พลังงานแก่แก๊สออกซิเจน (O2) ทำให้แตกตัวเป็นอะตอมเดี่ยว 2 อะตอม (O) และอะตอมเดี่ยวจะไปรวมตัวกับโมเลกุลของออกซิเจนปกติที่มี 2 อะตอมเป็นแก๊สโอโซนที่มี 3 อะตอม (O3) พันธะที่จับระหว่างโมเลกุลออกซิเจน (O2) และอะตอมที่ 3 ของออกซิเจน (O) จะเป็นพันธะที่จับกันหลวมๆ ที่พร้อมที่จะไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชั่นหรือไปจับกับโมเลกุลได้ตลอด จึงทำให้โอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ที่แรงที่สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้กว้าง แต่โอโซนเป็นสารที่ไม่คงตัว มีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ที่สั้น การใช้งานโอโซนจึงเป็นการผลิตโอโซนต่อเมื่อมีการใช้งาน ซึ่งการผลิตโอโซนสามารถทำได้โดย

1. รังสียูวี (UV radiation) เป็นการใช้รังสียูวีทำให้ออกซิเจนแตกตัวและรวมตัวกันเป็นโอโซน โดยคลื่นของรังสียูวีที่ใช้จะมี 2 ความยาวคลื่นคือขนาด 185 นาโนเมตรซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ใช้ในการผลิตโอโซน ในขณะที่ความยาวคลื่นที่ 254 นาโนเมตรไม่สามารถผลิตโอโซนได้แต่จะถูกใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยตรง ข้อดีของวิธีนี้คือติดตั้งง่ายและต้นทุนต่ำกว่าวิธีโคโรนาดิสชาร์จ (corona Discharge) แต่ข้อเสียคือผลิตโอโซนได้ปริมาณน้อย
2. กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical process) เป็นการผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในสภาวะที่เหมาะสม ทำให้เกิดแก๊สโอโซนและออกซิเจนในของเหลว วิธีการนี้ผลิตโอโซนได้ปริมาณน้อย
3. โคโรนาดิสชาร์จ (corona Discharge) เป็นการปล่อยแก๊สออกซิเจนผ่านกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักดิ์สูง ทำให้เกิดการแตกตัวของประจุและเกิดโอโซน เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการผลิตโอโซนมากที่สุดเนื่องจากสามารถผลิตโอโซนได้เป็นจำนวนมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โอโซนได้รับอนุมัติจากองค์การอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา ในเดือนสิงหาคม ปี ค.ศ 2013 ใช้ทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilize) สำหรับเครื่องมือแพทย์เพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ โดยเครื่องทำให้ปราศจากเชื้อโดยโอโซนที่ได้รับอนุมัติใช้เวลาในการฆ่าเชื้อ 4 ชั่วโมง 15 นาที ที่อุณหภูมิ 30°C ถึง 35°C สามารถลดเชื้อ *Geobacillus stearothermophilus* ได้ 6-log reduction (Bennett, et al., 2014)

กลไกการออกฤทธิ์ (Mode of Action)

โอโซน (ozone) ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) แก่ส่วนประกอบเซลล์ทั้งภายในและภายนอก ทำลายเอมไซม์ เยื่อบุเซลล์และผนังเซลล์ ออกฤทธิ์โดยตรงต่อไวรัสและกรดนิวคลีอิก รวมถึง ไขมัน โปรตีนและโพลีเพปไทด์ ซึ่งเป็นกลไกหลักที่จะออกฤทธิ์ได้ดีในสภาพที่มีค่า pH เป็นกรด ส่วนการออกฤทธิ์ทางอ้อมจะผ่านการสร้างสารอนุมูลอิสระ ซึ่งต้องอาศัยความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง เช่นการรมโอโซนในพื้นที่ (area fumigation)

การฆ่าเชื้อจุลชีพ (Microbicidal Activity)

โอโซน (ozone) ที่ความเข้มข้น 0.2 ถึง 0.5 mg/liter จะมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและไวรัสทั่วไป แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อมัยโคแบคทีเรีย (Mycobacteria) และสปอร์แบคทีเรียได้ โดยพบว่าโอโซนในรูปของแก๊สความเข้มข้น 6-10 ppm สามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียและรา รวมถึงสปอร์ของแบคทีเรียได้ 3-log reduction ในพื้นผิวที่เป็นกระจก โดยเฉพาะความชื้นสัมพัทธ์ที่สูง (90%) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของโอโซนได้ (Foarde, et al., 1997)

โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อในน้ำดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้คลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide) (Botzenhart, et al., 1993) ในการฆ่าเชื้อในระบบน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อนเยอะจะต้องใช้โอโซนในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากโอโซนจะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การใช้งาน (Uses)

เนื่องจากโอโซนเป็นสารที่ไม่เสถียรจึงจำเป็นที่ต้องผลิตต่อเมื่อต้องการใช้งาน การใช้งานเพื่อทำลายเชื้อในน้ำ ส่วนใหญ่จะใช้ความเข้มข้นระหว่าง 0.2 ถึง 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ pH 6 ถึง 7 และจะใช้ขนาด 5 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากในน้ำเสียมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาก ในปัจจุบันมีการควบคุมเรื่องโอโซนความเข้มข้นสูง การใช้งานจึงใช้การรมโอโซนเพื่อกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์และฆ่าเชื้อบนพื้นผิว ในการรมโอโซน (ozone fumigation) ปรกติจะประกอบ 3 ช่วงคือ ช่วงทำความชื้น (prehumidification) ตามด้วยช่วงทำลายเชื้อ (ozone disinfection) และช่วงเติมอากาศ (aeration) เพื่อทำให้ความเข้มข้นโอโซนต่ำกว่า 0.1 ppm ทางสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดให้พนักงานที่ทำงาน ต้องได้รับ

การสัมผัสกับโอโซนไม่เกิน 0.1 ppm ในระยะเวลาทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง และสูงสุดไม่เกิน 0.3 ppm ในระยะเวลาทำงาน 15 นาที หากได้รับโอโซนในปริมาณที่มากเกินไปจะส่งผลเสียต่อร่างกายได้

ตารางที่ 2.3 ความเป็นพิษของแก๊สโอโซนต่อมนุษย์ (Bocci, 2011)

ความเข้มข้นของโอโซนในอากาศ (ppm)	ผลกระทบและอาการ
0.1	ระคายเคืองทางเดินหายใจส่วนบน
1.0-2.0	โพรงจมูกอักเสบ, ไอ, ปวดศีรษะ, อาจคลื่นไส้และอาเจียน ทำให้เกิดหอบหืดได้
2.0-5.0 (10-20 นาที)	หายใจลำบาก หลอดลมตีบ เจ็บหน้าอก
5.0 (60 นาที)	ภาวะน้ำท่วมปอด และอาจทำให้ทางเดินหายใจล้มเหลว
10.0	เสียชีวิตภายใน 4 ชั่วโมง
50.0	เสียชีวิตภายในไม่กี่นาที

การใช้แก๊สโอโซนที่อุณหภูมิต่ำและความชื้นสูงสามารถใช้ในการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilize) อุปกรณ์ทางการแพทย์ได้ โดยใช้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 75% ถึง 95% ในอุณหภูมิ 25°C ถึง 30°C แต่จะไม่สามารถเข้าได้กับวัสดุบางอย่างเช่น พลาสติกหรือโลหะบางชนิด ในการนำมาฆ่าเชื้อซ้ำ เนื่องจากทำให้วัสดุเหล่านี้เสียหายได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดให้สามารถใช้โอโซนเป็นสารฆ่าเชื้อจุลินทรีย์สำหรับผักและผลไม้ โดยหากเป็นการผลิตในระดับอุตสาหกรรม สามารถใช้ได้ทั้งวิธีรมด้วยแก๊สโอโซนโดยตรง (fumigation) หรือวิธีการผ่านแก๊สโอโซนให้ละลายในน้ำ (ozonated water) แต่ถ้าหากเป็นการใช้ในระดับครัวเรือนจะอนุญาตให้ใช้วิธีเฉพาะแก๊สโอโซนที่ละลายในน้ำเท่านั้น (ozonated water) ส่วนการใช้เพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์สดและอวัยวะ จะอนุญาตให้ใช้เฉพาะในระดับอุตสาหกรรม สามารถใช้ได้ทั้งวิธีรมแก๊สโอโซนหรือแก๊สโอโซนที่ละลายในน้ำ (กระทรวงสาธารณสุข, 2562)

<u>ข้อดีและข้อเสีย</u>

โอโซนเป็นสารต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่แรง สามารถใช้ได้ในความเข้มข้นต่ำ มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสลายตัวให้น้ำและออกซิเจน และโอโซนยังสามารถกำจัดกลิ่นและรสได้จึงมี

ประโยชน์ในการใช้ฆ่าเชื้อในน้ำ โอโซนยังใช้ทำลายสารเคมีปนเปื้อน เช่น ไซยาไนด์ ฟีนอล หรือสารซักฟอกอื่น ข้อเสียคือโอโซนกัดกร่อนวัสดุบางชนิด และการสัมผัสกับโอโซนสามารถระคายเคืองเยื่อบุและทำลายเนื้อเยื่อได้

2.2 การปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในระบบขนส่งสาธารณะ

ระบบขนส่งสาธารณะคือระบบคมนาคมขนส่งผู้โดยสารที่สามารถใช้ได้โดยคนทั่วไป มีการบริหารจัดการตารางกำหนดเวลาการเดินทางและเส้นทาง รวมถึงค่าบริการซึ่งแตกต่างจากการคมนาคมส่วนตัว เช่น รถยนต์ส่วนตัว หรือ แท็กซี่ ระบบขนส่งธารณะรวมถึงการคมนาคมภายในเมือง อาทิเช่น รถเมล์ รถไฟฟ้าบนดิน รถไฟฟ้าใต้ดิน รถไฟ เรือเฟอร์รี่ และการคมนาคมระหว่างเมือง เช่น รถทัวร์ เครื่องบิน เป็นต้น

ระบบขนส่งสาธารณะเป็นสิ่งที่จำเป็นโดยเฉพาะผู้ที่มีรายได้น้อยและกลุ่มคนชั้นกลางระดับล่างที่ต้องอาศัยใช้ในการเดินทางไปทำงานในเมือง โดยเฉพาะการคมนาคมโดยรถเมล์ที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการเดินทางโดยรถส่วนตัว (Ratanawaraha and Chalermpong, 2016) และการเข้าถึงระบบขนส่งสาธารณะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเลือกที่อยู่อาศัยของผู้ที่มีรายได้น้อยที่ต้องอาศัยในเมืองมากกว่าอาศัยในเขตชานเมืองที่มีความครอบคลุมของระบบขนส่งสาธารณะน้อยกว่า (Glaeser, et al., 2008)

รถโดยสารประจำทางสาธารณะเป็นแหล่งที่พบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ได้บ่อยและเป็นตัวกลางที่สำคัญในการแพร่กระจายเชื้อ การศึกษาในประเทศโปรตุเกสพบว่าร้อยละ 26 ของรถโดยสารประจำทางสาธารณะในเมืองโอพอร์โต มีการปนเปื้อนเชื้อสแตปฟิโลคอคคัสออเรียสที่ดื้อยาเมธิซิลลิน (Simões, et al., 2011) สอดคล้องกับการศึกษาในเมืองลิสบอนที่พบว่าร้อยละ 36.2 ของรถโดยสารประจำทางสาธารณะในเมืองลิสบอนมีการปนเปื้อนเชื้อสแตปฟิโลคอคคัสออเรียสที่ดื้อยาเมธิซิลลินเช่นเดียวกัน อีกทั้งพบว่าร้อยละ 2 ของผู้โดยสารมีการปนเปื้อนเชื้อบนมือ (Conceição, et al., 2013) การศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าร้อยละ 68 รถโดยสารประจำทางสาธารณะมีการปนเปื้อนเชื้อเชื้อสแตปฟิโลคอคคัสออเรียส และร้อยละ 63 มีการปนเปื้อนเชื้อสแตปฟิโลคอคคัสออเรียสที่ดื้อยาเมธิซิลลิน (Lutz, et al., 2014) โดยเชื้อสแตปฟิโลคอคคัสออเรียสที่ดื้อยาเมธิซิลลินเป็นเชื้อที่อยู่ในโรงพยาบาล การปนเปื้อนเชื้อบนรถโดยสารประจำทางสาธารณะเป็นช่องทางหนึ่งที่ทำให้เชื้อจากโรงพยาบาลแพร่กระจายเข้าสู่ชุมชน

รถเมล์ที่ให้บริการภายในเมืองอย่างกรุงเทพมหานคร พบปัญหาในเรื่องการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์เช่นเดียวกัน การศึกษาการคุณภาพอากาศในรถเมล์สาย 16, 63 ,67 และ 166 ขององค์การขนส่งมวลขนกรุงเทพทั้งในรถปรับอากาศและรถแบบไม่ปรับอากาศ พบมีการปนเปื้อนของเชื้อราและแบคทีเรียในอากาศภายในรถที่เกิดจากความแออัดของผู้โดยสารและระบบถ่ายเทอากาศที่ไม่เพียงพอ คุณภาพอากาศที่ปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ยังมีผลต่อสุขภาพของพนักงานขับรถ (Luksamijarulkul, et al., 2004) นอกจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศแล้ว พื้นผิวอย่าง ราวมือจับ ที่พักแขน และเบาะนั่งในรถโดยสารประจำทางสาธารณะเป็นแหล่งที่พบเชื้อแบคทีเรียได้บ่อย มีการพบเชื้อแบคทีเรีย อีโคไล (*E.coli*), ซาลโมเนลล่า (*salmonella*), ชิเจลล่า (*shigella*) และสแตปฟิโลคอคคัสออเรียสที่ดื้อยาเมธิซิลลิน ในรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่เมืองจิตตะกอง ประเทศบังคลาเทศ (Chowdhury, et al., 2016)

การที่รถโดยสารสาธารณะมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์จำนวนมาก จึงทำให้การใช้รถโดยสารสาธารณะเพิ่มความเสี่ยงในการติดเชื้อและทำให้เจ็บป่วย พบว่าการใช้รถโดยสารสาธารณะและรถรางเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจเฉียบพลัน (acute respiratory infection) สูงขึ้นเกือบ 6 เท่า (Troko, et al., 2011) และการใช้รถโดยสารสาธารณะยังมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อวัณโรค (Zamudio, et al., 2015)

2.3 การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อบนพื้นผิว

การทำความสะอาดพื้นผิวในสิ่งแวดล้อมถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการควบคุมเชื้อโรค เป็นการช่วยกำจัดเชื้อก่อโรค หรือช่วยลดปริมาณเชื้อก่อโรคให้ลดน้อยลง การทำความสะอาดพื้นผิวโดยการเช็ดถูด้วยน้ำหรือผงซักฟอกเป็นกำจัดสิ่งสกปรกที่มองเห็น ฝุ่น สิ่งแปลกปลอม สารอินทรีย์ เช่น เลือด สารคัดหลั่ง ให้ออกไป แต่ไม่ได้เป็นการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ (World Health Organization, 2020a) หากมีสารอินทรีย์ที่บนพื้นผิวที่ไม่ได้กำจัดออกจะสามารถลดประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อด้วยสารทำลายเชื้อได้ โดยขัดขวางทำให้สารทำลายเชื้อไม่สามารถสัมผัสและออกฤทธิ์บนพื้นผิวได้

การทำความสะอาดโดยใช้การประเมินด้วยการมองเห็นว่าไม่มีสิ่งสกปรกตกค้างเหลืออยู่บนพื้นผิวไม่สามารถใช้เป็นตัววัดระดับการปนเปื้อนเชื้อได้ เนื่องจากพื้นผิวที่ดูสะอาดไม่มีสิ่งสกปรกหรือฝุ่น สามารถมีเชื้อจุลินทรีย์ปนเปื้อนได้มาก (Malik, et al., 2003) เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อพื้นผิวด้วยวิธีการเช็ดถูไม่สามารถทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ครอบคลุมพื้นผิวที่ต้องการฆ่าเชื้อได้ทั้งหมด ในการทำความสะอาดในห้องผู้ป่วย

พบว่ามีเพียงร้อยละ 47 ของอุปกรณ์หรือสิ่งของที่ถูกเช็ดทำความสะอาดเท่านั้น โดยอุปกรณ์ที่ไม่ได้รับการทำความสะอาดมากที่สุดได้แก่ กระโถนผู้ป่วย ราวจับในห้องน้ำ และ ลูกบิดประตูห้องน้ำ (Carling, et al., 2006) และการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในห้องดูแลผู้ป่วยหนัก ((Intensive Care Units) ที่ต้องมีการควบคุมเชื้อเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อเข้มงวด พบว่ามีเพียงร้อยละ 49.5 ของอุปกรณ์ในห้องดูแลผู้ป่วยหนักที่ได้รับการทำความสะอาดด้วยวิธีการเช็ดถูเท่านั้น (Carling, et al., 2010)

การทำความสะอาดและการฆ่าเชื้อพื้นผิวด้วยวิธีเช็ดถูด้วยโดยพนักงานในการทำความสะอาด พบว่ามีความแตกต่างในประสิทธิภาพการทำความสะอาด โดยแม่บ้านที่ทำความสะอาดในห้องผู้ป่วยมีความแตกต่างกันในเรื่องของจำนวนเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด จำนวนผ้าที่ใช้เช็ดทำความสะอาด และส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานความสะอาด (Boyce, et al., 2010) อีกทั้งการใช้พนักงานในการทำความสะอาดพบว่ามีแนวโน้มในการเปลี่ยนงานที่สูง เช่น แม่บ้านที่ทำความสะอาดในโรงพยาบาลมีแนวโน้มที่จะลาออกจากงานภายใน 1 ปีสูงถึงร้อยละ 51 (Swanberg, et al., 2016)

ประสิทธิภาพของการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อด้วยวิธีเช็ดถูต้องอาศัยบุคลากรที่ทำความสะอาดที่ถูกต้องทั้งการเลือกใช้สารฆ่าเชื้อที่เหมาะสมและการทำเช็ดถูโดยให้สารฆ่าเชื้อสัมผัสกับพื้นผิวอุปกรณ์ในระยะเวลาที่เพียงพอต่อการฆ่าเชื้อ ในการทำความสะอาดด้วยวิธีการนี้จึงขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของผู้ปฏิบัติงานด้วย สำหรับวิธีการฆ่าเชื้อแบบใหม่โดยการใช้เครื่องพ่นสารฆ่าเชื้อที่ไม่ต้องอาศัยบุคลากรในการควบคุมเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดความผิดพลาดจากการปฏิบัติงานของบุคลากรได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การพ่นเพื่อฆ่าเชื้อโดยการใช้เครื่องพ่นบนพื้นผิววัสดุหรืออุปกรณ์โดยแบบไม่ต้องสัมผัส (no-touch method) จะช่วยลดความผิดพลาดจากผู้ปฏิบัติงาน มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสูง และยังสามารถฆ่าเชื้อพื้นผิวในบริเวณที่เข้าถึงได้ยาก การพ่นฆ่าเชื้อจะใช้สารเคมีได้หลายชนิด เช่น ละอองโฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, ไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, โอโซน, คลอรีนไดออกไซด์ กรดเปอร์แอซีติก การพ่นเพื่อฆ่าเชื้อส่วนใหญ่ใช้ฆ่าเชื้อในตู้ปลอดเชื้อ (isolator) ห้องผู้ป่วย ห้องผ่าตัด ห้องปฏิบัติการ โรงงานเภสัชกรรม สถานพยาบาล โดยสารเคมีที่ใช้ในการพ่นเพื่อฆ่าเชื้อมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติการพ่นด้วยสารเคมีแต่ละชนิด (Kümin, et al., 2020)

	ไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ฟอร์มาลดีไฮด์	กรดเปอร์แอซีติก	คลอรีนไดออกไซด์
ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
ความอันตรายของสารเคมี	ต่ำ	ต่ำ	สูง (ความเสี่ยงทำให้เป็นมะเร็ง)	ต่ำ	สูง
การกระจายตัว	จำกัด	ปานกลาง	ดีมาก	ปานกลาง	ดีมาก
การกักตัวในพื้นที่	ดี	ดีกว่าไอโฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ไม่ดี	ดี	ไม่ดี
เน้นการใช้แรงงาน	ต่ำ	ต่ำ	อาจต้องใช้แรงงานทำความสะอาดหลังพ่น	ต่ำ	ต่ำ
การหารอบการพ่นที่เหมาะสม	ต้องพัฒนาหารอบการพ่นมาก	ต้องพัฒนาหารอบการพ่น	ไม่ต้อง	ต้องพัฒนาหารอบการพ่น	ต้องพัฒนาหารอบการพ่น
ต้นทุนเครื่องมือ	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	สูง
ต้นทุนการพ่น	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	สูง
การบำรุงรักษา	ซับซ้อน	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ซับซ้อน
ข้อกำหนดทางเทคนิค	มีข้อกำหนดทางเทคนิคมากในการติดตั้งระบบ	การติดตั้งพัดลมเพื่อเพิ่มการกระจายตัว	การใช้เทปปิดช่องว่างของห้อง	การติดตั้งพัดลมเพื่อเพิ่มการกระจายตัว	การใช้เทปปิดช่องว่างของห้อง
ความเข้ากันได้ของวัสดุ	ดี	ดีมาก	ดี	ดี	ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 2.4 แสดงถึงคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่าทุกตัวมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่ดี ในอดีตการพ่นฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อฆ่าเชื้อถือเป็นวิธีการหลักที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่ดี การใช้งานง่าย และมีต้นทุนต่ำ มีการใช้ในการฆ่าเชื้อในห้องและบนพื้นผิวของอุปกรณ์ที่อยู่ในห้องตั้งแต่ปี ค.ศ.1880 (Lach, 1990) และถือเป็นวิธีการหลัก

ที่ใช้การพ่นเพื่อฆ่าเชื้อในห้องปฏิบัติการตั้งแต่ปี ค.ศ.1914 (Dreyfus, 1914) แต่ต่อมาพบว่าฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารก่อมะเร็งในระบบทางเดินหายใจและการใช้งานด้วยการพ่นเพื่อฆ่าเชื้ออาจมีฟอร์มาลดีไฮด์ที่ตกค้างบนพื้นผิวที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ รวมถึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการพ่นฆ่าเชื้อในห้องปฏิบัติการ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, กรดเปอร์แอซีติก และคลอรีนไดออกไซด์

การพ่นฆ่าเชื้อด้วยคลอรีนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ แต่คลอรีนไดออกไซด์ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อบุทางเดินหายใจ การใช้งานเพื่อพ่นฆ่าเชื้อภายในห้องจะมีการใช้เทปเพื่อปิดช่องว่างของประตูเพื่อป้องกันคลอรีนไดออกไซด์รั่วไหลไปนอกห้อง และคลอรีนไดออกไซด์ทำให้เกิดการกัดกร่อนผิววัสดุบางชนิดได้ จึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานเพื่อพ่นฆ่าเชื้อในสถานพยาบาล (Otter, et al., 2020)

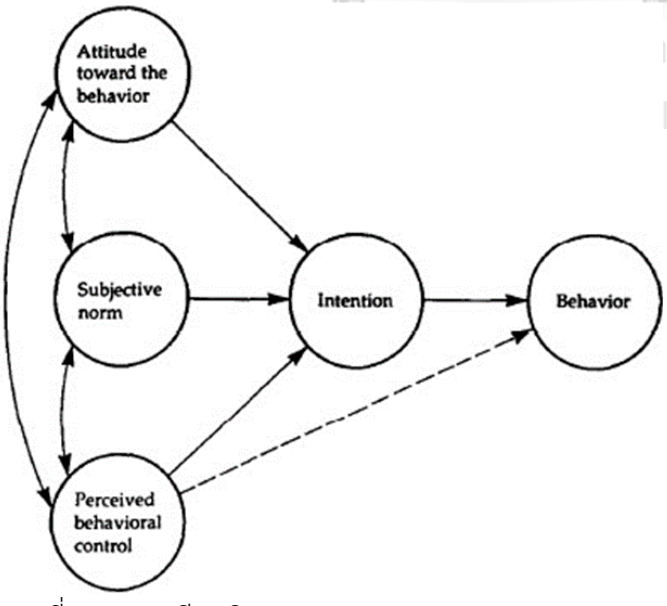
การพ่นฆ่าเชื้อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถทำได้ในรูปแบบของไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในรูปแบบของไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 ถึง 35 ในขณะที่รูปแบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้ความเข้มข้นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ถึง 12 จึงทำให้รูปแบบของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีฤทธิ์ในการกัดกร่อนต่อวัสดุน้อยกว่าเมื่อเทียบกับรูปแบบไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และการใช้งานการพ่นฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะประกอบไปด้วยขั้นตอนทั้งหมด 4 ช่วงด้วยกัน คือ 1.การลดความชื้นสัมพัทธ์ (dehumidification) 2.การรักษาสภาพ (conditioning) 3.การฆ่าเชื้อ (sterilization) และ 4 การปล่อยให้สลายตัว (aeration) ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมในแต่ละรอบมีความสำคัญมากต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ส่วนระบบของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่จำเป็นต้องมีการปรับสภาพของห้องก่อนการพ่น จึงมีการใช้งานที่ง่ายกว่า ในขณะที่การพ่นฆ่าเชื้อด้วยกรดเปอร์แอซีติกมีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อที่ดี ใช้งานง่าย แต่ต้นทุนเครื่องมือและต้นทุนการใช้งานจะสูงกว่าเมื่อเทียบกับรูปแบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

นอกจากการพ่นเพื่อฆ่าเชื้อบนพื้นผิว ใช้มีการใช้งานในรูปแบบอื่น เช่น การใช้รังสียูวีซีฆ่าเชื้อบนพื้นผิววัสดุภายในห้อง ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของรังสียูวีซีขึ้นอยู่กับความเข้มแสงที่ใช้และระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและวัตถุที่ต้องการฆ่าเชื้อ ต้นทุนการใช้งานรังสียูวีซีฆ่าเชื้อจะสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการฆ่าเชื้อบนพื้นผิวด้วยวิธีอื่น การใช้งานรังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อในปริมาณความเข้มแสงที่ต่ำอาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์เกิดการกลายพันธุ์ได้ (mutation) (Anderson, 1995)

การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในระบบขนส่งสาธารณะส่วนใหญ่ยังเป็นการใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อด้วยวิธีเช็ดถูทำความสะอาด ในสถานการณ์ของโรคระบาดเริ่มมีการศึกษาการใช้วิธีใหม่ เช่นในสายการบิน ลุฟท์ฮันซ่า (Lufthansa) ที่ศึกษาการใช้การพ่นฆ่าเชื้อในเครื่องบินได้ โดยใช้ฟอร์มาลดีไฮด์, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และแอลกอฮอล์ (Klaus, et al., 2016) การศึกษาการพ่นฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในห้องผู้โดยสารในครื่องบินรุ่นโบอิ้ง 747 (Shaffstall, et al., 2006) ในระหว่างการระบาดของโรคโควิด-19 ได้มีการนำเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้พ่นฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ (Roman, 2020) และมีการใช้รังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อบนพื้นผิวในรถโดยสารสาธารณะในประเทศจีนและสหรัฐอเมริกา (Hom, 2020)

2.4 วรรณกรรมเกี่ยวกับทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) และทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model)

ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) ถูกคิดค้นโดย Icez Ajzen ในปี 1985 ซึ่งพัฒนามาจากทฤษฎีการกระทำด้วยเหตผล (Theory of reasoned action) โดยได้อธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดพฤติกรรมของมนุษย์ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ด้านคือ 1.ทัศนคติเกี่ยวกับพฤติกรรม (Attitude toward the behavior) 2.ความเชื่อเกี่ยวกับกลุ่มอ้างอิง (Subjective norm) และ 3.ความเชื่อเกี่ยวกับความสามารถในการควบคุม (Perceived behavioral control) (Ajzen, 1991)



ภาพที่ 2.1 ทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB)

โดยมนุษย์เชื่อว่าหากทำพฤติกรรมแล้วได้รับผลที่ดี ก็จะมีทัศนคติที่ดีต่อพฤติกรรมนั้น (Attitude toward the behavior) ในทางกลับกัน หากมนุษย์เชื่อว่าทำพฤติกรรมนั้นแล้วได้รับผลที่ไม่ดี ก็จะมีทัศนคติที่ไม่ดีต่อพฤติกรรมนั้น โดยมนุษย์จะมีเจตนาหรือตั้งใจ (intention)ในการทำพฤติกรรมก็ต่อเมื่อมีทัศนคติดที่ดีต่อพฤติกรรม

มนุษย์เชื่อว่ากลุ่มอ้างอิงคือกลุ่มบุคคลที่มีความสำคัญต่อเขา ได้ทำพฤติกรรมนั้นหรือต้องการให้เขาทำพฤติกรรมนั้น ก็จะมีแนวโน้มที่เขาจะปฏิบัติตามโดยการทำพฤติกรรมนั้นด้วย (Subjective norm) และถ้ามนุษย์เชื่อว่าสามารถจะกระทำพฤติกรรมในสภาพที่สามารถควบคุมให้เกิดผลที่ตั้งใจไว้ได้ เขาก็มีแนวโน้มที่จะกระทำพฤติกรรมนั้นด้วย (Perceived behavioral control)

ทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยีนำเสนอครั้งแรกในปี 1989 โดย Davis ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ต่อยอดความรู้มาจากทฤษฎีการกระทำด้วยเหตุผล (Theory of Reasoned Action) ของ Fishbein และ Ajzen ในปี 1975 โดยทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยีประกอบด้วยปัจจัย 2 ด้านคือ การรับรู้ประโยชน์ (perceived usefulness) และการรับรู้ว่าง่ายต่อการใช้ (perceived ease of use) (Davis, 1989) โดยบุคคลจะใช้หรือไม่ใช้เทคโนโลยีขึ้นอยู่กับความเชื่อว่าสิ่งนั้นจะมีประโยชน์หรือไม่ โดยหากเชื่อว่าเทคโนโลยีนั้นมีประโยชน์กับงานที่ทำ บุคคลนั้นก็มีแนวโน้มที่จะใช้เทคโนโลยีนั้น แต่ถ้าหากเทคโนโลยีนั้นมีความยากต่อการใช้งาน ต้องใช้ความพยายามมากอย่างมาก บุคคลนั้นก็จะยอมรับเทคโนโลยีได้ยาก การยอมรับเทคโนโลยีจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านการรับรู้ว่าง่ายต่อการใช้ร่วมด้วย ถ้าเทคโนโลยีนั้นมีการรับรู้ว่าใช้งานง่าย ก็มีแนวโน้มในการยอมรับเทคโนโลยีได้ง่าย ปัจจัยการรับรู้ประโยชน์ต่อการยอมรับเทคโนโลยีนั้นได้ถูกต่อยอดมาจากงานวิจัยของ Schultz และ Slevin ในปี 1975 ที่พบว่าตัวชี้วัดที่มีผลต่อประสิทธิภาพงานมากที่สุดคือการรับรู้ประโยชน์ ถ้ามีการรับรู้ว่าระบบที่นำมาใช้จะมีประโยชน์ต่อประสิทธิภาพของงาน ก็จะมีการยอมรับระบบนั้นมาใช้งาน (Schultz and Slevin, 1975)

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยเรื่อง “ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์” มีการวิจัยในลักษณะผสมผสานทั้งการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative research) การวิจัยเชิงทดลอง (experimental research และการวิจัยเชิงปริมาณ (quantitative research) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 3 ระยะดังนี้

3.1 ระยะที่ 1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

3.1.1 วิธีการวิจัย

ข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บจากแหล่งข้อมูลโดยตรง โดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview) จากกลุ่มเป้าหมาย เกี่ยวกับคำถามถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้วิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการสร้างแบบสอบถามถึงปัจจัยเรื่องความสะอาดที่มีผลต่อการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ

3.1.2 ขอบเขตประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากร : ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะในประเทศไทย

กลุ่มตัวอย่าง : ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะเป้าหมายได้แก่ เจ้าของกิจการ ผู้บริหาร พนักงานขับรถ รวมจำนวน 20 ราย ที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 ระยะที่ 2 การพัฒนากระบวนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

3.2.1 วิธีการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยการนำเครื่องต้นแบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์พ่นฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะประจำทาง โดยทำการทดลองที่ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด มี

วัตถุประสงค์ในการวัดประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อด้วยตัวบ่งชี้ทางเคมี (chemical indicator) และตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biological indicator) และการพัฒนาระบบรอบระยะเวลาการฆ่าเชื้อที่เหมาะสม

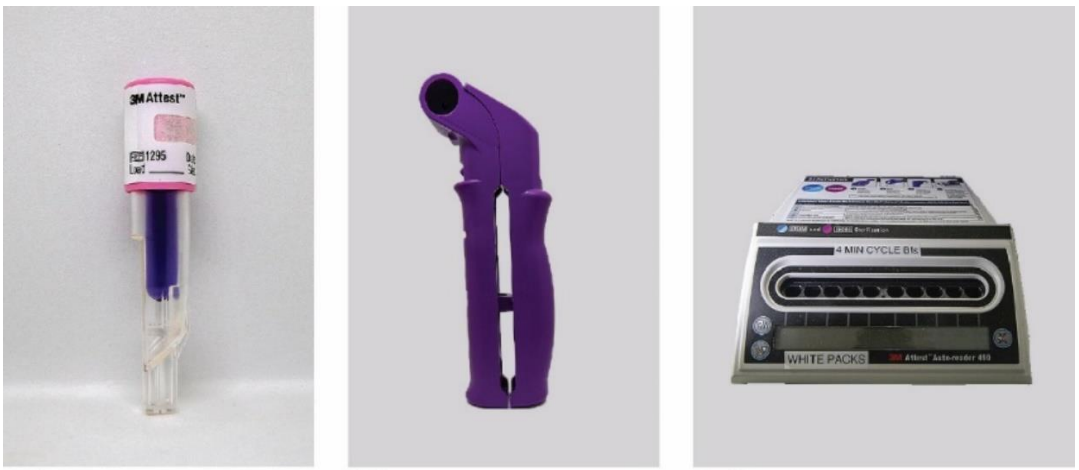
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

ตัวบ่งชี้ทางเคมีสำหรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นแผ่นทดสอบการสัมผัสกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ลอยอยู่ในอากาศ เมื่อแผ่นทดสอบได้สัมผัสกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในระยะเวลาหนึ่ง แถบสีบนแผ่นทดสอบจะเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพู แสดงให้การกระจายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในบริเวณที่ทดสอบ

(A) (B)

ภาพที่ 3.1 (A) ตัวบ่งชี้ทางเคมีก่อนสัมผัสไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แสดงแถบสีฟ้า; (B) ตัวบ่งชี้หลังสัมผัสไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเปลี่ยนสีชมพู

ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเป็นแผ่นทดสอบประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อสปอร์ โดยการนำสปอร์ของเชื้อแบคทีเรีย *Geobacillus stearothermophillus* ซึ่งเป็นเชื้อที่ดื้อต่อการถูกทำลายโดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ในการทดลองนี้ใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ 2 ชนิดด้วยกัน ชนิดแรกได้แก่ 3M™ Attest™ Rapid Readout Biological Indicator 1295 ซึ่งเป็นชุดสำเร็จรูปบรรจุแผ่นสปอร์พร้อมกับอาหารเลี้ยงเชื้อในหลอดเดียวกัน (self-contained) ซึ่งแผ่นสปอร์จะบรรจุเชื้อ *G. stearothermophillus* สายพันธุ์ ATCC 7953 จำนวน $\geq 1 \times 10^6$ ซึ่งหลังจากทำการฆ่าเชื้อภายในรถเสร็จแล้ว จะนำหลอดตัวบ่งชี้ทางชีวภาพไปแอคติเวท (activate) ด้วยการใช้ที่บีบฝาหลอดให้แตกเพื่อให้อาหารเลี้ยงเชื้อในหลอดไหลลงไปสัมผัสกับแผ่นสปอร์ และนำไปอ่านผลด้วยเครื่องอ่านผล 3M™ Attest™ Auto-reader 490 ซอฟต์แวร์รุ่น 4.2.7 ด้วยระยะเวลาในการอ่านผล 24 นาที



(A) (B) (C)

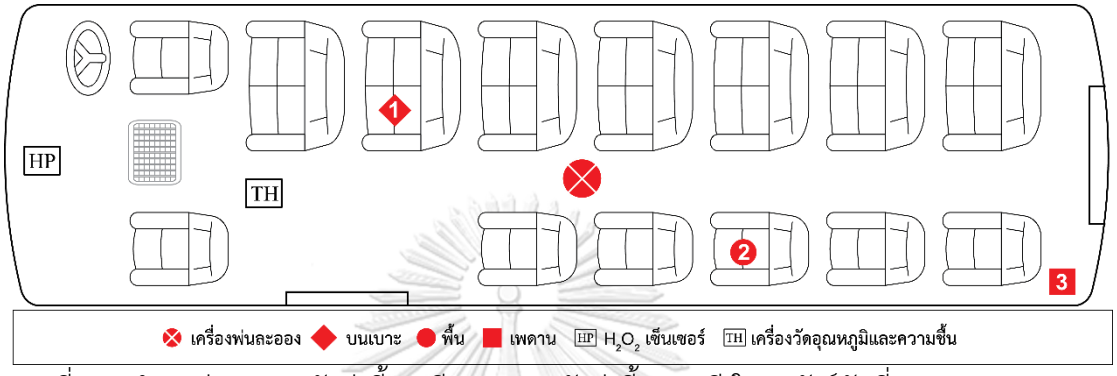
ภาพที่ 3.2 ชุดบ่งชี้ชีวภาพ 3M™ Attest™ ; (A) ตัวบ่งชี้ชีวภาพสำเร็จรูปในหลอดประกอบไปด้วยแผ่นสปอร์และอาหารเลี้ยงเชื้อ; (B) ตัวแอคติเวเตอร์ (activator); (C) เครื่องอ่านผล 3M™ Attest™ Auto-reader 490

ตัวบ่งชี้ชีวภาพอีกแบบเป็นรุ่น Sterind Bio-indicator จากบริษัท Micro Biotech Inc ประเทศอินเดีย ซึ่งเป็นแผ่นสปอร์ของเชื้อ เชื้อ *G. stearothermophillus* สายพันธุ์ ATCC 7953 จำนวน 2.30×10^6 ที่ทำให้แห้งอยู่บนแผ่นสแตนเลสและบรรจุอยู่ในซองกระดาษกลาสซีน (glassine) โดยเมื่อตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่ได้สัมผัสกับละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่พ่นภายในรถทัวร์แล้ว จะนำไปเพาะเชื้อใน Triptic soy broth ที่อุณหภูมิ 56 °C นาน 7 วัน

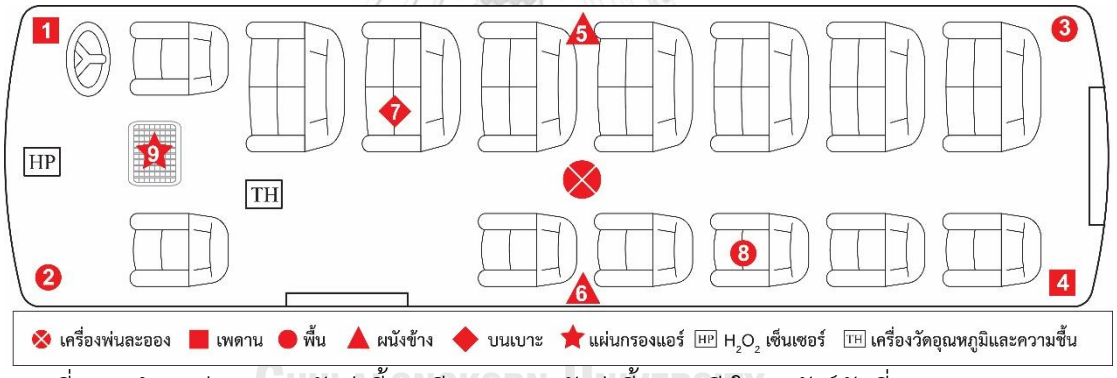
(A) (B)

ภาพที่ 3.3 (A) ตัวบ่งชี้ชีวภาพ Sterind Bio-indicator ในซองกระดาษกลาสซีน; (B) แผ่นสปอร์ในซองกระดาษกลาสซีนถูกนำไปใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ Triptic soy broth

การทำการทดลองในรถทัวร์คันที่ 1-6 จะใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพชนิด 3M™ Attest™ Rapid Readout Biological Indicator 1295 และตัวบ่งชี้ทางเคมี วางจำนวน 3 ตำแหน่งต่อคัน ส่วนรถทัวร์คันที่ 7-20 จะใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของ Sterind Bio-indicator และตัวบ่งชี้ทางเคมีวางไว้ 9 ตำแหน่งต่อคัน ตามภาพที่ 3.4 และภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 ตำแหน่งการวางตัวบ่งชี้ทางชีวภาพและตัวบ่งชี้ทางเคมี ในรถทัวร์คันที่ 1-6



ภาพที่ 3.5 ตำแหน่งการวางตัวบ่งชี้ทางชีวภาพและตัวบ่งชี้ทางเคมี ในรถทัวร์คันที่ 7-20

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์บนพื้นผิว โดยสุ่มเลือกรถโดยทัวร์จำนวน 3 คัน ด้วยวิธี Swab test โดยใช้ชุดตรวจ 3M™ Quick Swab ป้ายบนพื้นผิว บริเวณที่มีการสัมผัสบ่อย ได้แก่ ราวจับประตูรถ เบาะที่นั่ง และ ราวพักแขน แล้วนำไปเพาะเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M Petrifilm Aerobic Count Plate เพื่อดูจำนวนเชื้อแบคทีเรีย และอาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป 3M Petrifilm Yeast and Mold Plate เพื่อดูจำนวนเชื้อยีสต์และรา โดยเปรียบเทียบก่อนทำการพ่นฆ่าเชื้อและหลังการพ่นฆ่าเชื้อ เพื่อเปรียบเทียบจำนวนเชื้อที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว

(A) (B) (C)

ภาพที่ 3.6 (A) 3M™ Quick Swab; (B) 3M Petrifilm Aerobic Count Plate; (C) 3M Petrifilm Yeast and Mold Plate

สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ฉีดสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ผ่านระบบอัลตร้าโซนิคให้เป็นละอองขนาดเล็กลอยในอากาศ โดยสารละลายไฮโดรจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการทดสอบมีทั้งหมด 2 ความเข้มข้น คือ ซาโนซิล เอส010 (Sanosil S010, Sanosil AG) ซึ่งเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายทั่วไป ประกอบไปด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ผสมกับซิลเวอร์ไอออนความเข้มข้นร้อยละ 0.005 (5% H_2O_2 + 0.005% Ag) และ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 7 (Interox st50, Solvay Thailand) ที่ได้จากการเตรียมจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 50 เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water) เพื่อให้ได้ความเข้มข้นดังกล่าว

การพัฒนาระบบรอบฆ่าเชื้อที่เหมาะสม

รอบการฆ่าเชื้อ (decontamination cycle) จะประกอบไปด้วยระยะเวลาพ่นฆ่าเชื้อ (aerosolized period) ซึ่งทำการทดลองพ่นในระยะเวลาที่ 16, 20, 25 และ 30 นาที โดยในขณะที่ทำการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นแบบมือถือและบันทึกค่าได้ (GSP-6, Elitech Technology Inc, USA,

accuracy ±0.5 ℃, ±3% RH) และหลังจากทำการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตามเวลาที่กำหนดแล้ว ทำการวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่หลงเหลือในอากาศด้วยอุปกรณ์วัดความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (CB-100, Membrapor AG, Switzerland, accuracy±3%) ที่สามารถวัดความเข้มข้นได้ในช่วง 0-20 ppm จากนั้นคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัวจนค่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เหลือต่ำกว่า 1 ppm ซึ่งเป็นระดับที่มีความปลอดภัยต่อผู้โดยสารภายในรถโดยทางสำนักงานบริหารความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (Occupational Safety and Health Administration-OSHA) ได้กำหนดค่าสูงสุดที่สัมผัสได้ (Permissible exposure limit-PEL) ไม่เกิน 1 ppm สำหรับพนักงานที่ทำงานในระยะเวลาทำงานเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (Occupational Safety and Health Administration) สำหรับประเทศไทยประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย ได้กำหนดให้ ความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต้องไม่เกิน 1 ppm เช่นเดียวกัน

(A) (B)

ภาพที่ 3.7 (A) เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น; (B) เครื่องวัดความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ระยะเวลาพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สามารถฆ่าเชื้อสปอร์ได้ 6-log reduction รวมกับเวลาที่ใช้ในการรอให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวจนเหลือต่ำกว่า 1 ppm จะถูกคำนวณเป็นระยะเวลาของหนึ่งรอบการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพ (effective decontamination cycle)

3.2.2 ขอบเขตประชากรที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มประชากร : รถโดยสารสาธารณะในประเทศไทย

กลุ่มตัวอย่าง : รถโดยสารสาธารณะประจำทางระหว่างจังหวัด (รถทัวร์) ตราด-กรุงเทพ จำนวน 20 คัน ที่ให้บริการที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด

3.3 ระยะที่ 3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

3.3.1 วิธีการวิจัย

ข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บจากแหล่งข้อมูลโดยตรง โดยใช้การเก็บแบบสอบถาม (questionnaires) จากกลุ่มเป้าหมาย โดยมีกรอบคำถามดังนี้

ก) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
ข) ความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย
ค) ทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย
ง) บรรทัดฐานทางสังคม
ฉ) การรับรู้ความสามารถตนเอง
ช) การรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ
ซ) การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ
ฌ) ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด
ญ) ความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.2 ขอบเขตประชากรที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มประชากร : ประชากรในประเทศไทยที่เดินทางโดยรถโดยสารสาธารณะ
กลุ่มตัวอย่าง : ผู้ที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป จำนวน 400 คน

การคำนวณจำนวนกลุ่มตัวอย่าง (Cochran, 1963) โดยนำข้อมูลประชากรที่เดินทางโดยรถโดยสารสาธารณะ ในประเทศไทยมีจำนวน 5,826,000 คน ข้อมูลจากบริษัท ขนส่ง จำกัด เข้าสูตรดังนี้

$$n = \frac{n_{\circ}}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N}}$$

โดย $n_{\circ} = \frac{z^2 p(1-p)}{e^2}$

โดยที่ N = ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

Z = ค่าจากตารางสถิติแสดงค่าพื้นที่ใต้โค้งปรกติ เช่นมีค่า 1.96 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

p = สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยกาลังสุ่ม .50

e = ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่เกิดขึ้น = .05

แทนค่า $n_{\circ}$ = (1.96x1.96) x 0.5x(1-0.5) / (0.05x0.05) = 385

หาค่า N = 385/ (1 + ((385-1)/5,826,000) = 385 คน

เนื่องจากการเลือกกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างตามสะดวก (convenience sampling) ซึ่งเป็นการเลือกหน่วยตัวอย่างโดยไม่ใช้ความน่าจะเป็น (non-probability sampling) ในการศึกษานี้จึงกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ 400 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเรื่อง “ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์” จะนำเสนอผลแบ่งออกเป็น 3 ระยะดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิจัยถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ
4.2 ผลการวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ
4.3 ผลการวิจัยถึงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

4.1 ผลการวิจัยถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

ผลจากการการสัมภาษณ์เชิงลึก (in-depth interview) ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะในประเทศไทย ได้แก่ เจ้าของกิจการ ผู้บริหาร พนักงานขับรถ จำนวน 20 คน

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะเป้าหมายที่สัมภาษณ์จำนวน 20 คน

ตำแหน่ง	บริษัท	จำนวน (คน)
หัวหน้าพนักงาน	บริษัท เชิดชัยทัวร์ จำกัด	1
พนักงานขับรถ	บริษัท เชิดชัยทัวร์ จำกัด	2
เจ้าของกิจการ	บริษัท ธนกวีขนส่ง จำกัด	1
พนักงานขับรถ	บริษัท ธนกวีขนส่ง จำกัด	10
พนักงานขับรถ	บริษัท เพชรประเสริฐ จำกัด	2
พนักงานขับรถ	บริษัท วิศวกรเสนา จำกัด	2
พนักงานขับรถ	บริษัท 407 พัฒนา จำกัด	1
ผู้ช่วยนายสถานีขนส่ง	เทศบาลอำเภอเมืองตราด	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัยในการเลือกใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ พบว่า แต่ละบริษัทมีวิธีการเลือกใช้แตกต่างกัน โดยจากการสัมภาษณ์ พนักงานขับรถของบริษัทเชิดชัยทัวร์ ได้ให้ข้อมูลว่า พนักงานขับรถในเส้นทาง สายตราด-กรุงเทพ และ กรุงเทพ-ตราด จะเป็นผู้ทำความสะอาดรถเอง โดยพนักงานขับรถจะทำความสะอาดเมื่อรถจอดพักที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด และสถานีขนส่งผู้โดยสารหมอชิต หรือ สถานีขนส่งเอกมัย โดยก่อนหน้าที่จะมีการระบาดของโรคโควิด-19 จะมีพนักงานผู้ช่วยคนขับรถที่เดินทางไปด้วย และเป็นผู้ที่มีหน้าที่ทำความสะอาด แต่ปัจจุบันมีการเลิกจ้างพนักงานผู้ช่วยคนขับรถ พนักงานขับรถจึงเป็นผู้ทำความสะอาดเอง โดยการใช้การกวาดพื้น เช็ดถูพื้นและเบาะที่นั่งด้วยน้ำผสมผงซักฟอกหรือน้ำยาล้างจาน โดยผงซักฟอกหรือน้ำยาล้างจาน พนักงานขับรถเป็นผู้จัดซื้อเอง การเลือกใช้สารทำความสะอาดมาจากประสบการณ์ที่ทำงานขับรถมา 10 กว่าปี ทำแบบนี้ตลอดและได้รับคำแนะนำจากพนักงานขับรถที่ทำงานมาก่อน จึงใช้วิธีนี้มาตลอด ส่วนน้ำยาฆ่าเชื้ออื่น เช่นแอลกอฮอล์สำหรับทำความสะอาดเบาะที่นั่งหรือราวจับต่างๆ จะใช้ต่อเมื่อมีการได้รับแจกจากหน่วยงานรัฐบาล แต่เมื่อหมดแล้วก็ไม่ได้ใช้ โดยกล่าวว่า “แอลกอฮอล์น้ำเช็ดทำความสะอาด ถ้าแจกก็ใช้ ถ้าไม่แจกก็ไม่ได้ใช้ เพราะเบี้ยเลี้ยงก็น้อย เบี้ยเลี้ยงจาก 900 เหลือ 700 เอง”

การทำความสะอาดภายในรถโดยพนักงานขับรถเป็นผู้ทำความสะอาดเอง สอดคล้องกับบริษัทอื่น จากการสัมภาษณ์พนักงานขับรถ บริษัท ธนกวี จำกัด จำนวน 10 คน ที่ให้บริการขนส่งผู้โดยสารในเส้นทางระหว่างจังหวัด ตราด-กรุงเทพ ได้ให้ข้อมูลว่า พนักงานขับรถจะเป็นผู้ทำความสะอาดรถเองที่สถานีขนส่งเอกมัย โดยใช้เวลาทำความสะอาดประมาณ 10-20 นาทีต่อคัน แต่อย่างไรก็ตาม พบว่าการเลือกวิธีการทำความสะอาดมีความแตกต่างกันในกลุ่มพนักงานขับรถ โดยมีการใช้การเช็ดถูพื้นและเบาะที่นั่งด้วยน้ำสะอาด แอลกอฮอล์ และน้ำยาฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 4.2 สารที่ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อภายในรถในพนักงานขับรถ บริษัท ธนกวี จำกัด จำนวน 10 คน

สารที่ใช้ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ	จำนวน (คน)
น้ำสะอาด	5 คน
น้ำยาเช็ดพื้นที่บริษัทฯจัดหาให้	3 คน
แอลกอฮอล์ผสมน้ำเช็ดพื้น	2 คน

ความแตกต่างของการเลือกใช้สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อภายในรถ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยของการจัดหา โดยพนักงานขับรถเป็นผู้ทำความสะอาดรถเองเมื่อรถจอดที่สถานีขนส่งเอกมัย ทางพนักงานขับรถสามารถขอน้ำยาถูพื้น และแอลกอฮอล์เช็ดเบาะจากทางบริษัทได้ แต่หากไม่ได้ขอน้ำยาถูพื้นและแอลกอฮอล์ ทางพนักงานขับรถจะเป็นผู้ที่จัดหาเอง โดยพนักงานขับรถบางราย ทำความสะอาดพื้นด้วยน้ำสะอาด บางรายทำความสะอาดด้วยน้ำยาถูพื้น และบางรายใช้แอลกอฮอล์ผสมน้ำเช็ดพื้นและเบาะด้วย นอกจากนี้ มีปัจจัยในเรื่องของระยะเวลาและสภาพร่างกายพนักงานขับรถขณะนั้น เนื่องจากบางครั้งมีระยะเวลาที่จอดพักที่สถานีขนส่งเอกมัยไม่มากก่อนที่จะออกรถเดินทาง ก็จะรีบทำความสะอาดโดยกวาดพื้นอย่างเดียว พนักงานขับรถรายนึงกล่าวว่า “ปัดกวาดเช็ดถู ส่วนใหญ่ใช้น้ำเปล่า ถ้าเหนื่อย ก็ไม่ค่อยได้ทำ ถ้าไม่เหนื่อยก็เช็ดนานหน่อย”

คุณ วรินทร์ลภัส ศักดิ์สมบูรณ์ เจ้าของบริษัท ธนกวี จำกัด ได้ให้ข้อมูลถึงการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อรถโดยสารสาธารณะที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด ว่า ได้มีการใช้น้ำยาฆ่าเชื้อถูพื้น โดยหาข้อมูลจากในอินเตอร์เนต ทางบริษัทจะมีแม่บ้านคอยช่วยทำความสะอาดในรถเมื่อรถมาจอดที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด โดยจะให้พนักงานขับรถไปจอดรถที่อู่ของบริษัท และแม่บ้านของบริษัทจะเป็นผู้ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อให้ ก่อนหน้านี้มีการใช้เครื่องพ่นฆ่าเชื้อแบบมือถือโดยใช้น้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับพ่นฆ่าเชื้อทำการฆ่าเชื้อภายในรถในช่วงเดือน มีนาคม 2563 ถึง เมษายน 2563 แต่ปัจจุบัน (สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2564) ไม่ได้ทำการพ่นฆ่าเชื้อแล้ว เนื่องจากไม่ได้มีการระบาดของโรคโควิด-19 มาก โดยเห็นว่า การรักษาความสะอาดและฆ่าเชื้อภายในรถเป็นสิ่งที่จำเป็น เนื่องจากหากรถไม่สะอาดหรือสกปรก ผู้โดยสารสามารถทำการร้องเรียนได้ทั้งร้องเรียนผ่านบริษัทหรือร้องเรียนผ่านสำนักงานขนส่งจังหวัดซึ่งมีหน้าที่ดูแลบริษัทผู้ประกอบธุรกิจรถโดยสารสาธารณะและอาจจะต้องเสียค่าปรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พนักงานขับรถ บริษัท เพชรประเสริฐ จำกัด ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะ เส้นทางระหว่างจังหวัดตราด-แม่สอด จังหวัดตาก ได้ให้ข้อมูลว่า พนักงานขับรถไม่ต้องทำความสะอาดรถเหมือนกับบริษัทอื่น โดยหากรถจอดอยู่ที่สถานีขนส่งผู้โดยสารแม่สอด ทางบริษัท เพชรประเสริฐ จำกัดจะมีแม่บ้านช่วยทำความสะอาดให้ แต่หากรถจอดอยู่ที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด จะไม่ต้องทำความสะอาด สำหรับบริษัท วิศวกรเสนา จำกัด ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะ เส้นทางระหว่างจังหวัด ตราด-นครราชสีมา ได้ให้ข้อมูลว่าทางบริษัทฯ ได้กำหนดให้ใช้ไฮเตอร์ผสมน้ำสะอาดในการทำความสะอาดพื้น โดยพนักงานขับรถเป็นผู้ซื้อเอง โดยมีพนักงานผู้ช่วยคนขับรถเป็นผู้ทำความสะอาดภายในรถ ทั้งถูพื้น เช็ดเบาะ กระจก และราวจับอื่นๆ ส่วนพนักงานขับรถจะเป็นผู้ทำความสะอาดภายนอกตัวรถ โดยจะทำทั้งสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราดและสถานีขนส่งผู้โดยสาร

จังหวัดนครราชสีมา สำหรับบริษัท 407 พัฒนา จำกัด ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะ เส้นทางระหว่างจังหวัด ตราด-หนองคาย พนักงานขับรถมีหน้าที่ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อภายในรถ โดยใช้ไฮเตอร์ผสมน้ำถูพื้น โดยทางบริษัทฯแนะนำให้ใช้ ส่วนพนักงานขับรถเป็นผู้ซื้อเอง โดยพนักงานขับรถจะเป็นผู้ทำความสะอาดเมื่อรถจอดที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด ส่วนแม่บ้านของบริษัทฯจะเป็นผู้ทำความสะอาดเมื่อรถจอดที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดหนองคาย

คุณชัชวาลย์ ดวงตา ตำแหน่งผู้ช่วยนายสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด ได้ให้ข้อมูลว่านายสถานีขนส่งมีหน้าที่ดูแลความสะอาดเรียบร้อยของสถานีขนส่ง รวมถึงรถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการผู้โดยสาร โดยรถโดยสารสาธารณะส่วนใหญ่พนักงานขับรถจะเป็นผู้ที่ทำความสะอาดเอง แล้วถึงการเลือกใช้วิธีการและสารที่ใช้ในการทำความสะอาด ไม่ได้มีมาตรฐานในการกำกับดูแลในส่วนนี้ หากรถโดยสารสกปรกโดยเฉพาะรถโดยสารสาธารณะที่ให้บริการห้องน้ำภายในรถ ก็จะมีผู้โดยสารทำการร้องเรียนไปถึงสำนักงานขนส่งจังหวัดและทางสำนักงานขนส่งก็จะเข้ามาตรวจสอบ

โดยสรุปจากการสัมภาษณ์ ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะ จำนวน 20 รายพบว่า มีความแตกต่างกันทั้ง บุคคลที่มีหน้าที่ทำความสะอาด และวิธีการเลือกใช้สารที่ใช้ในการทำงานความสะอาดและฆ่าเชื้อ บริษัทรถโดยสารสาธารณะเป็นผู้กำหนดผู้รับผิดชอบทำความสะอาด และสารที่ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ โดยสารที่ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ มีทั้งการใช้น้ำสะอาด ผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน น้ำยาถูพื้น แอลกอฮอล์ มาใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ อีกทั้งยังมีปัจจัยในเรื่องส่วนบุคคลของผู้มีหน้าที่ทำความสะอาด ในเรื่องระยะเวลาการทำความสะอาดที่จำกัดและความเหนื่อยล้าของผู้มีหน้าที่ทำความสะอาด ที่อาจส่งผลต่อผลลัพท์ในเรื่องประสิทธิภาพของความสะอาดและฆ่าเชื้อได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2 ผลการวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

การทำการวิจัยเชิงทดลอง โดยการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถทัวร์ระหว่างจังหวัด จำนวน 20 คัน ทำการทดลองในช่วงตั้งแต่วันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2564 ถึง 24 มีนาคม 2564 โดยทำการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่ง และ 45 ที่นั่ง

(A) (B)

ภาพที่ 4.1 (A) รถทัวร์ขนาด 45 ที่นั่ง; (B) รถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่ง

ในการทดลองพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถจำนวน 20 คัน ได้ทำการพ่นที่ระยะเวลา 16, 20, 25 และ 30 นาที และหลังจากพ่นได้ทำบันทึกเวลาที่ใช้ในการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ได้จากการวัดระดับความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จนต่ำกว่า 1 ppm

ตารางที่ 4.3 แสดงเวลาพ่นฆ่าเชื้อและระยะเวลาสลายตัวในรถทัวร์คันที่ 1-20

วันที่	รถคันที่	ขนาดรถ กว้างxยาวxสูง (เมตร)	เวลาพ่น (นาที)	เวลาสลายตัว (นาที)	รอบฆ่าเชื้อทั้งหมด (นาที)	น้ำยาฆ่าเชื้อ
15/2/21	1	11.5x2.4x1.9	16	37	53	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
15/2/21	2	6.7x2x1.9	16	62	78	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
18/2/21	3	11.5x2.4x1.9	25	19	44	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
18/2/21	4	11.5x2.4x1.9	30	41	71	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
19/2/21	5	6.7x2x1.9	25	19	44	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
19/2/21	6	6.7x2x1.9	30	45	75	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
8/3/21	7	6.7x2x1.9	30	73	103	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
9/3/21	8	6.7x2x1.9	16	36	52	7%H_2O_2
9/3/21	9	6.7x2x1.9	25	29	54	7%H_2O_2
16/3/21	10	6.7x2x1.9	30	66	96	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
16/3/21	11	6.7x2x1.9	30	69	99	5% H_2O_2 + 0.005% Ag
18/3/21	12	6.7x2x1.9	30	74	104	7%H_2O_2
18/3/21	13	6.7x2x1.9	30	103	133	7%H_2O_2
22/3/21	14	6.7x2x1.9	20	51	71	7%H_2O_2
22/3/21	15	6.7x2x1.9	25	72	97	7%H_2O_2
23/3/21	16	6.7x2x1.9	20	77	97	7%H_2O_2
23/3/21	17	6.7x2x1.9	25	58	83	7%H_2O_2
24/3/21	18	6.7x2x1.9	30	45	75	7%H_2O_2
24/3/21	19	6.7x2x1.9	30	40	70	7%H_2O_2
24/3/21	20	11.5x2.4x1.9	30	30	60	7%H_2O_2

จากตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของระยะเวลาที่ใช้ในการพ่นฆ่าเชื้อ และระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัวของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จนต่ำกว่า 1 ppm โดยระยะเวลาในการพ่นที่ 16, 20, 25 และ 30 นาที มีระยะเวลาที่ใช้ในการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตั้งแต่ 19-103 นาที ทำให้รอบการฆ่าเชื้อที่ใช้มีตั้งแต่ 44-133 นาที

ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

จากการทดสอบประสิทธิภาพการพ่นฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในรถทัวร์คันที่ 1-6 โดยการวางตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ไว้ 3 ตำแหน่งต่อคัน และผลการทดสอบในรถทัวร์คันที่ 7-20 โดยวางตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ไว้ 9 ตำแหน่งต่อคัน ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ รถทัวร์คันที่ 1-6

รถคันที่	ตำแหน่งตัวบ่งชี้ทางเคมี			ตำแหน่งตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ		
	1	2	3	1	2	3
1	–	–	–	**+**	**+**	**+**
2	+	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+
6	+	+	+	+	+	+

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการพ่นฆ่าเชื้อในรถทัวร์คันที่ 1-6 พบว่าในรถทัวร์คันที่ 1 ซึ่งใช้ระยะเวลาพ่น 16 นาทีในรถทัวร์ขนาด 45 ที่นั่ง ตัวบ่งชี้ทางเคมีให้ผลเป็นลบ ซึ่งแสดงถึงละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่ได้สัมผัสกับตัวบ่งชี้ทางเคมี สำหรับรถทัวร์คันที่ 2-6 พบว่าตัวบ่งชี้ทางเคมีให้ผลเป็นบวกทุกคัน สำหรับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพพบว่าให้ผลเป็นบวกในรถคันที่ 1-6 ทุกคันแสดงถึงการไม่สามารถทำลายสปอร์ได้ จากผลการทดลองในรถทัวร์คันที่ 1-6 จำนวนตัวบ่งชี้ทางเคมีให้ผลบวกเท่ากับ 15 ชิ้นจากจำนวนทั้งหมด 18 ชิ้นคิดเป็นร้อยละ 83.33 และตัวบ่งชี้ทางชีวภาพให้ผลลบทั้งหมด 0 ชิ้นจากจำนวนทั้งหมด 18 ชิ้นคิดเป็นร้อยละ 0

ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ รถทัวร์คันที่ 7-20

คันที่	ตำแหน่งตัวบ่งชี้ทางเคมี									ตำแหน่งตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
8	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
11	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
12	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
14	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	+	−	−	−	+	+	+
15	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	+	−	−	−	−	−	−
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	+	−	−
17	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	+	−	−	−	+	−	−
18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
19	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−	−	−	−	−	−
20	+	−	+	+	+	+	+	+	x	−	+	−	−	−	−	+	+	x

หมายเหตุ x ; ตำแหน่งแผ่นกรองแอร์ของรถทัวร์คันที่ 20 ไม่ได้วางตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการพ่นฆ่าเชื้อในรถทัวร์คันที่ 7-20 พบว่าตัวบ่งชี้ทางเคมีแสดงถึงการสัมผัสกับละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุกตำแหน่งและทุกคันภายในรถยกเว้นรถทัวร์คันที่ 20 ในตำแหน่งที่ 2 ที่เป็นมุมซ้ายหน้ารถบนพื้น ที่ตัวบ่งชี้ทางเคมีให้ผลเป็นลบแสดงถึงการสัมผัสกับละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่เพียงพอในตำแหน่งนี้ โดยสรุปจำนวนตัวบ่งชี้ทางเคมีจำนวนที่ให้ผลบวกทั้งหมดเท่ากับ 124 ชิ้นจากจำนวนการวางทั้งหมด 125 ชิ้น คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 99.2

สำหรับตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ พบว่ารถทัวร์คันที่ 7, 10, 11, 12, 13, 18 และ 19 ที่ให้ผลเป็นลบทั้งหมดทุกตำแหน่งในรถ ซึ่งแสดงถึงการประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้ในระดับ 6-log reduction ทำให้ฆ่าเชื้อสปอร์ G. stearothermophilus ได้ ซึ่งรถทัวร์คันที่ 7, 10 และ 11 เป็นการใช้เวลาพ่นที่ 30 นาทีโดยใช้น้ำยาพ่น 5% H_2O_2 + 0.005% Ag และรถทัวร์คันที่ 12, 13, 18 และ 19 เป็นการพ่นที่

30 นาทีโดยใช้น้ำยาพ่น 7% H_2O_2 ส่วนในรถทัวร์คันที่ 8 และ 9 พบว่าตัวบ่งชี้ทางงชีวภาพให้ผลเป็นบวกทุกตำแหน่ง แสดงถึงการที่ละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่สามารถฆ่าเชื้อได้ในระดับ 6-log reduction ได้ทุกตำแหน่ง รถทัวร์คันที่ 14, 15, 16, 17 และ 20 พบว่าตัวบ่งชี้ทางชีวภาพให้ผลบวกบางตำแหน่งในรถ แสดงถึงละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่สามารถฆ่าเชื้อได้ในระดับ 6-log reduction ได้ในบางตำแหน่ง โดยสรุปจำนวนตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ให้ผลลบจำนวน 94 ชิ้น จากจำนวนทั้งหมด 125 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 75.2

ผลการทดสอบการทดสอบการปนเปื้อนของจุลินทรีย์บนพื้นผิว

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย ยีสต์ และราบนพื้นผิว ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ

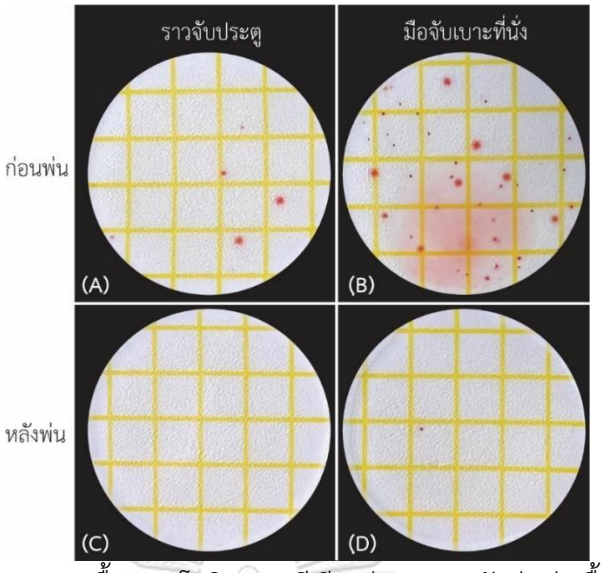
รายละเอียด	ราวประตู	มือจับ	เบาะที่นั่ง	แผ่นกรองแอร์
รถทัวร์คันที่ 1 ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	**3**	60	-	**-**
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/25cm^2)	**0**	0	-	**-**
รถทัวร์คันที่ 1 หลังพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	0	1	-	-
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/25cm^2)	0	0	-	-
รถทัวร์คันที่ 8 ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	34	4	30	93
ปริมาณยีสต์และรา(CFU/25cm^2)	0	0	0	12
รถทัวร์คันที่ 8 หลังพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	0	1	1	47
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/25cm^2)	0	0	0	6
รถทัวร์คันที่ 18 ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	1	22	4	-
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/25cm^2)	0	1	0	-
รถทัวร์คันที่ 18 หลังพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	0	0	0	-
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/25cm^2)	0	0	0	-
รถทัวร์คันที่ 19 ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	-	-	-	67
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/25cm^2)	-	-	-	0
รถทัวร์คันที่ 19 หลังพ่นฆ่าเชื้อ				
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/25cm^2)	-	-	-	49
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/25cm^2)	-	-	-	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

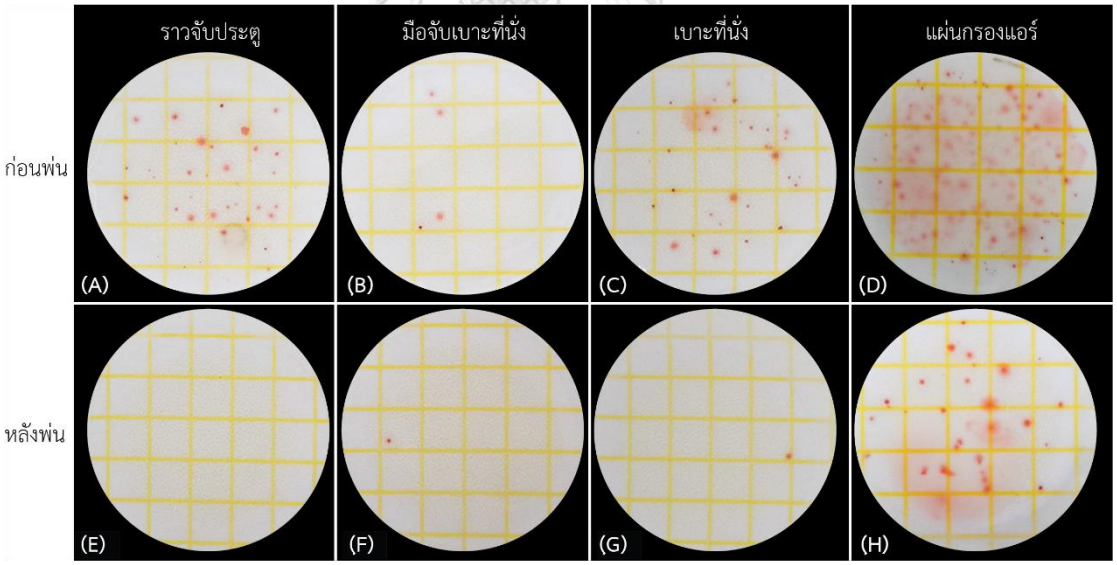
จากตารางที่ 4.6 พบว่า ได้ทำการสุ่มทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียและการปนเปื้อนยีสต์และราบนพื้นผิวก่อนและหลังการพ่นเชื้อ โดยสุ่มในรถทัวร์คันที่ 1 จำนวน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ราวประตูและมือจับเบาะที่นั่ง สุ่มตัวอย่างในรถทัวร์คันที่ 8 จำนวน 4 ตัวอย่างได้แก่ ราวประตู มือจับเบาะที่นั่ง เบาะที่นั่ง และ แผ่นกรองแอร์ สุ่มตัวอย่างในรถทัวร์คันที่ 18 จำนวน 3 ตัวอย่างได้แก่ ราวประตู มือจับเบาะที่นั่ง และเบาะที่นั่ง และสุ่มตัวอย่างในรถทัวร์คันที่ 19 จำนวน 1 ตัวอย่าง ได้แก่ แผ่นกรองแอร์ รวมจำนวนการสุ่มตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 10 ตัวอย่าง จากรถทัวร์ทั้ง 4 คันทั้งก่อนการพ่นฆ่าเชื้อและหลังการพ่นฆ่าเชื้อ ผลการสุ่มตัวอย่างทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียก่อนการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่ามีจำนวนตัวอย่างพื้นผิวทั้งหมด 10 ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อน คิดเป็นร้อยละ 100 โดยตำแหน่งที่พบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียมากที่สุดได้แก่ แผ่นกรองแอร์ รองลงมาคือ มือจับเบาะที่นั่ง ราวประตู และ เบาะที่นั่งตามลำดับ ผลการสุ่มตัวอย่างทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียหลังการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่ามีจำนวนตัวอย่างพื้นผิวทั้งหมด 5 ตำแหน่งที่พบมีการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย คิดเป็นร้อยละ 50 โดยตำแหน่งที่พบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียมากที่สุดได้แก่ แผ่นกรองแอร์

ก่อนทำการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่ามีการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย โดยเฉลี่ย 31.8 CFU/25cm^2 ส่วนหลังทำการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่าการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียลดลงเหลือค่าเฉลี่ย 9.9 CFU/25cm^2 โดยคิดเป็นการลดลงร้อยละ 68.86

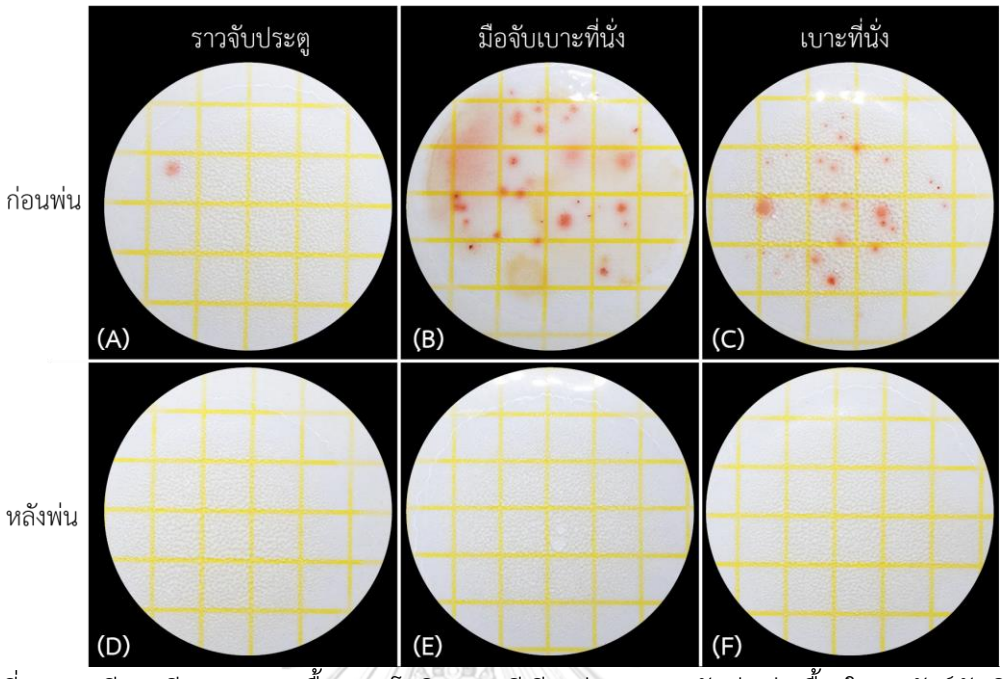
ผลการสุ่มตัวอย่างทดสอบการปนเปื้อนยีสต์และราก่อนการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่ามีจำนวนตัวอย่างพื้นผิวทั้งหมด 2 ตัวอย่างที่มีการปนเปื้อน คิดเป็นร้อยละ 20 โดยตำแหน่งที่พบการปนเปื้อนยีสต์และรามากที่สุดได้แก่ แผ่นกรองแอร์ รองลงมาคือ มือจับเบาะที่นั่ง ผลการสุ่มตัวอย่างทดสอบการปนเปื้อนยีสต์และราหลังการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่ามีจำนวนตัวอย่างพื้นผิว 1 ตำแหน่งที่พบมีการปนเปื้อนยีสต์และรา คิดเป็นร้อยละ 10 โดยตำแหน่งที่พบการปนเปื้อนยีสต์และราคือ แผ่นกรองแอร์ โดยก่อนการพ่นฆ่าเชื้อพบว่ามีการปนเปื้อนยีสต์และรา โดยเฉลี่ย 1.3 CFU/25cm^2 หลังทำการพ่นฆ่าเชื้อ พบการปนเปื้อนยีสต์และรา โดยเฉลี่ย 0.6 CFU/25cm^2 คิดเป็นการลดลงร้อยละ 53.84



ภาพที่ 4.2 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรีย ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อในรถทัวร์คันที่ 1; (A) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (C) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (D) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ

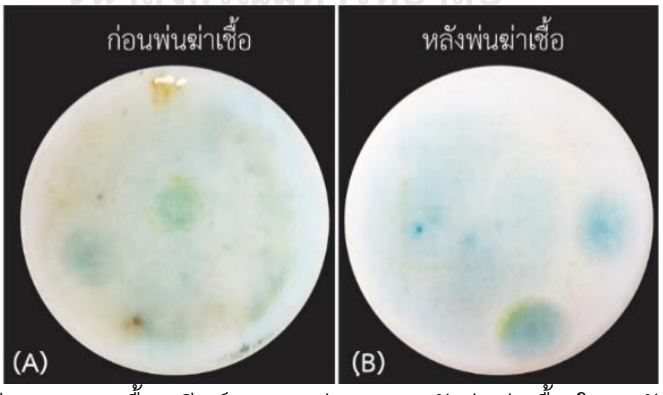


ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรีย ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ ในรถทัวร์คันที่ 8; (A) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (C) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (D) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (E) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (F) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (G) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (H) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ หลังพ่นฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรีย ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ ในรถทัวร์คันที่ 18; (A) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (C) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (D) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (E) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่ราวจับประตู หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (F) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่มือจับเบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (G) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่เบาะที่นั่ง หลังพ่นฆ่าเชื้อ, (H) ตำแหน่งสุ่มตัวอย่างที่แผ่นกรองแอร์ หลังพ่นฆ่าเชื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

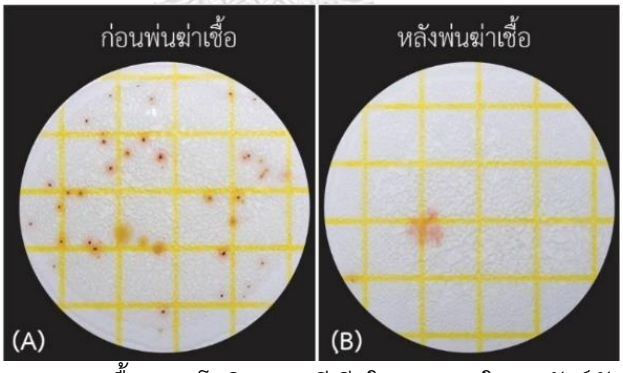


ภาพที่ 4.5 เปรียบเทียบการปนเปื้อนยีสต์และรา ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ ในรถทัวร์คันที่ 8 ที่ตำแหน่งแผ่นกรองแอร์; (A) ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) หลังพ่นฆ่าเชื้อ

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย ยีสต์ และราในอากาศ ก่อนและหลังพ่นฆ่าเชื้อ

รายละเอียด	**การปนเปื้อนในอากาศ**
รถทัวร์คันที 19 - ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ	
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/40cm^2)	**38**
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/40cm^2)	**0**
รถทัวร์คันที 19 – หลังพ่นฆ่าเชื้อ	
ปริมาณแอโรบิคแบคทีเรีย (CFU/40cm^2)	**3**
ปริมาณยีสต์และรา (CFU/40cm^2)	**0**

จากตารางที่ 4.7 ได้ทำการทดสอบการปนเปื้อนเชื้อในอากาศในรถทัวร์คันที่ 19 พบว่า ก่อนทำการพ่นฆ่าเชื้อ มีการปนเปื้นเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย จำนวน 38 CFU/40cm^2 เทียบกับหลังทำการพ่นฆ่าเชื้อ มีการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรีย จำนวน 3 CFU/40cm^2 ซึ่งคิดเป็นการลดลงร้อยละ 92.10 ส่วนการปนเปื้อนยีสต์และราในอากาศ ไม่พบการปนเปื้อนทั้งก่อนและหลังทำการพ่นฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบการปนเปื้อนแอโรบิคแบคทีเรียในอากาศ ในรถทัวร์คันที่ 19; (A) ก่อนพ่นฆ่าเชื้อ, (B) หลังพ่นฆ่าเชื้อ

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากการทำแบบสอบถาม 406 ชุด เป็นเครื่องมือการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล การใช้สถิติในงานวิจัยนี้แบ่งออกได้เป็น สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) และ สถิติเชิงอ้างอิง (Inferential Statistics)

4.3.1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ลักษณะ	จำนวน	ร้อยละ	ลักษณะ	จำนวน	ร้อยละ
เพศ			**ที่อยู่อาศัย**		
ชาย	73	18.0	กรุงเทพมหานคร	169	41.6
หญิง	332	81.8	ชลบุรี	19	4.7
อื่นๆ	1	0.2	สงขลา	8	2.0
อายุ			นครราชสีมา	12	3.0
18-22	92	22.7	เชียงใหม่	23	5.7
23-34	176	43.3	นครปฐม	13	3.2
35-44	102	25.1	สุราษฎร์ธานี	6	1.5
45-54	35	8.6	ปทุมธานี	23	5.7
55-60	1	0.2	ขอนแก่น	9	2.2
สถานภาพการสมรส			นนทบุรี	27	6.7
โสด	291	71.7	จังหวัดอื่นๆ	97	23.9
สมรส	98	24.1	**ระดับรายได้**		
หม้าย	9	2.2	น้อยกว่า 9,000	79	19.5
หย่าร้าง	6	1.5	9,001-15,000	108	26.6
แยกกันอยู่	2	0.5	15,001-30,000	112	27.6
ระดับการศึกษาสูงสุดหรือกำลังศึกษาอยู่			30,001-60,000	75	18.5
ต่ำกว่าปริญญาตรี	62	15.3	60,001-100,000	25	6.2
ปริญญาตรี/	278	68.5	100,001 ขึ้นไป	7	1.7
ปริญญาโท	54	13.3	**ยานพาหนะส่วนตัว**		
ปริญญาเอก	12	3.0	มี	237	58.4
เคยเดินทางโดยรถโดยสารประจำทาง			ไม่มี	169	41.6
เคย	398	98.0	**ใบอนุญาตขับขี่**		
ไม่เคย	8	2.0	มี	239	58.9
			ไม่มี	167	41.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.8 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 81.8 ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 23-34 ปี คิดเป็นร้อยละ 43.3 รองลงมาคือกลุ่มอายุ 35-44 ปี และ 18-22 ปี คิดเป็นร้อยละ 25.1 และ 22.7 ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีสถานภาพการสมรสคือ โสด คิดเป็นร้อยละ 71.7 รองลงมาคือ สมรสแล้ว คิดเป็นร้อยละ 24.1 และ หม้าย คิดเป็นร้อยละ 2.2 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรีหรือเทียบเท่า คิดเป็นร้อยละ 68.5 รองลงมาคือในระดับต่ำกว่าปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 15.3 และในระดับปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 13.3 ข้อมูลที่อยู่อาศัย พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อาศัยในจังหวัดกรุงเทพ คิดเป็นร้อยละ 41.6 รองลงมาคือจังหวัดนนทบุรี คิดเป็นร้อยละ 6.7 และจังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดปทุมธานี คิดเป็นร้อยละ 5.7 เท่ากัน ระดับรายได้ของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีรายได้ในระดับ 15,001-30,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 27.6 รองลงมาคือรายได้ในระดับ 9,001-15,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 26.6 และรายได้ในระดับน้อยกว่า 9,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 19.5 ผู้ตอบแบบสอบถามที่มียานพาหนะส่วนตัวมีจำนวนร้อยละ 58.4 ในขณะที่ผู้ที่ไม่มียานพาหนะส่วนตัวมีจำนวนร้อยละ 41.6 สอดคล้องกับข้อมูลที่ผู้ตอบแบบสอบถามมีใบอนุญาตขับขี่คิดเป็นร้อยละ 58.9 และผู้ที่ไม่มีใบอนุญาตขับขี่คิดเป็นร้อยละ 41.1 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เคยเดินทางโดยรถโดยสารสาธารณะ คิดเป็นร้อยละ 98 มีผู้ตอบแบบสอบถามเพียงร้อยละ 2 เท่านั้นที่ไม่เคยเดินทางด้วยรถโดยสารสาธารณะ

ตารางที่ 4.9 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามความรู้เกี่ยวกับสุขอนามัย

ความรู้เกี่ยวกับสุขอนามัย	จำนวน	ร้อยละ
ตอบผิดทุกข้อ	1	0.2
ตอบถูก 1 ข้อ	0	0.0
ตอบถูก 2 ข้อ	13	3.2
ตอบถูก 3 ข้อ	392	96.6
รวม	406	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.9 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ตอบคำถามเกี่ยวกับความรู้ด้านสุขอนามัยได้ถูกทุกข้อ คิดเป็นร้อยละ 96.6 รองลงมาตอบถูก 2 ข้อจาก 3 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 3.2 และมีผู้ตอบผิดทุกข้อ เพียงร้อยละ 0.2

ตารางที่ 4.10 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถาม จำแนกตามทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย

	น้อยที่สุด	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด	มากและมากที่สุด
ทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย	1 (0.2%)	1 (0.2%)	1 (0.2%)	88 (21.7%)	315 (77.6%)	403 (99.3%)
บรรทัดฐานทางสังคม	1 (0.2%)	2 (0.5%)	24 (5.9%)	132 (32.5%)	247 (60.8%)	379 (93.3%)
การรับรู้ความสามารถตนเอง	26 (6.4%)	45 (11.1%)	112 (27.6%)	124 (30.5%)	99 (24.4%)	223 (54.9%)
การรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ	0 (0%)	9 (2.2%)	93 (22.9%)	186 (45.8%)	118 (29.1%)	304 (74.9%)
การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ	0 (0%)	0 (0%)	13 (3.2%)	97 (23.9%)	296 (72.9%)	393 (96.8%)
ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด	11 (2.7%)	19 (4.7%)	99 (24.4%)	203 (50%)	74 (18.2%)	277 (68.2%)
ความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม	8 (2.0%)	15 (3.7%)	110 (27.1%)	147 (36.2%)	126 (31.0%)	273 (67.2%)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัยอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 99.3 มีบรรทัดฐานทางสังคมอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 93.3 มีการรับรู้ความสามารถตนเองในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 54.9 มีการรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 74.9 การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 96.8 ผู้ตอบแบบสอบถามมีความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 68.2 และผู้ตอบแบบสอบถามมีความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่มในระดับมากถึงมากที่สุดรวมกันร้อยละ 67.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม

	จำนวน (คน)	ค่าเฉลี่ย (บาท)	ค่ามัธยฐาน (บาท)	S.D.
ผู้ตอบแบบสอบถามทุกคน	406	64.69	30	57.21
ผู้ตอบแบบสอบถามที่เต็มใจจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม	273	71.68	50	56.46

จากตารางที่ 4.11 พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามทุกคนจำนวน 406 คนมีค่าเฉลี่ยที่เต็มใจจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่มขึ้น 64.69 บาทและมีค่ามัธยฐานที่เต็มใจจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่มขึ้นอีก 30 บาท ส่วนในกลุ่มของผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นกลุ่มที่เต็มใจจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม พบว่ามีค่าเฉลี่ยที่เต็มใจจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่มขึ้น 71.68 บาทและมีค่ามัธยฐานที่เต็มใจจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่มขึ้นอีก 50 บาท

4.3.2 สถิติเชิงอ้างอิง (Inferential Statistics)

ตารางที่ 4.12 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ทดสอบด้วยสถิติ Kruskal-Wallis

สถิติทดสอบ (Kruskal-Wallis Test)				
	ตัวแปร	Chi-square	Degree of freedom	P-value
ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด	ความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย	0.223	2	0.895
	ทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย	13.203	4	0.010
	บรรทัดฐานทางสังคม	15.816	4	0.003
	การรับรู้ความสามารถตนเอง	29.745	4	0.000
	การรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ	3.683	3	0.298
	การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ	16.185	2	0.000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.12 เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย ต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด พบว่า ค่าสถิติทดสอบโดย Kruskal-Wallis ความมีนัยสำคัญอยู่ที่ 0.895 จึงสรุปได้ว่า ความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย ไม่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารสาธารณะที่สะอาด และเมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย ต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ทดสอบโดย Kruskal-Wallis พบว่า ความมีนัยสำคัญอยู่ที่ 0.010 จึงสรุปได้ว่า ทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ส่วนการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยบรรทัดฐานทางสังคม ต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะ ทดสอบโดย Kruskal-Wallis พบว่า ความมีนัยสำคัญอยู่ที่ 0.003 จึงสรุปได้ว่า บรรทัดฐานทางสังคม มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ส่วนการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการรับรู้ความสามารถตนเอง ต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะ ทดสอบโดย Kruskal-Wallis พบว่า ความมีนัยสำคัญอยู่ที่ 0.000 จึงสรุปได้ว่า การรับรู้ความสามารถตนเอง มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ส่วนการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ ต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ทดสอบโดย Kruskal-Wallis พบว่า ความมีนัยสำคัญอยู่ที่ 0.298 จึงสรุปได้ว่า การรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ ไม่มีผลต่อ ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ส่วนการทดสอบการรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ทดสอบโดย Kruskal-Wallis พบว่า ความมีนัยสำคัญอยู่ที่ 0.000 จึงสรุปได้ว่า การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.13 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม ทดสอบด้วยสถิติ Kruskal-Wallis

สถิติทดสอบ (Kruskal-Wallis Test)				
	ตัวแปร	Chi-square	Degree of freedom	P-value
ความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม	ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด	19.166	4	0.001

จากตารางที่ 4.13 เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม ทดสอบโดย Kruskal-Wallis พบว่า ความมีนัยสำคัญอยู่ที่ 0.001 จึงสรุปได้ว่า ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด มีผลต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาเรื่อง ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้แบ่งการวิจัยออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนที่หนึ่งคือการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ ส่วนที่สองคือการพัฒนากระบวนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ และส่วนที่สามคือการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ สามารถทำการสรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะได้ดังนี้

5.1 สรุปและอภิปรายผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

5.1.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ โดยการสัมภาษณ์ผู้ให้บริการรถโดยสารสาธารณะจำนวน 20 ราย พบว่าการเลือกใช้วิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะนั้นมีความแตกต่างกัน ทั้งผู้รับผิดชอบทำความสะอาด เช่น บริษัท เชิดชัยทัวร์ จำกัด พนักงานขับรถจะเป็นผู้ทำความสะอาดรถทุกครั้งทั้งสถานีขนส่งต้นทางและปลายทาง ซึ่งสอดคล้องกับบริษัท วิศวกรเสนา จำกัด ที่พนักงานขับรถที่มีหน้าที่ทำความสะอาดทั้งสถานีต้นทางคือสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดนครราชสีมา และสถานีขนส่งปลายทางคือสถานีขนส่งจังหวัดตราด แต่ในกรณีของบริษัท ธนกวีขนส่ง จำกัด พนักงานขับรถ จะเป็นผู้ทำความสะอาดที่สถานีขนส่งปลายทางเท่านั้น คือสถานีขนส่งเอกมัย ส่วนสถานีขนส่งต้นทางคือ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราด ผู้ที่รับผิดชอบทำความสะอาดคือแม่บ้านของบริษัท สอดคล้องกับบริษัท 407 พัฒนา จำกัด ที่พนักงานขับรถจะมีหน้าที่ทำความสะอาดที่สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดตราดซึ่งเป็นสถานีปลายทางของบริษัท ส่วนสถานีต้นทางคือสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดหนองคาย แม่บ้านของบริษัทจะเป็นผู้รับผิดชอบทำความสะอาด ในกรณีของบริษัท เพชรประเสริฐ จำกัดนั้น หากเป็นสถานีขนส่งปลายทาง จะไม่ได้ทำความสะอาด จะมีการทำความสะอาดรถเฉพาะสถานีขนส่งต้นทางเท่านั้น โดยแม่บ้านของบริษัทเป็นผู้ทำความสะอาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากความแตกต่างด้านผู้รับผิดชอบทำความสะอาดแล้ว ยังมีความแตกต่างในเรื่องการเลือกใช้สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถ จากการสัมภาษณ์พบว่า การเลือกใช้สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ มีตั้งแต่การใช้น้ำสะอาด น้ำยาเช็ดพื้น แอลกอฮอล์ ผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน ไฮเตอร์ โดยเหตุผลที่เลือกใช้สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมีเหตุผลที่แตกต่างกัน กล่าวคือเช่น การได้รับคำแนะนำจากเพื่อนพนักงานขับรถด้วยกันเอง หรือมาจากประสบการณ์ส่วนตัวที่ผ่านมา อีกทั้งอาจมาจากการนโยบายที่บริษัทได้กำหนดให้ใช้ หรือการที่ได้รับสารฆ่าเชื้อมาฟรี เช่น แอลกอฮอล์สำหรับฆ่าเชื้อจึงนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อในรถ เป็นต้น

5.1.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้วิธีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ พบว่ามีความแตกต่างกันทั้งผู้รับผิดชอบทำความสะอาด การเลือกใช้สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ รวมถึงทรัพยากรที่ใช้ในการทำความสะอาด เช่นการจัดหาซื้อ หรือการได้รับบริจาคสารฆ่าเชื้อมาฟรี ความแตกต่างของบุคคลที่ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ รวมถึงวิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ อาจส่งผลต่อระดับของความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า ปัจจัยการทำความสะอาดที่แตกต่างกันของผู้ปฏิบัติงาน ทั้งเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดส่งผลต่อระดับของความสะอาดได้ (Boyce, et al., 2010) สารที่ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ หากใช้ไม่ถูกต้องหรือใช้สารที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อ เช่นการใช้สารฆ่าเชื้อในระยะเวลาสัมผัสกับพื้นผิวที่ไม่เพียงพอ จะไม่สามารถทำลายเชื้อที่ปนเปื้อนได้ และอาจยังเป็นตัวกลางในการกระจายเชื้อที่ปนเปื้อนไปยังพื้นผิวอื่นได้ (Cadnum, et al., 2013) ความสับสนระหว่างผู้ที่ควรมีหน้าที่ทำความสะอาด เช่น ใครควรมีหน้าที่ทำความสะอาดระหว่างแม่บ้านหรือพนักงานขับรถดังที่พบในการศึกษานี้ อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการทำความสะอาดได้ เช่นเดียวกับการศึกษาในโรงพยาบาลที่พบการสับสนต่อความรับผิดชอบการทำความสะอาด ระหว่างพยาบาลและแม่บ้านทำความสะอาด ส่งผลต่อประสิทธิภาพความสะอาดได้ (Anderson, et al., 2011)

การมีระบบติดตามการทำความสะอาดเพื่อใช้เป็นกระบวนการในการปรับปรุงคุณภาพของการทำความสะอาดถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาคุณภาพ โดยปรกติการใช้เครื่องมือการติดตามการทำความสะอาด เช่น สีฟลูออเรสเซ้นต์ (Fluorescent marker) การตรวจสอบการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์บนพื้นผิวด้วยการทำการป้ายพื้นผิวแล้วทำการเพาะเชื้อ หรือตรวจด้วยการเรืองแสงด้วยเทคนิค ATP Bioluminescence ซึ่งกระบวนการติดตามการทำความสะอาดจะสามารถประเมินระดับของความสะอาดที่พนักงานทำความสะอาดและนำมาใช้ปรับปรุงได้ ในการศึกษานี้

พบว่าในรถโดยสารสาธารณะยังไม่มีระบบติดตามการทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ อาศัยการประเมินความสะอาดด้วยสายตาเพียงอย่างเดียว ซึ่งการศึกษาพบว่าการประเมินทางสายตาเป็นตัววัดระดับความสะอาดที่ไม่ดี การประเมินด้วยสายตาว่าพื้นผิวมีความสะอาดพบว่าแท้จริงยังมีการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่เกินมาตรฐาน จึงไม่ควรนำการประเมินทางสายตามาใช้วัดระดับความสะอาด (Malik, et al., 2003)

5.2 สรุปและอภิปรายผลการวิจัยเรื่องการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะ

5.2.1 สรุปผลการวิจัย

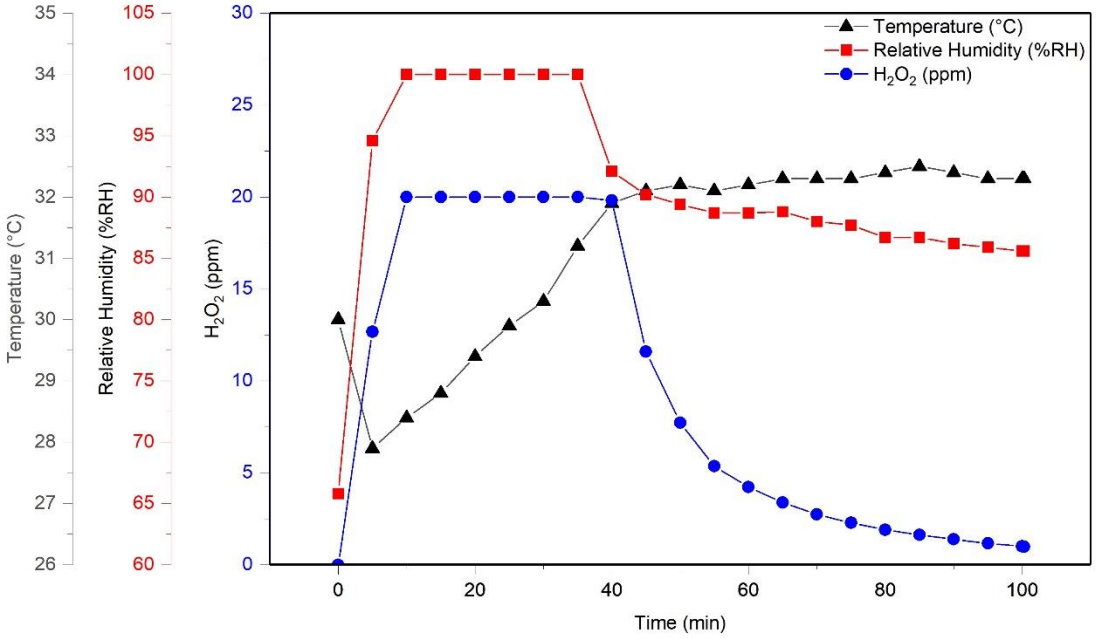
ในการทำการทดลองพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อในรถทัวร์จำนวน 20 คัน โดยการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อสำหรับรถทัวร์คันที่ 1-6 ได้ใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ 3M™ Attest™ Rapid Readout Biological Indicator 1295 ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดสำเร็จรูปบรรจุเชื้อสปอร์ภายในและอาหารเลี้ยงเชื้อ ภายนอกมีแผ่นกรองปิดบริเวณฝาหลอด จากผลการทดลองพบว่าเชื้อสปอร์ที่อยู่ภายในหลอดไม่ถูกทำลายด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เนื่องจากละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่สามารถผ่านแผ่นกรองที่ฝาเข้าไปสัมผัสกับเชื้อสปอร์ได้ การทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในรถทัวร์คันที่ 1-6 ที่พบว่าไม่สามารถฆ่าเชื้อได้จึงเกิดจากตัวบ่งชี้ทางชีวภาพไม่เหมาะสมกับการทดลองมากกว่าระบบฆ่าเชื้อ ดังนั้นการทดลองคันที่ 7-20 จึงเปลี่ยนตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเป็น Sterind Bio-indicator ซึ่งเป็นลักษณะซองกระดาษกลาสซีนบรรจุเชื้อสปอร์ไว้ภายในจากผลการทดลองพบว่าละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถผ่านกระดาษกลาสซีนเข้าไปสัมผัสกับสปอร์ภายในได้ จึงสามารถนำมาใช้เป็นตัวยืนยันประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้ ผลการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจึงอ้างอิงผลจากผลการทดลองในรถทัวร์คันที่ 7-20

การทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในรถทัวร์คันที่ 7-20 ด้วยตัวบ่งชี้ทางเคมีทั้งหมดจำนวน 125 ชิ้น พบว่าให้ผลเป็นบวกแสดงถึงการสัมผัสกับละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จำนวน 124 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 99.2 ส่วนตัวบ่งชี้ทางชีวภาพจำนวนทั้งหมด 125 ชิ้น พบว่าให้ผลลบที่แสดงถึงประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้จำนวน 94 ชิ้น คิดเป็นจำนวนร้อยละ 75.2 การใช้รอบการพ่นฆ่าเชื้อที่ระยะเวลา 16 นาทีพบว่าไม่สามารถทำการทำลายเชื้อสปอร์ได้ทุกตำแหน่งในรถ ส่วนการใช้รอบการพ่นฆ่าเชื้อที่ระยะเวลา 20 และ 25 นาทีพบว่า ไม่สามารถทำลายเชื้อสปอร์ได้บางตำแหน่งภายในรถ และการใช้รอบการพ่นฆ่าเชื้อที่ระยะเวลา 30 นาทีในรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่งพบว่าสามารถทำลายเชื้อ

สปอร์ได้ทุกตำแหน่งทั้งการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้ง 2 ชนิดคือ 5% H_2O_2 + 0.005%Ag และ 7%H_2O_2 โดยระยะเวลาการสลายตัวสำหรับรอบการพ่น 30 นาที มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67 นาที (95% CI; 47-86 นาที) สำหรับการทดลองพ่นฆ่าเชื้อในรถขนาด 45 ที่นั่งพบว่ายังไม่สามารถฆ่าเชื้อสปอร์ได้บางตำแหน่งภายในรถ

การทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียบนพื้นผิวก่อนและหลังการพ่นเชื้อ ในรถทัวร์ทั้ง 4 คันจำนวนตัวอย่าง 10 ตัวอย่าง โดยก่อนการพ่นฆ่าเชื้อ ตรวจพบการปนเปื้อนเชื้อทุกตำแหน่ง โดยมีจำนวนเฉลี่ย 31.8 CFU/25cm^2 หลังจากทำการพ่นฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่ามีตัวอย่างเพียง 5 ตัวอย่างที่พบการปนเปื้อนเชื้แอโรบิคแบคทีเรีย และมีจำนวนเฉลี่ย 9.9 CFU/25cm^2 โดยคิดเป็นการลดลงร้อยละ 68.86

การทำการทดลองพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นการทดลองในสภาพแวดล้อมจริง ไม่ได้มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ก่อนทำการพ่นฆ่าเชื้อ พบว่าในขณะที่ทำการพ่นความชื้นสัมพัทธ์จะสูงขึ้นในขณะที่อุณหภูมิห้องจะลดลง จนกระทั่งระยะเวลาการพ่นสิ้นสุดลง จากนั้นความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงและอุณหภูมิห้องจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

5.2.2 อภิปรายผล

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพทำลายเชื้อ ไวรัส แบคทีเรีย รา และสปอร์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปแบบของละอองเป็นระบบการฆ่าเชื้อที่มีการใช้งานที่ง่าย มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากละอองสามารถกระจายไปทั่วพื้นผิวในวงกว้าง มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวได้เองกลายเป็นออกซิเจนและน้ำ ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การใช้งานระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นระบบที่มีการใช้งานที่ง่าย เนื่องจากไม่ต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ก่อนทำการพ่นฆ่าเชื้อ ซึ่งทั้งระบบการฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทั้งสองระบบในขณะปล่อยไอหรือละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มสูงขึ้น มีงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์ต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และได้ผลที่แตกต่างกัน โดยมีการศึกษาที่พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงจะส่งผลลบต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงในอากาศจะไม่สามารถกักเก็บไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้มีความเข้มข้นสูงได้ และความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงทำให้เกิดการควบแน่นเมื่อความเข้มข้นของไอสูงกว่าระดับจุดอิ่มตัว (saturation level) การเกิดการควบแน่นทำให้ไอไม่สามารถกระจายไปในอากาศได้ทั่วถึง จึงส่งผลลบต่อประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ทำให้เกิดระบบฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบแห้ง (dry process) ที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำก่อนทำการฆ่าเชื้อ ในขณะที่การศึกษาอื่นพบว่าประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับการเกิดการควบแน่นที่พื้นผิว ความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงจะมีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อที่พื้นผิวได้ดีกว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำ จึงทำให้ระบบการฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบเปียก (wet process) ซึ่งเป็นระบบที่ไม่ต้องการความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำก่อนทำการฆ่าเชื้อ (Unger-Bimczok, et al., 2008) ซึ่งการทดลองด้วยการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาพแวดล้อมจริง ไม่ได้มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิก็พบมีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อสปอร์ได้ 6-log reduction ซึ่งการที่ไม่ต้องอาศัยการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิก่อนทำการพ่นฆ่าเชื้อ จึงทำให้ระบบการฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นระบบที่มีการใช้งานที่ง่าย

กระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของระบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพนั้นยังไม่ได้มีมาตรฐานกำหนด ต่างจากระบบวิธีการฆ่าเชื้อรูปแบบอื่น เช่น มาตรฐาน ISO 11138-1:2017 ที่ได้ระบุคำแนะนำการเลือกและใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการฆ่า

เชื้อด้วย เอทิลีนออกไซด์ ความร้อนแห้ง ความร้อนชื้น และ ฟอร์มาลดีไฮด์ (International Organization for Standardization, 2018) อย่างไรก็ตาม พบว่าระบบฆ่าเชื้อที่มีความใกล้เคียงกันคือระบบฆ่าเชื้อด้วยไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก็ยังไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดเกี่ยวกับวิธีการใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพฆ่าเชื้อ แต่ได้มีคำแนะนำจากองค์การอาหารและยา ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ได้ระบุให้ใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเครื่องมือแพทย์ด้วยระบบฆ่าเชื้อไอโฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยให้เลือกใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพบรรจุเชื้อสารพันธุ์ *G. stearothermophilus* (U.S. Food and Drug Administration, 2007) นอกจากนี้มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ได้นำตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับมาใช้ในการศึกษากระบวนการทดสอบประสิทธิภาพฆ่าเชื้อด้วยระบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Kümin, et al., 2021, Vanhecke, et al., 2012) และงานวิจัยที่สนับสนุนว่า *G. stearothermophilus* เป็นเชื้อที่ดื้อต่อการฆ่าเชื้อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากที่สุด (Castro, et al., 2011) ในการศึกษาครั้งนี้ “ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์” ได้ใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เชื้อ *G. stearothermophilus* สายพันธุ์ ATCC 7953 จำนวน 2.30×10^6 มาทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ซึ่งพบว่า ตัวบ่งชี้ชีวภาพชนิดที่บรรจุในกระดาษกลาสซีน สามารถนำมาใช้ในกระบวนการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้

ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การข้อมูลผลการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ด้วยระยะเวลาการพ่น 30 นาที ที่ใช้สาร 5% H_2O_2 + 0.005%Ag พ่นในรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่งจำนวนรวม 3 คัน พบว่าสามารถฆ่าเชื้อสปอร์ได้ทุกตำแหน่งในรถ และการใช้ระยะเวลาการพ่น 30 นาทีด้วยการใช้ 7% H_2O_2 ในรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่งจำนวนรวม 4 คัน พบว่าสามารถฆ่าเชื้อสปอร์ได้ทุกตำแหน่งในรถเช่นเดียวกัน จากผลทดสอบจากตัวบ่งชี้ชีวภาพแสดงประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้ 6-log reduction ซึ่งเทียบเท่าระดับการทำให้ปราศจากเชื้อ การทดสอบยืนยันซ้ำในรถทัวร์อย่างน้อย 3 คันและให้ผลประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อเหมือนกัน แสดงถึงความน่าเชื่อถือ (reliability) ของระบบการฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งกระบวนการทดสอบการฆ่าเชื้อโดยทั่วไปจะต้องทำอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อยืนยันประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อ (World Health Organization, 2016)

การพัฒนาระระบบการฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถทัวร์ขนาด พบว่ารอบระยะเวลาการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่ง ที่มีขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 6.7x2x1.9 เมตร พื้นที่ภายในความจุ 25.46 m^3 คือระยะเวลาการพ่นฆ่าเชื้อ 30 นาที และมีระยะเวลาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 67 นาที (95% CI; 47-86 นาที)

ดังนั้นรอบการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมทั้งหมดจึงเท่ากับ 97 นาที (95% CI; 77-116 นาที) การกำหนดรอบการฆ่าเชื้อด้วยใช้ระยะเวลาทั้งหมด 116 นาทีซึ่งเป็นค่าสูงสุดในรอบการฆ่าเชื้อ แสดงถึงการฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย เนื่องจากปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่หลงเหลืออยู่มีค่าต่ำกว่า 1 ppm ซึ่งเป็นระดับที่มีความปลอดภัยต่อผู้โดยสาร รถทัวร์สามารถให้บริการผู้โดยสารต่อไปได้

ผลการทดลองจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า การใช้ระยะเวลาการพ่นฆ่าเชื้อ 30 นาที ในรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่ง ระหว่าง 5% H_2O_2 + 0.005%Ag และ 7% H_2O_2 ให้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้ดีเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาเรื่องต้นทุนของสารฆ่าเชื้อพบว่า ต้นทุน 5% H_2O_2 + 0.005%Ag มีราคาสูงกว่าต้นทุนของ 7% H_2O_2 มาก ซึ่งต้นทุน 5% H_2O_2 + 0.005%Ag ต่อการพ่นฆ่าเชื้อ 30 นาทีจะเท่ากับประมาณ 150-190 บาทในขณะที่ 7% H_2O_2 จะมีต้นทุนต่อการพ่นฆ่าเชื้อ 30 นาทีเท่ากับประมาณ 7 บาท ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะ

ผลการทดสอบการปนเปื้อนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียและการปนเปื้อนยีสต์และราบนพื้นผิว พบว่า การพ่นฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถลดจำนวนเชื้อได้ทั้งแบคทีเรียและรา โดยการพ่นฆ่าเชื้อสามารถลดจำนวนเชื้อแอโรบิคแบคทีเรียบนพื้นผิวได้เฉลี่ยร้อยละ 68.66 และสามารถลดจำนวนยีสต์และราได้เฉลี่ยร้อยละ 53.84 โดยตำแหน่งที่พบการปนเปื้อนเชื้อทั้งแอโรบิคแบคทีเรียและรา คือแผ่นกรองแอร์ ด้วยสภาพของแผ่นกรองแอร์มีลักษณะของฝุ่นที่จับอยู่ที่แผ่นจำนวนมาก ทำให้พบปริมาณการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียและรามากกว่าพื้นผิวอื่น ดังนั้นการทำความสะอาดด้วยการกำจัดสิ่งสกปรกออกไปเป็นสิ่งจำเป็น การเลือกระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปใช้งานฆ่าเชื้อ จึงเป็นการใช้เสริมจากวิธีการทำความสะอาดด้วยวิธีดั้งเดิมคือวิธีการเช็ดถูจะไม่สามารถนำไปใช้เพื่อทดแทนการทำความสะอาดได้

สำหรับรถทัวร์ขนาด 45 ที่นั่ง ผลการทดสอบประสิทธิภาพฆ่าเชื้อในการศึกษานี้พบว่า ไม่สามารถฆ่าเชื้อสปอร์ได้ทุกตำแหน่ง ผลการทดลองพ่นในรถทัวร์คันที่ 20 พบว่า ตัวบ่งชี้ทางเคมีที่บริเวณด้านหน้ารถให้ผลเป็นลบแสดงถึงการกระจายตัวของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กระจายตัวมาไม่ถึงบริเวณนี้ การใช้งานละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงควรมีการทดสอบยืนยันประสิทธิภาพก่อนการใช้งานครั้งแรก หากพื้นที่มีขนาดใหญ่อาจจำเป็นต้องใช้พัดลมเพื่อช่วยในการกระจายตัวของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ทั่วถึงมากขึ้น หรือการพัฒนาเครื่องพ่นละอองให้สามารถเคลื่อนที่ได้เองในขณะพ่นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการกระจายตัวของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ดีขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 สรุปและอภิปรายผลการวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

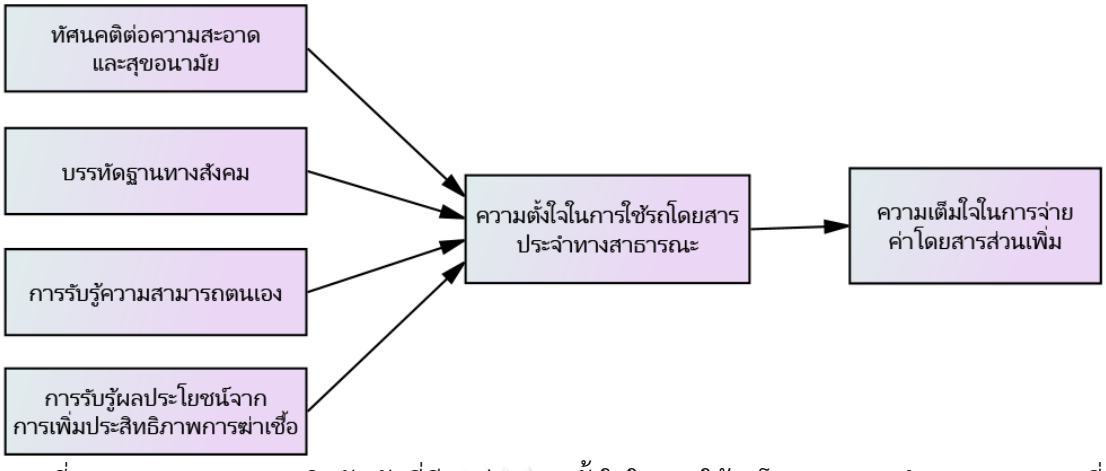
5.3.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเชิงปริมาณ การศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ โดยครอบคลุมปัจจัยทีศึกษา ได้แก่ ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย ทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย บรรทัดฐานทางสังคม การรับรู้ความสามารถตนเอง การรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ในกลุ่มประชาชนไทยที่อายุ 18 ปีขึ้นไป โดยมีผู้ตอบแบบสอบถาม 406 ราย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด ได้แก่ ปัจจัยด้านทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย บรรทัดฐานทางสังคม การรับรู้ความสามารถตนเอง การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ส่วนปัจจัยด้าน ความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย และปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ ไม่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษายังพบว่า ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด มีผลต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ



ภาพที่ 5.2 กรอบแนวความคิดปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

5.3.2 อภิปรายผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ สามารถอภิปรายผล แยกเป็นกลุ่มปัจจัยได้ดังนี้

5.3.2.1 ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการศึกษานี้พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัยอยู่ในระดับดีมากถึงร้อยละ 96.6 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษา นุชจรีย์ พุกกะมานและอรรถพล ศรีประดิษฐ์ ที่พบว่าพนักงานองค์กรภาครัฐและเอกชนในประเทศไทย มีความรู้ ความเข้าใจในเรื่อง สุขอนามัย ความสะอาด การป้องกันตนเอง ต่อโรคโควิด-19 อยู่ในระดับดีมาก (Pookkaman and Sripradit, 2020) อาจเนื่องมาจากในสถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 มีการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่างๆ เกี่ยวกับความรู้โรคโควิด-19 รวมถึงการป้องกันดูแลตนเอง การรักษาความสะอาด การฆ่าเชื้อ และมาตรการการปฏิบัติตัว ตามคำแนะนำของรัฐบาลในการหลีกเลี่ยงความเสี่ยงต่อการติดโรคโควิด-19 จึงทำให้ประชาชนมีความรู้เกี่ยวกับความสะอาดสุขอนามัยอยู่ในระดับดี

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัยต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด พบว่า ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย ไม่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด เหตุผลอาจเนื่องมาจาก กลุ่มคนที่ทำการศึกษาถึงแม้จะมีความรู้ในระดับดี แต่ไม่อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมหรือความตั้งใจได้ โดยอาจมีปัจจัยอื่นที่มีความสำคัญมากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาในบุคคลากรที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พบว่าบุคลากรส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด-19 ที่ดี แต่ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด-19นั้นไม่มีผลต่อพฤติกรรมการพฤติกรรมการป้องกันตนเอง อาจเนื่องจากปัจจัยด้านความกลัวความเสี่ยงต่อการติดโรคโควิด-19 มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมในการป้องกันตนเองมากกว่าความรู้เกี่ยวกับการป้องกันการติดโรคโควิด-19 เพียงอย่างเดียว (Siramaneerat, 2021)

5.3.2.2 ปัจจัยด้านทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย

ในการศึกษานี้พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัยในระดับมากถึงมากที่สุดถึงร้อยละ 99.3 อาจเนื่องจากในระยะการเก็บข้อมูลเป็นช่วงที่มีการระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามมีความกังวลเกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัยของการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าผู้โดยสารมีความกังวลต่อความสะอาดของรถโดยสารสาธารณะในช่วงระบาดโควิดถึงร้อยละ 58 ซึ่งเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับความกังวลต่อความสะอาดก่อนที่มีการระบาดโรคโควิด-19 เพียงร้อยละ 5 เท่านั้น (Beck and Hensher, 2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัยต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด พบว่า ทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัยมีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด โดยการศึกษาหลายชิ้นที่สนับสนุนว่าความสะอาดมีผลต่อคุณภาพการบริการและความพึงพอใจของผู้โดยสาร การที่รถโดยสารสาธารณะมีความสะอาดจะทำให้ผู้โดยสารมีความต้องการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะมากขึ้น (Grujičić, et al., 2014, Lai and Chen, 2011) แต่อย่างไรพบว่า ในช่วงก่อนเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 แม้ว่าปัจจัยด้านความสะอาดจะเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อพฤติกรรมของผู้ใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะ แต่ปัจจัยด้านความสะอาดยังไม่ใช่ปัจจัยที่สำคัญที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยอื่น เช่น ปัจจัยด้านความปลอดภัยของรถโดยสารเป็นต้น แต่ในช่วงการระบาดของโรคโควิด-19 พบว่าผู้โดยสารให้ความสำคัญกับความสะอาดและสุขอนามัยมากขึ้นกว่าเดิม เช่นเดียวกับการศึกษาที่พบว่า

นักท่องเที่ยวที่ให้ความสำคัญกับเรื่องความสะอาดต่อโรงแรมเวลาที่เลือกใช้บริการห้องพัก (Yu, et al., 2021) รถโดยสารประจำทางสาธารณะได้รับผลกระทบอย่างมากจากการระบาดของโควิด-19 ความต้องการในการใช้บริการลดลงอย่างมากทั่วโลกถึงร้อยละ 40-90 เนื่องจากผู้โดยสารมีความกลัวต่อการติดเชื้อและการที่มีคำแนะนำในแต่ละประเทศให้หลีกเลี่ยงการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะ (Bucsky, 2020, de Haas, et al., 2020) ผลกระทบจากความต้องการใช้บริการรถโดยสารสาธารณะที่ลดลงส่งผลให้ผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะประสบปัญหาทางการเงินอย่างมาก (Kaske, 2020, Mehmet, 2020) และมีการศึกษาที่คาดการณ์ว่าหลังการระบาดของโรคโควิด-19 สิ้นสุดลง ผู้โดยสารบางส่วนที่หยุดใช้บริการรถโดยสารสาธารณะไปในระหว่างการระบาดของโรค จะไม่กลับมาใช้บริการรถโดยสารสาธารณะถาวร (Kopsidas, et al., 2021) ดังนั้นการที่ผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะควรให้ความสำคัญการเรื่องความสะอาดของรถโดยสารสาธารณะ ควรมีการนำเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อมาใช้ในรถโดยสารสาธารณะ ซึ่งจะทำให้ผู้โดยสารมีความมั่นใจ ลดความกังวลต่อความกลัวติดเชื้อโรค และทำให้ผู้โดยสารกลับมาใช้บริการในช่วงหลังการระบาดของโรคโควิด-19 เช่นเดียวกับการศึกษาที่พบว่า การนำเทคโนโลยีในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ เช่นหุ่นยนต์ทำความสะอาด เครื่องพ่นฆ่าเชื้อ มาใช้บริการในโรงแรม สามารถทำให้ลูกค้าที่มาใช้บริการลดความกังวลต่อความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด-19 และสามารถดึงดูดลูกค้ามาใช้บริการโรงแรมได้ (Shin and Kang, 2020)

5.3.2.3 ปัจจัยด้านบรรทัดฐานทางสังคม

ปัจจัยด้านบรรทัดฐานทางสังคม เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลกำหนดพฤติกรรม ตามทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน ที่พบว่าหากบุคคลที่มีความสำคัญต่อเขา ได้ทำพฤติกรรมนั้นหรือต้องการให้เขาทำพฤติกรรมนั้น ก็จะมีแนวโน้มที่เขาจะปฏิบัติตามโดยการทำพฤติกรรมนั้นด้วย ในการศึกษานี้พบว่าบุคคลในครอบครัวหรือเพื่อนซึ่งเป็นกลุ่มอ้างอิงด้านบรรทัดฐานทางสังคม มีผลต่อ ตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด

การที่เพื่อนหรือบุคคลในครอบครัว มีความต้องการในการใช้รถโดยสารสาธารณะที่สะอาด อาจเนื่องจากมีความเชื่อว่าการใช้รถโดยสารสาธารณะที่สะอาดมีความปลอดภัยในด้านการลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโควิด-19 ในระหว่างการระบาด ทำให้มีผลต่อบุคคลให้ทำพฤติกรรมเช่นเดียวกัน ความต้องการให้เกิดพฤติกรรมในการป้องกันตนเองสามารถทำได้โดยใช้วิธีการสื่อสารจากบนลงล่าง (top-down communication) เช่น คำสั่งจากรัฐบาลออกมาตรการในการป้องกันตนเอง หรือจากข่าวสาร สื่อมวลชน ผู้นำทางความคิด แต่บางครั้งการสื่อสารแบบนี้บางครั้งไม่ได้มีประสิทธิภาพ เนื่องจากผู้ที่สื่อสารไม่ได้เป็นคนที่บุคคลให้ความเชื่อถือ จึงทำให้การสื่อสารเพื่อให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการป้องกันตนเองไม่ได้ผล ต่างจาก การสื่อสารในแนวนอน (horizontal communication) ผ่านความสัมพันธ์ส่วนตัวหรือเครือข่ายทางสังคม โดยเฉพาะคนในครอบครัวหรือเพื่อน ที่บุคคลให้ความเชื่อถือ การสื่อสารแบบนี้มีประสิทธิภาพต่อพฤติกรรม สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า บรรทัดฐานทางสังคมมีผลต่อพฤติกรรมของการป้องกันตนเองต่อโรคโควิด-19 (Goldberg, et al., 2020)

5.3.2.4 ปัจจัยด้านการรับรู้ความสามารถตนเอง

ปัจจัยด้านการรับรู้ความสามารถตนเอง เป็นปัจจัยที่มีผลในการกำหนดพฤติกรรม ตามทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน ที่พบว่าถ้ามนุษย์เชื่อว่าสามารถจะกระทำพฤติกรรมในสภาพที่สามารถควบคุมให้เกิดผลที่ตั้งใจไว้ได้ เขาก็มีแนวโน้มที่จะกระทำพฤติกรรมนั้นด้วย ในการศึกษานี้พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการรับรู้ความสามารถตนเองในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดร้อยละ 54.9 เนื่องจากผู้ตอบแบบสอบถามบางส่วนไม่แน่ใจว่าจะสามารถใช้บริการรถโดยสารสาธารณะที่สะอาดได้อย่างไร จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยพบว่า การรับรู้ความสามารถตนเอง มีผลต่อตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่า ปัจจัยด้านการรับรู้ความสามารถตนเองว่าจะสามารถทำพฤติกรรมนั้นได้ ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมในการป้องกันตนเองจากโรคโควิด-19 (Aschwanden, et al., 2021) การที่นักท่องเที่ยวเชื่อว่าจะสามารถเลือกพักโรงแรมที่ปลอดภัยต่อโรคโควิด-19ได้ ก็จะมีความตั้งใจในการเข้าพักโรงแรมนั้นมากกว่า (Han, et al., 2020)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3.2.5 ปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ

ในการศึกษานี้พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะในระดับมากถึงมากที่สุดร้อยละ 74.9 โดยความเสี่ยงในการศึกษานี้ได้ศึกษาปัจจัยด้านความเสี่ยงในด้านผลกระทบต่อสุขภาพจากการใช้รถโดยสารสาธารณะ โดยผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการรับรู้ความเสี่ยงระดับมาก อาจเนื่องจากการเก็บข้อมูลการศึกษาอยู่ในระหว่างมีการระบาดของโรคโควิด-19

มีการศึกษาที่สนับสนุนปัจจัยด้านความเสี่ยงมีผลต่อการใช้รถโดยสารสาธารณะ แต่ปัจจัยด้านความเสี่ยงส่วนใหญ่ศึกษาในด้านของความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้รถโดยสารสาธารณะ ถ้าบุคคลเชื่อว่าการใช้รถโดยสารสาธารณะมีโอกาสเสี่ยงต่ออุบัติเหตุมาก ก็จะมีพฤติกรรม

ในการหลีกเลี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะนั้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบว่าปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงการใช้รถโดยสารสาธารณะ ไม่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด อาจเนื่องจาก ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ร้อยละ 73.6 มีรายได้น้อยกว่า 30,000 บาทต่อเดือน ซึ่งการศึกษาพบว่ากลุ่มคนผู้มีรายได้น้อยจำเป็นต้องพึ่งระบบรถโดยสารสาธารณะมากกว่า อาจเนื่องจากลักษณะงานที่ไม่สามารถทำงานจากบ้านได้แม้ในช่วงที่มีการระบาดของโควิด-19 หรือการที่ไม่มีทางเลือกอื่น เช่นรถยนต์ส่วนตัว จึงจำเป็นที่ต้องเดินทางด้วยรถโดยสารสาธารณะ (Przybylowski, et al., 2021)

5.3.2.6 ปัจจัยด้านการรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

ในการศึกษานี้พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในระดับมากถึงมากที่สุดร้อยละ 96.8 โดยปัจจัยการรับรู้ผลประโยชน์เป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีตามทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี โดยบุคคลหากเชื่อว่าเทคโนโลยีนั้นมีประโยชน์ต่อการทำงานของตนเองก็จะมีแนวโน้มในการยอมรับเทคโนโลยีนั้น ในการศึกษานี้ยังพบว่า ปัจจัยด้านการรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อมีผลต่อต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด

การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อมีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด แสดงถึงผู้โดยสารมีความเชื่อว่าหากรถโดยสารสาธารณะมีการใช้การเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ซึ่งในการศึกษานี้ได้อธิบายนิยามของการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในแบบสอบถาม ว่าคือการใช้วิธีการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อฆ่าเชื้อภายในรถโดยสารสารประจำทางสาธารณะ ซึ่งจะทำให้ผู้โดยสารมีความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการฆ่าเชื้อห้องพักโรงแรมว่าลูกค้าโรงแรมให้ความสำคัญกับการฆ่าเชื้อในห้องพักก่อนที่จะเข้าพักมากที่สุด ซึ่งจะทำให้ลูกค้าโรงแรมรับรู้ถึงความปลอดภัยมากขึ้น (Atadil and Lu, 2021)

5.3.2.7 ปัจจัยด้านความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด มีผลต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม

ในการศึกษานี้พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดในระดับมากถึงมากที่สุดร้อยละ 68.2 และมีความตั้งใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วน

เพิ่มระดับมากถึงมากที่สุดร้อยละ 67.2 การศึกษานี้พบว่า ปัจจัยด้านความตั้งใจในการใช้รถโดยสารสาธารณะที่สะอาด มีผลต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม โดยมีราคาค่าโดยสารส่วนเพิ่มเฉลี่ย 64.69 บาทจากราคาค่าโดยสาร 270 บาทคิดเป็นความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.96 จากราคาค่าโดยสารปกติ

ผลการศึกษานี้พบว่าสอดคล้องกับการศึกษาที่มีการใช้เทคโนโลยีในการฆ่าเชื้อในโรงแรม ที่มีศึกษาการนำเทคโนโลยีการฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีและการฆ่าเชื้อด้วยโอโซนมาฆ่าเชื้อในห้องพัก และพบว่าการรับรู้ประโยชน์จากการนำเทคโนโลยีฆ่าเชื้อมาใช้ฆ่าเชื้อในห้องพัก ส่งผลต่อความเต็มใจในการจ่ายค่าห้องพักโรงแรมในราคาสูงขึ้น (Zemke, et al., 2015)

5.4 ข้อเสนอแนะ

ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นระบบฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพสูง มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานเนื่องจากไม่ต้องอาศัยคนควบคุมขณะทำการฆ่าเชื้อ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีการใช้งานที่ง่าย ต้นทุนของระบบฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่สูง การบำรุงรักษาง่าย จากผลการวิจัยนี้พบว่าสามารถนำไปใช้ฆ่าเชื้อในรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่งได้ โดยใช้ระยะเวลาการพ่น 30 นาที แต่หากต้องการนำไปใช้ในรถที่มีขนาดต่างกัน จำเป็นต้องมีการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อและพัฒนาหารอบการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมใหม่ เพื่อให้มั่นใจว่าระบบฆ่าเชื้อยังคงมีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อสูงอยู่ ในรถที่มีขนาดใหญ่อาจจำเป็นต้องใช้เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่า 1 เครื่องหรือจำเป็นต้องใช้ระบบพัดลมช่วยในการกระจายตัวของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ทั่วถึง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทำวิจัยนี้ด้วยการทดลองพ่นฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถทัวร์จำนวน 20 คัน ไม่พบปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของวัสดุภายในรถ ไม่พบปัญหาเรื่องเบาะสีซีด และไม่พบปัญหาการหลุดร่อนของสีทาภายในรถ อย่างไรก็ตาม การศึกษาในอนาคตควรทำการศึกษาในระยะยาว เพื่อติดตามปัญหาของการไม่เข้ากันระหว่างละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับวัสดุภายในของรถขนส่งสาธารณะ

การนำระบบฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปในในการฆ่าเชื้อรถขนส่งสาธารณะในทางปฏิบัติ อาจต้องขึ้นอยู่กับความพร้อมของผู้ประกอบการ ทั้งเรื่องเงินทุนและบุคคลากร ผลการศึกษานี้พบว่าระยะเวลาการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับรถทัวร์ขนาด 20 ที่นั่ง เท่ากับ 97 นาที ซึ่ง

หากรถทัวร์มีรอบพักในระหว่างวันเพื่อเดินทางรอบต่อไปน้อยกว่า 97 นาที ก็ไม่สามารถใช้ระบบฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นี้ได้ อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโดยเน้นไปที่การทดสอบประสิทธิการฆ่าเชื้อระดับสูงถึง 6-log reduction หรือเทียบเท่ากับประสิทธิภาพการทำลายสปอร์ที่ร้อยละ 99.9999 มีการศึกษาที่พบว่า การปนเปื้อนจุลินทรีย์ในสภาพแวดพื้นผิวที่มีการทำความสะอาดแล้วส่วนใหญ่มีการปนเปื้อนจำนวนเพียง 2-log เท่านั้น (Roberts, 2012) ซึ่งหากการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อสปอร์ในรถขนส่งสาธารณะทำการทดสอบที่ปริมาณการฆ่าเชื้อน้อยกว่า 6-log reduction เวลาที่ใช้ในการพ่นฆ่าเชื้อและเวลาที่ใช้สำหรับละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะน้อยกว่า ทำให้รอบระยะเวลาฆ่าเชื้อที่ใช้น้อยกว่า 97 นาที

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ ด้วยการสำรวจด้วยแบบสอบถาม พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นกลุ่มผู้หญิง อายุน้อย การศึกษาต่อไปควรเน้นให้กลุ่มตัวอย่างมีความหลากหลายมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6
แนวทางการพัฒนาในเชิงพาณิชย์

จากผลการศึกษาเรื่อง ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิการฆ่าเชื้อในระดับสูง มีจุดเด่นการใช้งานที่ง่าย สะดวก ต้นทุนในการใช้งานไม่สูง มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและความปลอดภัยต่อผู้โดยสารที่มาใช้บริการรถโดยสารสาธารณะที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยระบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ระบบฆ่าเชื้อละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงมีศักยภาพในการพัฒนาในเชิงพาณิชย์

6.1 การวางแผนธุรกิจ

6.1.1 การประเมินโครงสร้างอุตสาหกรรม

ข้อมูลของ Stratistics MRC คาดการณ์ว่าในปี 2563 มูลค่าตลาดของผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อพื้นผิวทั่วโลกมีมูลค่าสูงถึง 3.1 พันล้านเหรียญสหรัฐ และจะมีมูลค่าเติบโตถึง 4.62 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2571 โดยมีการเติบโตเฉลี่ยต่อปีเท่ากับร้อยละ 5.1 (Stratistics Market Research Consulting, 2021) โดยมีปัจจัยเร่งในการเติบโตจากการเกิดของโรคติดเชื้อในสถานพยาบาล (healthcare-associated infections) และการเกิดการระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้สินค้าในกลุ่มผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อพื้นผิวมีความต้องการสูง โดยพบว่าทวีปเอเชียมีแนวโน้มของการเติบโตสินค้าผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อพื้นผิวเป็นอย่างมากจากการรับรู้ถึงประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อพื้นผิวที่ช่วยในการป้องกันการแพร่กระจายโรค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตลาดของผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อพื้นผิวสามารถแบ่งตามลักษณะของสารฆ่าเชื้อสามารถแบ่งออกได้เป็น น้ำยาฆ่าเชื้อพื้นผิว (liquid disinfectant) แผ่นเช็ดฆ่าเชื้อพื้นผิว (wipe disinfectant) สเปรย์ฆ่าเชื้อพื้นผิว (spray disinfectant) และละอองฆ่าเชื้อพื้นผิว (aerosol disinfectant) โดยผลิตภัณฑ์กลุ่มน้ำยาฆ่าเชื้อพื้นผิวมีส่วนแบ่งตลาดมากที่สุดในปี 2562 และมีการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 6.62 โดยการใช้งานส่วนใหญ่เป็นการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในสถานพยาบาลเป็นประจำ และมีการนำไปใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในห้องน้ำและบ้านเรือน (Verified Market Research, 2021)

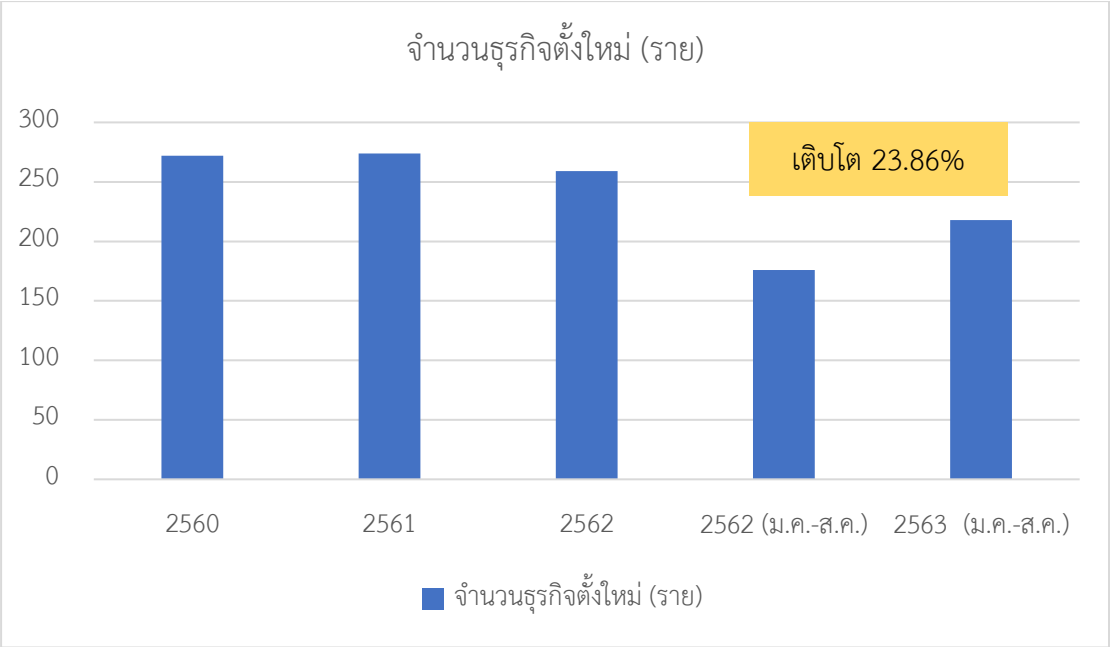
ผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อพื้นผิวสามารถแบ่งออกตามชนิดกลุ่มของสารฆ่าเชื้อ ได้ออกเป็นกลุ่มสารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียม, คลอเฮกซิดีนกลูโคเนต (chlorhexidine gluconate), ฟีนอล

, แอลกอฮอล์, อัลดีไฮด์ และสารฆ่าเชื้ออื่น โดยแอลกอฮอล์มีส่วนแบ่งตลาดมากที่สุดโดยมีการเติบโตเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 7.81 ซึ่งผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อพื้นผิวสามารถแบ่งออกตามผู้ใช้จะพบว่ากลุ่มของสถานพยาบาลจะมีส่วนแบ่งตลาดมากที่สุด และมีการเติบโตเฉลี่ยต่อปีร้อยละ 9.57 และหากวิเคราะห์ตลาดตามภูมิภาคการใช้งาน พบว่าตลาดในกลุ่มทวีปเอเชียจะมีส่วนแบ่งตลาดมากที่สุด

ข้อมูลจาก Grand View Research คาดการณ์มูลค่าตลาดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีมูลค่า 1.44 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี 2563 และคาดการณ์ว่าจะมีการเติบโตเฉลี่ยต่อปีเท่ากับร้อยละ 5.7 (Grand View Research, 2021) โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีการใช้งานในหลายอุตสาหกรรม โดยอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานมากที่สุดได้แก่อุตสาหกรรมฟอกเยื่อกระดาษและรองลงมาคือกลุ่มของสารฆ่าเชื้อพื้นผิว นอกจากนี้ยังมีการใช้งานไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียและมลพิษสิ่งแวดล้อม

สำหรับอุตสาหกรรมตลาดธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในประเทศไทย ได้มีการเติบโตอย่างมาก เนื่องจากสถานการณ์การระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้เกิดความตระหนักและทัศนคติเกี่ยวกับเรื่องความสะอาดของสถานที่ต่างๆ รวมถึง ห้างสรรพสินค้า อาคาร สำนักงาน โรงเรียน โรงพยาบาล รถประจำทางสาธารณะ โดยข้อมูลจากกองข้อมูลธุรกิจ กรมพัฒนาธุรกิจการค้า กระทรวงพาณิชย์ พบว่าในปี 2561 กลุ่มธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมีรายได้สูงถึง 44,682 ล้านบาท โดยมีการเติบโตของรายได้สูงถึงร้อยละ 22.74 ซึ่งผู้ประกอบการส่วนใหญ่เป็นนิติบุคคลขนาดเล็กร้อยละ 48 และ นิติบุคคลขนาดกลางร้อยละ 36.3 ตลาดในกลุ่มนี้จึงเป็นของผู้ประกอบการรายใหม่ที่สามารถเข้ามาในตลาดได้ง่าย สอดคล้องกับข้อมูลที่พบว่าในปี 2563 มีการจัดตั้งธุรกิจกลุ่มทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในประเทศไทยเพิ่มขึ้นร้อยละ 23.86 (ภาพที่ 6.1) มีทุนจดทะเบียนรวมกัน 278 ล้านบาทเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.53 เมื่อเทียบกับปี 2019

การเติบโตของการขออนุญาตก่อสร้างอาคารโรงเรือนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี โดยเฉลี่ย 60 ล้านตารางเมตร เป็นอาคารสาธารณะ 24 ล้านตารางเมตร ในปัจจุบันอัตราค่าฉีดน้ำยาฆ่าเชื้ออยู่ระหว่าง 15-20 บาทต่อตารางเมตร



ภาพที่ 6.1 จำนวนธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อตั้งใหม่ (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2020)

ข้อมูลทางการเงินของธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในประเทศไทย มีรายได้เติบโตต่อเนื่องในช่วงปี 2559-2561 โดยเฉพาะในปี 2561 ธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมีมูลค่าสูงถึง 44,682 ล้านบาท โดยธุรกิจประเภทนี้ส่วนใหญ่เป็นธุรกิจขนาดเล็ก มีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 99.25 ครองสัดส่วนรายได้ร้อยละ 48 ของรายได้ทั้งหมด ในขณะที่ธุรกิจขนาดกลางมีสัดส่วนรายได้ร้อยละ 36.30 และธุรกิจขนาดใหญ่มีสัดส่วนรายได้ร้อยละ 16.46 โดยในปี 2561 ธุรกิจกลุ่มนี้มีอัตราการเติบโตของผลกำไรสูงถึงร้อยละ 52 (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2020) โดยหากวิเคราะห์แยกตามกลุ่มธุรกิจจะพบว่าถึงแม้ธุรกิจขนาดใหญ่จะมีจำนวนน้อยแต่สามารถทำผลกำไรได้สูงถึงร้อยละ 44.59 ของผลกำไรทั้งหมด รองลงมาคือกลุ่มธุรกิจขนาดเล็กที่ครองผลกำไรที่ร้อยละ 39.70 ของผลกำไรทั้งหมด และสุดท้ายคือกลุ่มธุรกิจขนาดกลางที่ครองสัดส่วนผลกำไรที่ร้อยละ 15.70 ของผลกำไรทั้งหมด

การคาดการณ์ของกรมพัฒนาธุรกิจการค้า ธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมีแนวโน้มการเติบโตที่ดีในอนาคต เนื่องจากสถานการณ์โควิด-19 ที่ยังไม่คลี่คลาย ความต้องการและการให้ความสำคัญกับเรื่องความสะอาดในการใช้บริการสถานที่ต่างๆ จุดขายที่สำคัญในธุรกิจนี้คือ การคำนึงถึงการพัฒนาของบุคลากรผู้ปฏิบัติงานในการทำความสะอาด การให้ความสำคัญกับการปฏิบัติงานอย่างถูกสุขลักษณะ การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อที่ได้มาตรฐานรับรอง การให้บริการที่เข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย จะทำให้ผู้ใช้บริการมีความไว้วางใจและใช้บริการต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.1 ผลประกอบการกลุ่มธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ

ปีที่ส่งงบการเงิน	2559	2560	2561
นิติบุคคลที่ส่งงบการเงิน (ราย)			
ขนาดเล็ก	1,979	1,996	2,118
ขนาดกลาง	10	8	14
ขนาดใหญ่	2	2	2
รวมทุกขนาด	1,991	2,006	2,134
รายได้รวม (ล้านบาท)			
ขนาดเล็ก	20,395.66	20,312.79	21,111.83
ขนาดกลาง	6,623.93	6,983.15	16,217.24
ขนาดใหญ่	8,816.15	9,106.10	7,352.49
รวมทุกขนาด	35,835.74	36,402.04	44,681.57
กำไร (ขาดทุน) สุทธิรวม (ล้านบาท)			
ขนาดเล็ก	1,423.60	1,190.89	1,230.02
ขนาดกลาง	99.36	126.79	486.52
ขนาดใหญ่	690.94	720.45	1,381.35
รวมทุกขนาด	2,213.90	2,038.13	3,097.89

ที่มา : กรมพัฒนาธุรกิจการค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.1.2 การวิเคราะห์สภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์สภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรมได้อ้างอิงกรอบการวิเคราะห์ของแรงกดดันทั้ง 5 ประการ (five forces framework) โดยเป็นการวิเคราะห์การแข่งขันของธุรกิจที่มีการพัฒนามาจากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์พื้นฐาน โดยเป็นทฤษฎีที่นำเสนอครั้งแรกโดย ไมเคิล อี พอร์ตเตอร์ (Michael E. Porter) ในปี 1979 (Porter, 1979) โดยการแข่งขันภายในอุตสาหกรรมจะขึ้นกับแรงกดดันทั้ง 5 ประการคือ ภัยคุกคามจากผู้เข้ามาใหม่ (threat of new entrants) อำนาจต่อรองของลูกค้า (bargaining power of customers) อำนาจต่อรองของผู้ขาย (bargaining power of suppliers) ภัยคุกคามจากสินค้าหรือบริการทดแทน (threat of substitute products or services) และ การแข่งขันจากคู่แข่งในอุตสาหกรรมเดียวกัน (industry rivalry)

1. ภัยคุกคามจากผู้แข่งขันรายใหม่

จากข้อมูลกรมพัฒนาธุรกิจการค้าที่พบว่าในปีระหว่าง 2562 ถึง 2563 มีธุรกิจเกี่ยวกับบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อรายใหม่เกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการเข้ามาในธุรกิจนี้ทำได้ง่าย เนื่องจากธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อใช้เทคโนโลยีและเงินลงทุนไม่สูง การบริการก่อนหน้าที่จะมีการระบาดของโควิด-19 ธุรกิจในส่วนนี้จะเป็นการให้บริการแม่บ้านทำความสะอาดเป็นส่วนใหญ่ แต่ในช่วงที่มีการระบาดของโควิด-19 ทำให้ผู้คนหันมาสนใจในเรื่องการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมากขึ้น ทำให้มีผู้ประกอบการขนาดเล็กที่มองเห็นโอกาสจึงเข้ามาในอุตสาหกรรมนี้จำนวนมาก

2. อำนาจต่อรองของลูกค้า

อำนาจต่อรองของลูกค้ามีผลต่อการแข่งขัน หากธุรกิจมีลูกค้าจำนวนน้อยรายและเป็นลูกค้ารายใหญ่ อำนาจต่อรองของลูกค้าจะมีสูง สำหรับธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อเป็นธุรกิจที่มีการเติบโตสูง มีลูกค้าที่ต้องการใช้บริการจำนวนมาก เนื่องจากในสถานการณ์ของการระบาดของโควิด-19 และอนาคตที่คนจะหันมาให้ความสำคัญกับเรื่องความสะอาดและฆ่าเชื้อมากขึ้น ทำให้อำนาจของลูกค้าต่อธุรกิจการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อต่ำ

3. อำนาจต่อรองของซัพพลายเออร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อำนาจต่อรองของซัพพลายเออร์มีผลต่อการแข่งขัน หากซัพพลายเออร์ผู้ผลิตวัตถุดิบหรือเครื่องจักรมีจำนวนน้อยรายกว่าความต้องการของตลาด จะทำให้วัตถุดิบหรือเครื่องจักรนั้นเป็นที่ต้องการและมีราคาสูง อำนาจของซัพพลายเออร์ในกรณีนี้จะถือว่ามีอำนาจมาก แต่ถ้าหากในตลาดมีจำนวนซัพพลายเออร์มากกว่าความต้องการของตลาด จะทำให้อำนาจต่อรองของซัพพลายเออร์ต่ำ

ในการให้บริการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารฆ่าเชื้อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 7 ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นวัสดุที่มีจำหน่ายทั่วไป และน้ำยาที่ใช้พ่นวัตถุดิบหลักคือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งในประเทศไทยมีโรงงานที่สามารถผลิตได้เอง อำนาจต่อรองของซัพพลายเออร์ทั้งวัสดุที่ใช้ในการผลิตเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารฆ่าเชื้อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงต่ำ

4. ภัยคุกคามจากสินค้าทดแทน

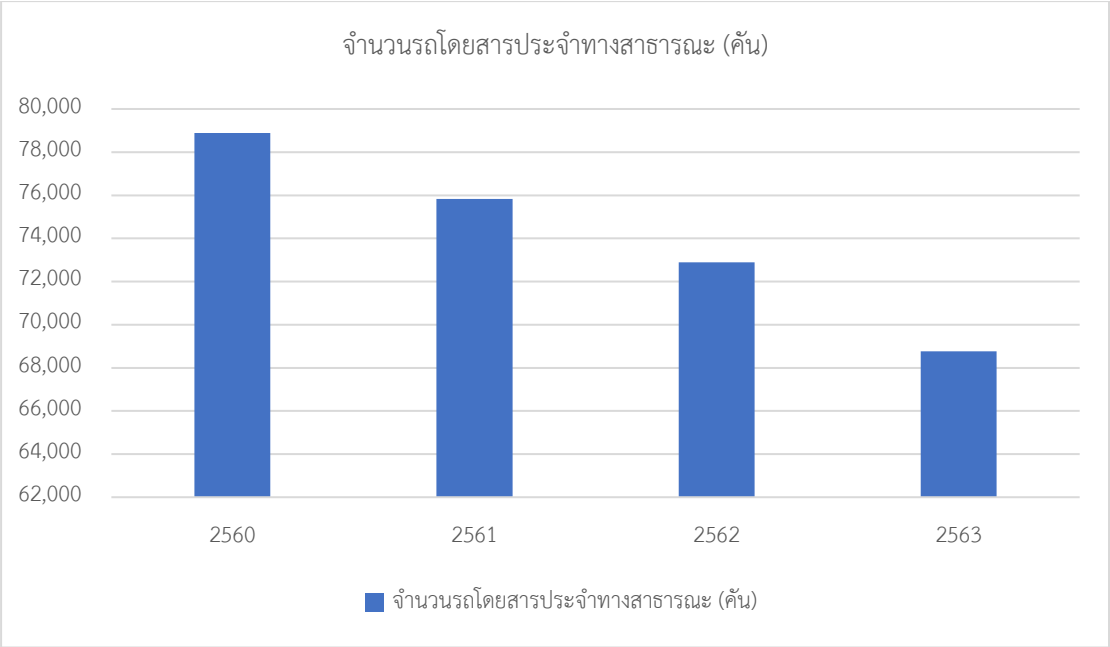
สินค้าทดแทนมีผลต่อการแข่งขัน หากลูกค้าสามารถหาสินค้าทดแทนได้ง่าย หรือสินค้าทดแทนนั้นมีต้นทุนที่ต่ำกว่า จะทำให้ลูกค้ามีโอกาสใช้สินค้าทดแทนมากกว่า ภัยคุกคามจากสินค้าทดแทนจะอยู่ในระดับที่สูง ส่วนธุรกิจการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อนั้นมีสารฆ่าเชื้อให้เลือกใช้ค่อนข้างหลากหลาย เช่นสารฆ่าเชื้อที่เป็นผลิตภัณฑ์น้ำยาฆ่าเชื้อที่สามารถหาซื้อได้ง่ายและลูกค้าสามารถนำไปใช้เช็ดถูบริเวณที่ต้องการฆ่าเชื้อทดแทนการใช้บริการพ่นฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือหากลูกค้าต้องการใช้การพ่นฆ่าเชื้อยังสามารถใช้สินค้าทดแทนได้ในรูปแบบสเปรย์พ่นฆ่าเชื้อทดแทนการพ่นแบบละออง จึงทำให้ภัยคุกคามสินค้าทดแทนอยู่ในระดับสูง อย่างไรก็ตาม การที่มีผลวิจัยยืนยันการพ่นฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพที่สูงและมีความปลอดภัย จะทำให้สินค้าที่มีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในระดับเดียวกันมีไม่มาก

5. การแข่งขันกันภายในอุตสาหกรรมเดียวกัน

ในอุตสาหกรรมการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมีจำนวนธุรกิจในอุตสาหกรรมนี้จำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่เป็นธุรกิจขนาดเล็ก รองลงมาคือธุรกิจขนาดกลาง และมีธุรกิจขนาดใหญ่น้อยราย ธุรกิจขนาดเล็กมีสัดส่วนรายได้เป็นส่วนใหญ่ของตลาด การที่มีคู่แข่งจำนวนมากทำให้การแข่งขันรุนแรง แต่การที่คู่แข่งมีขนาดใกล้เคียงกัน ยังทำให้สามารถแข่งขันกันได้ การมุ่งพัฒนาสินค้าให้มีคุณภาพได้เปรียบคู่แข่งขัน เพื่อให้ลูกค้าเกิดการจดจำ และภักดีต่อแบรนด์ ช่วยลดความรุนแรงของการแข่งขันลงได้

6.1.3 การวิเคราะห์ลูกค้า

จากข้อมูลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่มสำหรับใช้บริการรถโดยสารสาธารณะที่ได้รับการฆ่าเชื้อด้วยระบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าผู้โดยสารส่วนใหญ่มีทัศนคติที่ให้ความสำคัญกับความสะอาดในระดับมาก และมีความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารเพิ่มขึ้น สำหรับการใช้บริการรถทัวร์ระหว่างจังหวัด โดยยินดีจ่ายค่าโดยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 24 จากราคาค่าโดยสารปกติ ซึ่งหากทางผู้ประกอบการรถทัวร์ระหว่างจังหวัดนำระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไปใช้ ก็จะสามารถทำให้มีรายได้มากขึ้นจากค่าโดยสารที่เพิ่มขึ้น

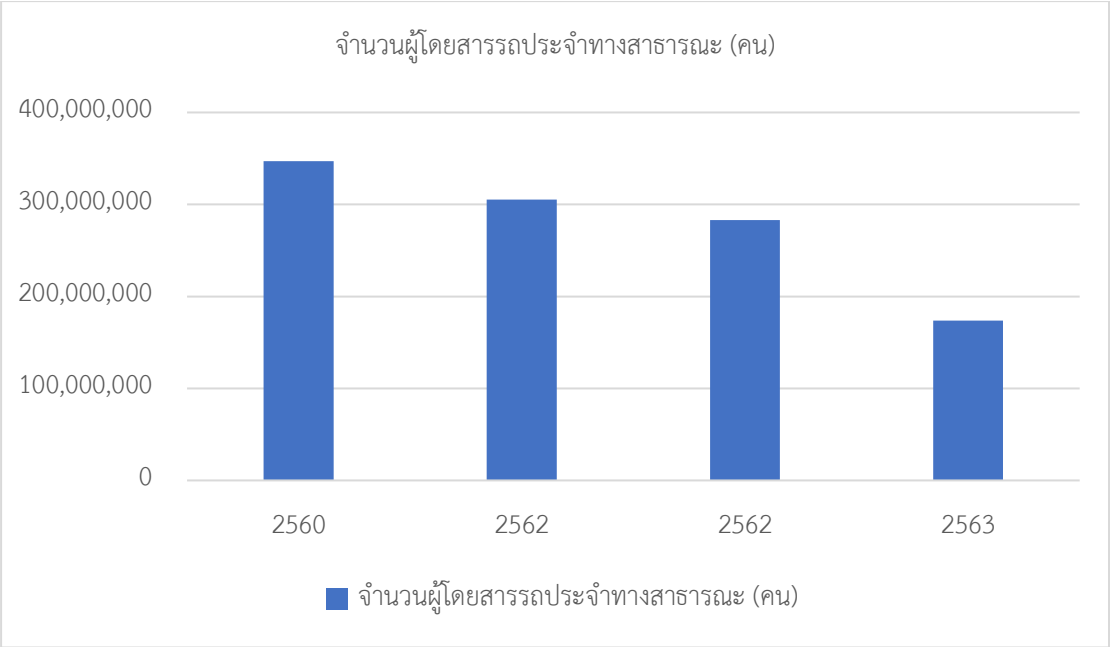


ภาพที่ 6.2 จำนวนรถโดยสารประจำทางสาธารณะ ปี 2560-2563 (กรมการขนส่งทางบก, 2563)

จากภาพที่ 6.2 แสดงจำนวนรถโดยสารประจำทางสาธารณะ ที่ให้บริการแบบถูกกฎหมายว่าด้วยการขนส่งทางบกตั้งแต่ปี 2560-2563 พบว่ามีแนวโน้มลดลงในแต่ละปี โดยเนื่องจากพฤติกรรมการใช้บริการของผู้โดยสารที่บางส่วนหันไปใช้บริการรถยนต์ส่วนตัวและเครื่องบินต้นทุน อย่างไรก็ตามพบว่าในปี 2563 จำนวนรถโดยสารประจำทางสาธารณะมีการลดลงอย่างมาก โดยมีการลดลงจากปี 2562 คิดเป็นร้อยละ 5.66 เนื่องจากสถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 และมาตรการของภาครัฐพระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉิน พ.ศ.2548 (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 2 เมษายน 2563 ห้ามบุคคลใดทั่วราชอาณาจักรออกนอกเคหสถานระหว่างเวลา 22.00 นาฬิกา ถึง 04.00 นาฬิกา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การให้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ลดลง เนื่องจากความต้องการในการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ลดลง โดยในปี 2560 มีผู้โดยสารใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะจำนวน 347 ล้านคน ลดเหลือจำนวน 173 ล้านคนในปี 2563 เนื่องจากเหตุผลด้านความนิยมที่ลดลงและปัญหาโรคระบาดโควิด-19 ที่เกิดขึ้นในปี 2563 ตามภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 จำนวนผู้โดยสารที่ใช้บริการรถประจำทางสาธารณะ ปี 2560-2563

แม้ว่าจำนวนของรถประจำทางสาธารณะและจำนวนของผู้โดยสารที่มาใช้บริการลดลง แต่ความต้องการในการใช้บริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อมีสูงขึ้น เนื่องจากในสถานการณ์โรคระบาดโควิด-19 และทัศนคติของผู้โดยสารที่ให้ความสำคัญกับความสะอาดและฆ่าเชื้อ ดังนั้นกลุ่มลูกค้าหลักจึงเป็นกลุ่มผู้ประกอบการรถประจำทางสาธารณะ ในปัจจุบันกลุ่มลูกค้ากลุ่มนี้อาจจะมีการหยุดให้บริการหรือลดการให้บริการลง แต่ในช่วงภาวะหลังการระบาดของโรคโควิด-19 สิ้นสุดลง การให้บริการรถโดยสารสาธารณะจะฟื้นกลับคืนมาเนื่องจากยังคงเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการเดินทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.1.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการศึกษานี้และวางแผนในการพัฒนาเชิงพาณิชย์คือ เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อระดับสูง และการใช้งานที่ง่าย

เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถผลิตได้เองในประเทศไทย ไม่ต้องขออนุญาตสำนักงานอาหารและยา ส่วนสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถผลิตได้เองในประเทศไทยเช่นเดียวกัน แต่ผลิตภัณฑ์นี้จัดอยู่ในกลุ่มของวัตถุอันตรายขนิดที่ 3 กฎหมายกำหนดให้ผู้ผลิต ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก หรือผู้มีไว้ในครอบครอง ต้องขอขึ้นทะเบียนวัตถุอันตราย และต้องได้รับ

อนุญาตให้ดำเนินการจากพนักงานเจ้าหน้าที่ก่อนจึงจะประกอบกิจการได้ โดยหน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแล ควบคุมผลิตภัณฑ์นี้คือ กลุ่มควบคุมวัตถุอันตราย สำนักงานอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข

เนื่องจากผลิตภัณฑ์สารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้กับเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะมีการอ้างอิงสรรพคุณในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รา และ ไวรัส ดังนั้นตามประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง วิธีการทดสอบและเกณฑ์ตัดสินผลการทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคบนพื้นแข็งไม่มีรูพรุนของผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อโรค กำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคสำหรับแบคทีเรีย ต้องผ่านการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด*คือ Salmonella enterica ATCC 10708* และ *Staphylococcus aureus ATCC 6538* และหากต้องการนำไปใช้สำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในสถานพยาบาล จะต้องทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียเพิ่มอีก 1 ชนิดคือ *Pseudomonas aeruginosa PRD 10 ATCC 15442*

จากข้อมูลการศึกษาประสิทธิภาพของระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยการทดสอบประสิทธิภาพด้วยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่บรรจุสปอร์ของ *G. stearothermophillus* สายพันธุ์ ATCC 7953 จำนวน $\geq 1x10^6$ โดยสปอร์ของ *G. stearothermophillus* จะทนต่อการฆ่าเชื้อมากกว่าแบคทีเรียชนิด *Salmonella enterica ATCC 10708*, *Staphylococcus aureus ATCC 6538* และ *Pseudomonas aeruginosa* ซึ่งเป็นแบคทีเรียเซลล์ปกติ (vegetative cells) ดังนั้นสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จึงมีคุณสมบัติที่ขออนุญาตวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 ได้

6.1.5 การวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และอุปสรรค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์สถานการณ์หรือ SWOT Analysis เป็นการวางแผนที่มีรูปแบบในการวิเคราะห์จุดแข็ง (Strengths) ,จุดอ่อน (Weaknesses) , โอกาส (Opportunities) และ ภัยคุกคาม (Threats) ซึ่งมีอยู่ในโครงการหรือธุรกิจ ดังนั้นการวิเคราะห์ SWOT analysis สามารถนำมาใช้ไม่ว่าเป็นสินค้า สถานที่ อุตสาหกรรมหรือบุคคลก็ได้ การวิเคราะห์ SWOT Analysis สามารถแบ่งปัจจัยต่างๆได้ออกเป็นปัจจัยด้านภายใน (Internal factors) กับ ปัจจัยภายนอก (External factors) ที่ส่งผลบวกและผลลบกับองค์กร

6.1.5.1 จุดแข็ง (Strengths)

ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีจุดเด่นที่มีผลการวิจัยยืนยันถึงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อได้จริง และความสะดวกในการใช้งานที่ง่าย เป็นระบบการตั้งเวลาการพ่นฆ่าเชื้ออัตโนมัติ ที่ไม่ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานในขณะที่พ่น ทำให้มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานซึ่งต่างจากการฉีดพ่นแบบสเปรย์หรือละอองที่ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติในการควบคุมเครื่องขณะฉีดพ่น

6.1.5.2 จุดอ่อน (Weaknesses)

ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นระบบฆ่าเชื้อที่เน้นที่ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อในระดับสูง ทำให้ต้องมีการยืนยันผลการทดสอบประสิทธิภาพในเรื่องของเวลาฆ่าเชื้อ กับขนาดของรถโดยสารสาธารณะก่อนการใช้งานจริง ซึ่งอ้างอิงจากผลการวิจัยที่ใช้รอบการฆ่าเชื้อเฉลี่ย 97 นาทีต่อรถทัวร์ขนาดความจุภายใน 25.46 m^3 การใช้รอบการฆ่าเชื้อที่นานกว่าการทำความสะอาดด้วยวิธีปกติด้วยการเช็ดถู จึงอาจทำให้เป็นอุปสรรคต่อการบริหารรอบการให้บริการของรถโดยสารสาธารณะ ที่บางครั้งมีเวลาจำกัดในการทำความสะอาด

อย่างไรก็ตาม การที่ผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะให้ความสำคัญในเรื่องประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อที่มีความปลอดภัยต่อผู้โดยสาร มากกว่าการเน้นรอบการบริการรถโดยสารมากที่สุด จะทำให้ผู้โดยสารมีความมั่นใจต่อคุณภาพการบริการและเกิดความไว้วางใจต่อแบรนด์ของผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ ซึ่งส่งผลดีต่อผลประกอบการธุรกิจในระยะยาว และทำให้ผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะมีความสามารถในการจัดหาจำนวนรถให้เหมาะสมเพื่อทำการพ่นฆ่าเชื้อก่อนให้บริการได้

6.1.5.3 โอกาส (Opportunities)

ปัจจุบันที่มีการระบาดของโรคโควิด-19 ทำให้เกิดความตระหนักและให้ความสำคัญกับเรื่องความสะอาดและการฆ่าเชื้อในระดับสูง ธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ทำให้เป็นโอกาสในการเข้าสู่ตลาด อีกทั้งธุรกิจบริการทำความสะอาดส่วนใหญ่เน้นไปที่ อาคาร บ้านเรือน ยังไม่มีผู้ใดที่เน้นตลาดของรถโดยสารสาธารณะโดยตรง

6.1.5.4 ภัยคุกคาม (Threats)

ในช่วงการระบาดโรคโควิด-19 มาตรการในการป้องกันการแพร่กระจายของโรคส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมรถโดยสารสาธารณะ เช่นการเว้นระยะห่างของที่นั่งผู้โดยสาร การจำกัดจำนวนผู้โดยสาร จนไปถึงการควบคุมการเดินทางของประชาชน มาตรการล็อคดาวน์ (lock down) เมืองทำให้รถโดยสารสาธารณะต้องหยุดให้บริการในบางเมือง ส่งผลกระทบต่อธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในรถโดยสารสาธารณะได้ อีกทั้งกระแสของตลาดที่ธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อเป็นที่นิยมเนื่องจากสถานการณ์ของโรคระบาดโควิด-19 หากเมื่อโรคระบาดสิ้นสุดลง อาจเป็นปัจจัยที่ทำให้ความต้องการของธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อลดลงได้

6.2 แผนธุรกิจ

6.2.1 แผนการจัดการ

6.2.1.1 ข้อมูลธุรกิจ

การพัฒนาเชิงพาณิชย์ด้วยการจัดตั้งนิติบุคคลในรูปแบบบริษัท ชื่อว่า บริษัท บี-คลาร์ จำกัด ที่ตั้ง 55/5 ถนนร่มเกล้า ลาดกระบัง กรุงเทพ ซึ่งเป็นผู้จำหน่ายสินค้าได้แก่เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อใช้ฆ่าเชื้อในรถขนส่ง

วิสัยทัศน์ (Vision)

เป็นผู้นำในการธุรกิจทำความสะอาดและฆ่าเชื้อพื้นผิวเพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรค

พันธกิจ (Mission)

1. มุ่งนำเสนอความสำคัญของการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายโรคติดต่อในชุมชน
2. พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ สามารถครอบคลุมการใช้งานที่หลากหลาย มีประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อได้จริงและวัดผลได้
3. พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยอาศัยงานวิจัยและนวัตกรรมใหม่

เป้าหมายระยะสั้น (ปี 2564-2566)

1. สร้างการรับรู้ในตราสินค้า บี-คลาร์ ให้เป็นที่รู้จักของกลุ่มเป้าหมายไม่ต่ำกว่า 10%

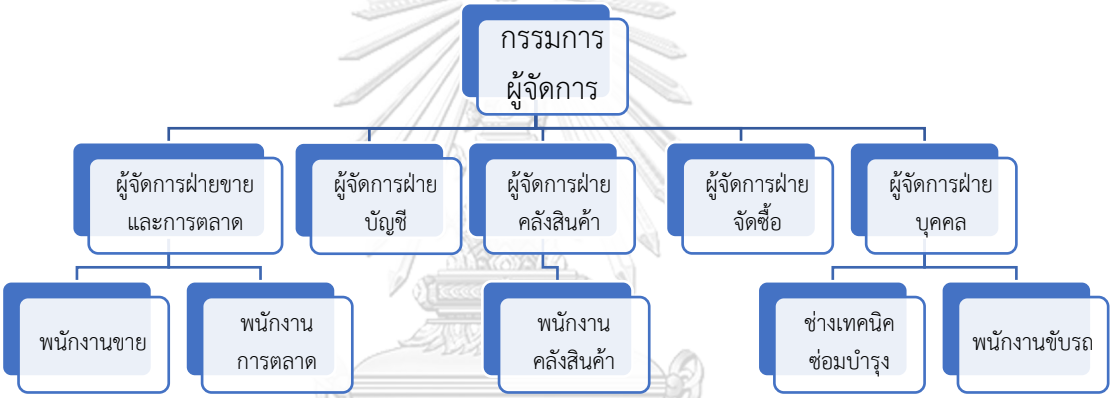
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. มีอัตราการเติบโตของรายได้มากกว่า 15% ต่อปี
3. สร้างผลตอบแทนให้แก่ผู้ถือหุ้นในอัตรา 10% ต่อปี

เป้าหมายระยะยาว

1. สร้างตราสินค้าให้เป็นที่รู้จักโดยทั่วไป
2. สามารถครองส่วนแบ่งตลาดในอุตสาหกรรมบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ไม่น้อยกว่า 10%
3. สามารถสร้างผลตอบแทนแก่ผู้ถือหุ้นไม่ต่ำกว่า 15% ต่อปี

โครงสร้างองค์กร



ภาพที่ 6.4 โครงสร้างองค์กร บริษัท บี-คลาร์ จำกัด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปแบบการบริหารองค์กรจะเน้นใช้การกระจายอำนาจ โดยมีลำดับชั้นของการบริหารน้อย เพื่อความคล่องตัวในการทำงาน เนื่องจากการก่อตั้งองค์กรในระยะแรกจะมีลักษณะเป็นบริษัทขนาดเล็ก จำนวนบุคลากรในองค์กรมีไม่มาก การจัดรูปแบบองค์กรลักษณะนี้จึงทำให้การทำงานเป็นไปด้วยความรวดเร็ว ในระยะแรกจะแบ่งออกเป็นฝ่ายขายและการตลาดดูแลเรื่องการขายและการตลาดให้ได้ตามเป้าหมายขององค์กร ฝ่ายบัญชีดูแลเรื่องการเงินและการบัญชี ฝ่ายคลังสินค้าดูแลเรื่องการจัดเก็บสินค้าทั้งวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป พร้อมทั้งบริหารสินค้าคงคลังให้เหมาะสมกับรูปแบบการดำเนินธุรกิจ ฝ่ายจัดซื้อมีหน้าที่ในการจัดหาสินค้าที่มีคุณภาพ ราคาเหมาะสม ให้ทันกับความต้องการของลูกค้า และฝ่ายบุคคล ที่มีหน้าที่จัดหาบุคลากรให้เพียงพอกับความต้องการขององค์กร และดูแลช่างเทคนิคซ่อมบำรุงและพนักงานขับรถ

ตารางที่ 6.2 ค่าตอบแทนบุคลากรในองค์กร

ลำดับ	ตำแหน่ง	จำนวน	อัตราเงินเดือน	รวม
1	กรรมการผู้จัดการ	1	60,000	60,000
2	ผู้จัดการฝ่ายขายและการตลาด	1	25,000	25,000
3	เจ้าหน้าที่ฝ่ายขาย	3	15,000	45,000
4	เจ้าหน้าที่ฝ่ายการตลาด	1	15,000	15,000
5	ผู้จัดการฝ่ายบัญชี	1	25,000	25,000
6	ผู้จัดการฝ่ายคลังสินค้า	1	25,000	25,000
7	พนักงานฝ่ายคลังสินค้า	1	15,000	15,000
8	ผู้จัดการฝ่ายจัดซื้อ	1	20,000	20,000
9	ผู้จัดการฝ่ายบุคคล	1	20,000	20,000
10	ช่างเทคนิคซ่อมบำรุง	1	18,000	18,000
11	พนักงานขับรถ	1	15,000	15,000
รวม		14		283,000

6.2.1.2 กลยุทธ์ระดับธุรกิจ

การวิเคราะห์กลยุทธ์ธุรกิจโดยใช้กลยุทธ์การแข่งขันทั่วไป (Generic competive strategies) ที่นำเสนอโดย ไมเคิล อี พอร์ตเตอร์ โดยกลยุทธ์ทั่วไปจะมีทั้งหมด 3 กลยุทธ์คือ การเป็นผู้นำด้านต้นทุน (cost leadership) การสร้างความแตกต่าง (Differentiation) และการมุ่งเฉพาะด้าน (Focus)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการกำหนดกลยุทธ์ธุรกิจที่เหมาะสมสำหรับ บี-คลาร์ จึงเลือกใช้กลยุทธ์การมุ่งเฉพาะด้าน (Focus) โดยเลือกเฉพาะส่วนแบ่งกลุ่มลูกค้าเฉพาะผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ

ในการวิเคราะห์รูปแบบธุรกิจที่เหมาะสม ด้วยการใช้เครื่องมือ Business Model Canvas (BMC) ซึ่งถูกพัฒนาและนำเสนอโดย Alexander Osterwalder เป็นการวิเคราะห์ถึงภาพรวมของบริษัทฯ ในการที่จะสร้างคุณค่าและส่งมอบคุณค่าให้กับลูกค้าได้อย่างไร โดยแบ่งออกเป็น 9 องค์ประกอบด้วยกันดังนี้

<table>
<tr>
<td rowspan="2">Key Partners
● มหาวิทยาลัยเครือข่าย
● ผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ
● องค์กรบริหารท้องถิ่น</td>
<td>Key activities
● การวิจัยและพัฒนา
● การพัฒนาตลาดใหม่</td>
<td rowspan="2">Value Propositions
● ความปลอดภัยต่อผู้โดยสาร
● ภาพลักษณ์และตราสินค้าในเรื่องคุณภาพบริการ</td>
<td>Customer Relationships
● บริการหลังการขายตลอด 24 ชั่วโมง</td>
<td rowspan="2">Customer Segments
● ผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะจำนวน 1,500 ราย</td>
</tr>
<tr>
<td>Key Resources
●ใบอนุญาตสินค้า
● องค์ความรู้งานวิจัย</td>
<td>Channels
● พนักงานขาย
● นิทรรศการ</td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">Cost Structure
● ต้นทุนสินค้า
● เงินเดือนพนักงาน</td>
<td colspan="3">Revenue Stream
● เครื่องพ่นละอองฆ่าเชื้อ
● 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์</td>
</tr>
</table>

ภาพที่ 6.5 โมเดลธุรกิจ Business Model Canvas (BMC)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย (customer segments)

กลุ่มลูกค้าเป้าหมายสำหรับบริษัท บี-คลาร์ คือกลุ่มผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ ซึ่งปัจจุบันมีผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะจำนวนประมาณ 1,500 รายทั่วประเทศ

2. คุณค่าที่นำเสนอแก่ลูกค้า (value propositions)

บริษัท บี-คลาร์ ได้มุ่งนำเสนอคุณค่าแก่ลูกค้า ในเรื่องความปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้โดยสาร ช่วยลดความเสี่ยงของผู้โดยสารต่อการได้รับเชื้อโรคจากการใช้รถโดยสารสาธารณะ และคุณค่าในความมั่นใจต่อภาพลักษณ์และตราสินค้าของผู้โดยสารที่มีต่อผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ

3. ช่องทางเข้าถึงลูกค้า (channels)

บริษัท บี-คลาร์ มีแนวทางในการเข้าถึงกลุ่มลูกค้า โดยอาศัยพนักงานขายเป็นหลัก หรือผ่านการเข้าร่วมงานแสดงสินค้า อีกทั้งบริษัทฯ ยังมีช่องทางสื่อออนไลน์ที่ใช้ในการเข้าถึงลูกค้า

4. การสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า (customer relationships)

บริษัท บี-คลาร์ มีการสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า โดยมีบริการช่วยเหลือลูกค้า ทั้งให้ข้อมูลสินค้าและปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน มีการติดตามความพึงพอใจของลูกค้าเป็นประจำ

5. รายได้ของกิจการ (revenue streams)

รายได้หลักของกิจการ มาจากการจำหน่ายเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กับลูกค้าและสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่ใช้กับเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ

6. ทรัพยากรหลัก (key resources)

ทรัพยากรหลักของบริษัทฯ ได้แก่ พนักงานขายสินค้าของบริษัทที่มีหน้าที่ในการติดต่อกับกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ให้ข้อมูลสินค้า รวมถึง องค์ความรู้เกี่ยวกับงานวิจัยของบริษัท และใบอนุญาตเกี่ยวกับสินค้าของบริษัท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7. กิจกรรมหลัก (key activities)

กิจกรรมหลักคือกิจกรรมที่บริษัทต้องสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการส่งมอบคุณค่าให้กับลูกค้า ได้แก่การวิจัยและพัฒนาสินค้าให้มีประสิทธิภาพและใช้งานได้สะดวก ตอบสนองความต้องการของลูกค้า การพัฒนาตลาดใหม่ การสื่อสารและประชาสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพ

8. คู่ค้าและเครือข่ายสนับสนุน (key partnerships)

คู่ค้าและเครือข่ายสนับสนุนของบริษัท ได้แก่ เครือข่ายการศึกษา เช่น มหาวิทยาลัยที่ช่วยสนับสนุนเรื่องการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ เครือข่ายผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ

9. โครงสร้างต้นทุน (cost structure)

ต้นทุนหลักของบริษัท ได้แก่ ต้นทุนสินค้าทั้งเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และต้นทุนสารฆ่าเชื้อ รวมถึงต้นทุนค่าเงินเดือนพนักงาน

6.2.2 แผนการตลาด

6.2.2.1 กลยุทธ์ด้านราคา

ในการกำหนดราคาผลิตภัณฑ์ บริษัทฯ มีขั้นตอนในการกำหนดราคาโดยเทียบกับต้นทุนสินค้าในการสั่งผลิตและเปรียบเทียบราคาสินค้าเทียบกับคู่แข่ง เพื่อกำหนดราคาที่สามารถแข่งขันได้ มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 6.3 ต้นทุนของเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารฆ่าเชื้อ

ลำดับที่	รายละเอียด	ราคาต่อหน่วย
1	เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	30,000 บาทต่อเครื่อง
2	สารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	25 บาทต่อลิตร

จากตารางที่ 6.3 พบว่า เครื่องพ่นละอองไฮโดเจนเปอร์ออกไซด์ที่ผลิตในประเทศไทยจะมีราคาต้นทุนเท่ากับ 30,000 บาท ซึ่งเป็นเครื่อง VQ20 ที่ผลิตจากคณะผู้ประดิษฐ์คนไทย ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยในการพัฒนาจากสำนักงานวิจัยแห่งชาติ (วช) เป็นเครื่องที่มีการทำงานพ่นละอองฝอยได้ขนาดเล็ก และสามารถตั้งเวลาการทำงานได้อัตโนมัติ ซึ่งเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนใหญ่เป็นเครื่องที่ผลิตในต่างประเทศ และมีราคาสูง

ตารางที่ 6.4 เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตลาด

ลำดับที่	รายละเอียด	รูปภาพ	ราคา (บาท)
1	ATOMER II RA04HS		19,900
2	Curis fogger		220,000
3	Q-jet compact		150,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 6.4 พบว่า เครื่อง Curis fogger และ Q-jet compact จะเป็นเครื่องลักษณะเดียวกับเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ VQ20 ที่ได้ใช้ในการศึกษาระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่สามารถตั้งเวลาการทำงานได้อัตโนมัติและใช้กับสารฆ่าเชื้อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ แต่ทั้งสองเครื่องเป็นเครื่องที่ผลิตจากต่างประเทศจะมีราคาสูงกว่าเครื่องพ่นละออง VQ20 มาก ส่วนเครื่อง Atomer II เป็นเครื่องที่ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานในการถือเครื่องพ่นละออง จึงไม่สามารถนำมาใช้งานทดแทนได้

ตารางที่ 6.5 ราคาสารฆ่าเชื้อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในตลาด

ลำดับที่	รายละเอียด	ส่วนผสม	ราคาต่อลิตร (บาท)
1	Sanosil S010	5% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ + 0.005% ซิลเวอร์	360
2	KEEEN Germ Killer Bio Disinfectan	3% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	560
3	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6%	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 6%	119

การเปรียบเทียบสารฆ่าเชื้อที่มีส่วนผสมหลักของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะมีทั้งแบบที่ผลิตในประเทศและผลิตจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาตั้งแต่ลิตรละ 119 บาทถึง 560 บาท โดยทางบริษัท บี-คลาร์ จำกัด ได้กำหนดราคาที่สามารถแข่งขันได้ เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ราคา 50,000 บาทต่อเครื่องและราคาสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ราคาลิตรละ 100 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2.2.2 กลยุทธ์ด้านสินค้า

ตารางที่ 6.6 โรงงานผลิตที่ได้รับมาตรฐาน GMP วัตถุอันตราย

ลำดับที่	ชื่อบริษัท	ทุนจดทะเบียน	ที่อยู่	ขอบเขตการรับรอง
1	บริษัท ไทยเปอร์อ๊อกไซด์ จำกัด	130	70 หมู่ 4 ถนนสุดบรรทัด ตาบลตาลเดี่ยวอำเภอแก่งคอย จังหวัด	ผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อ
2	บริษัท กรีนสวิลล์ จำกัด	6.5	33, 34 ฉลองกรุง 31 ลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร	ทำความสะอาด
3	บริษัท ไอ.พี.แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด	10	319 นิคมอุตสาหกรรมบางปู อ.เมืองสมุทรปราการ จ.	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
4	บริษัท โซลเวย์เพอร์ออกซิไทย	1,219	55 อาคารเวฟเพลส ชั้น11 และ 16 ลุมพินี เขตปทุมวัน	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
5	บริษัท นวศรี แมนูแฟคเจอริ่ง จำกัด	10	60/158 นิคมอุตสาหกรรมนวนคร ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
6	บริษัท ไซเบอร์แพค จำกัด	260	123 หมู่ที่ 9 ต.บางวัว อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
7	บริษัท นีโอแฟคทอรี่ จำกัด	210	168 หมู่ที่ 5 ต.บึงคอไห อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
8	บริษัท ราชาโยค จำกัด	30	143 สิรินธร 7 ถนนสิรินธร บางบำหรุ เขตบางพลัด	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
9	บริษัท อุตสาหกรรมมิตร	50	136 พระรามที่ 2 ซอย 54 แยก 4 แสมดำ เขตบางขุนเทียน	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
10	บริษัท ไวท์เฮ้าส์ คลีนิ่ง โปรดักส์	25	847 หมู่ที่ 4 ซอยอุตสาหกรรมบางปู ซอย ต.แพรกษา อ.เมือง	ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ

บริษัทฯ ได้วางแผนจำหน่าย เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยบริษัทฯ จะจ้างทำการผลิตในตราสินค้าของบริษัท โดยบริษัทฯ ทำหน้าที่ควบคุมการผลิต เนื่องจากสินค้าที่เป็นเครื่องพ่นและสารฆ่าเชื้อมีจำนวนน้อยชนิด จึงไม่คุ้มหากต้องทำการสร้างโรงงานผลิตเอง อีกทั้งปัจจุบันโรงงานผลิตสารฆ่าเชื้อที่ได้มาตรฐาน GMP วัตถุอันตรายมีจำนวนมาก (ตารางที่ 6.6) ทางบริษัทฯ จึงจะทำการจ้าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลิตสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สำหรับบรรจุภัณฑ์ขนาด 25 ลิตร เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและการใช้งาน

6.2.2.3 กลยุทธ์ด้านการจัดจำหน่าย

บริษัทฯ วางแผนการจัดจำหน่ายโดยตรงถึงผู้ประกอบการรถขนส่งสาธารณะ โดยใช้พนักงานขายของบริษัท เป็นช่องทางติดต่อโดยตรง โดยวิธีการแบบนี้สามารถให้ข้อมูลสินค้าได้มากที่สุด และสามารถแสดงการทำงานของระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะให้กลุ่มลูกค้าเป้าหมายได้อย่างชัดเจน

6.2.2.4 กลยุทธ์ด้านการประชาสัมพันธ์

บริษัทฯ ได้วางแผนการประชาสัมพันธ์ เพื่อสื่อสารไปยังกลุ่มลูกค้าเป้าหมายโดยใช้งบประมาณที่มีประสิทธิภาพมากที่เหมาะกับกลุ่มลูกค้าผู้ประกอบการรถขนส่งสาธารณะคือ

1. การโฆษณา (advertising) ผ่านสื่อสิ่งพิมพ์ โบรชัวร์ และสื่อออนไลน์ โดยจัดทำรายละเอียด คุณสมบัติ สินค้า ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ
2. การขายโดยใช้พนักงานขาย (personal selling) โดยมีพนักงานขายไปแนะนำกลุ่มลูกค้า โดยมีการสาธิตการใช้งาน มีเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ทดลองใช้ และมีสินค้าสารฆ่าเชื้อ 7% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ทดลองใช้ฟรี
3. การส่งเสริมการขาย (sales promotion) โดยผ่านงานแสดงสินค้าและนิทรรศการ มีการสาธิตการใช้งานระบบฆ่าเชื้อแก่ผู้ที่สนใจ
4. การให้ข่าวและการประชาสัมพันธ์ (publicity and public relations) โดยการให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบฆ่าเชื้อ การบริจาคเพื่อการกุศล การเป็นสปอนเซอร์สนับสนุนในกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับบริษัท และการสร้างความสัมพันธ์ที่ดีกับชุมชน

6.2.3 แผนการเงิน

6.2.3.1. ต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (operation expenses)

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน หมายถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากดำเนินธุรกิจในแต่ละวัน ซึ่งไม่รวมถึงต้นทุนขาย (cost of goods sold) โดยแบ่งออกเป็น ค่าใช้จ่ายในการขาย (selling expenses) จะเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการขาย เช่น ค่าสื่อโฆษณา ค่าขนส่ง ค่า

เดินทางพนักงานขาย ค่าโทรศัพท์ เป็นต้น และค่าใช้จ่ายในการบริหาร ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการบริหาร เช่น เงินเดือนพนักงาน ค่าเช่าสำนักงาน ค่าน้ำ ค่าไฟ เป็นต้น

รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการขาย

1. ค่าสื่อโฆษณาขาย โดยจัดทำ โบรชัวร์แนะนำสินค้าและบริการบริษัทฯ วีดีโอทัศน์สัมมนา คิดโดยประมาณการณ์ปีละ 3-5% ของยอดขายรวม
2. ค่าน้ำมันรถพนักงานขาย เดือนละ 10,000 บาทต่อคน
3. ค่าเบี้ยเลี้ยงที่พักและอาหาร พนักงานขาย เดือนละ 10,000 บาทต่อคน
4. ค่าโทรศัพท์พนักงานขาย เดือนละ 1,000 บาทต่อคน

รายละเอียดค่าใช้จ่ายสำหรับบริหาร

1. ค่าเงินเดือนพนักงาน เดือนละ 283,000 บาท
2. ค่าเสื่อมราคาเดือนละ 120,000 บาท
3. ค่าเช่าอาคารสำนักงาน เดือนละ 30,000 บาท
4. ค่าสาธารณูปโภค เดือนละ 20,000 บาท

6.2.3.2. รายจ่ายลงทุน (Capital expenditures)

ตารางที่ 6.7 แสดงรายการลงทุน

ลำดับ	รายการ	งบประมาณ (บาท)
1	ตกแต่งสำนักงาน	200,000
2	ค่าเฟอร์นิเจอร์	200,000
3	ค่าคอมพิวเตอร์	200,000
รวม		600,000*

* ค่าเสื่อมราคาตัด 5 ปีเท่ากับปีละ 120,000 บาท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 6.7 แสดงรายการลงทุน มีงบประมาณลงทุนทั้งสิ้นจำนวน 600,000 บาท ซึ่งคำนวณค่าเสื่อมราคาตัดจำหน่ายในระยะเวลา 5 ปีจะเท่ากับ 120,000 บาท

6.2.3.4 การประมาณการงบกำไรขาดทุน

บริษัทฯ ได้ทำประมาณการงบกำไรขาดทุน โดยจำลองสถานการณ์ไว้ 3 กรณี คือ กรณีแย่ที่สุด (worst case) โดยในปีแรกจะมีการขายเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์

ออกไซด์ได้เพียง 120 เครื่อง และมีการเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 5 เท่านั้น การจำหน่ายสารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 ได้ประมาณการใช้งานเครื่องพ่นฆ่าเชื้อวันละ 1 ครั้ง ครั้งละ 30 นาทีจะใช้สารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 ปริมาณ 600 มล.ต่อครั้งหรือเทียบเท่ากับ 0.6 ลิตรต่อหนึ่งวัน ส่วนค่าใช้จ่ายในการขายได้ตั้งงบประมาณด้านสื่อโฆษณาร้อยละ 3 ของยอดขาย

ตารางที่ 6.8 ประมาณการงบกำไรขาดทุนกรณีแย่ที่สุด (worst case)

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
จำนวนเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ (เครื่อง)	120	126	132	139	146
สารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 (ลิตร)	25,920	27,216	28,512	30,024	31,536
ราคาขายเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
ราคาขายสารฆ่าเชื้อ (บาทต่อลิตร)	100	100	100	100	100
รายได้เครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	6,000,000	6,300,000	6,600,000	6,950,000	7,300,000
รายได้สารฆ่าเชื้อ	2,592,000	2,721,600	2,851,200	3,002,400	3,153,600
รวมรายได้	8,592,000	9,021,600	9,451,200	9,952,400	10,453,600
ต้นทุนเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	3,600,000	3,780,000	3,960,000	4,170,000	4,380,000
ต้นทุนสารฆ่าเชื้อ	648,000	680,400	712,800	750,600	788,400
รวมต้นทุน	4,248,000	4,460,400	4,672,800	4,920,600	5,168,400
กำไรขั้นต้นเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	2,400,000	2,520,000	2,640,000	2,780,000	2,920,000
กำไรขั้นต้นสารฆ่าเชื้อ	1,944,000	2,041,200	2,138,400	2,251,800	2,365,200
กำไรขั้นต้นรวม	4,344,000	4,561,200	4,778,400	5,031,800	5,285,200
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร	5,009,760	5,022,648	5,035,536	5,050,572	5,065,608
ค่าใช้จ่ายในการขาย	1,013,760	1,026,648	1,039,536	1,054,572	1,069,608
ค่าใช้จ่ายบริหาร	3,996,000	3,996,000	3,996,000	3,996,000	3,996,000
ค่าเสื่อมราคา	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
กำไรสุทธิก่อนภาษี	-785,760	-581,448	-377,136	-138,772	99,592
ภาษีเงินได้	-	-	-	-	14,939
กำไรสุทธิ	-785,760	-581,448	-377,136	-138,772	84,653

การประมาณการงบกำไรขาดทุนในสถานการณ์ปกติ (base case) โดยในปีแรกจะมีการขายเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้ร้อยละ 10 ของผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะทั้งหมดจำนวน 1,500 ราย ซึ่งเท่ากับยอดขายเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปีแรกเท่ากับ 150 เครื่อง และมีการเติบโตของยอดขายร้อยละ 10 การจำหน่ายสารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 ได้ประมาณการใช้งานเครื่องพ่นฆ่าเชื้อวันละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 นาทีจะใช้สารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 ปริมาณ 600 มล.ต่อครั้งหรือเทียบเท่ากับ 1.8 ลิตรต่อ

หนึ่งวัน มีการใช้งบประมาณด้านสื่อโฆษณาร้อยละ 5 ของยอดขายทั้งหมด และมีการปรับเงินเดือนพนักงานเพิ่มขึ้นต่อปีร้อยละ 7

ตารางที่ 6.9 ประมาณการงบกำไรขาดทุนกรณีปกติ (base case)

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
จำนวนเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	150	165	180	200	220
สารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 (ลิตร)	97,200	106,920	116,640	129,600	142,560
ราคาขายเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
ราคาขายสารฆ่าเชื้อ (บาทต่อ	100	100	100	100	100
รายได้เครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	7,500,000	8,250,000	9,000,000	10,000,000	11,000,000
รายได้สารฆ่าเชื้อ	9,720,000	10,692,000	11,664,000	12,960,000	14,256,000
รวมรายได้	17,220,000	18,942,000	20,664,000	22,960,000	25,256,000
ต้นทุนเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	4,500,000	4,950,000	5,400,000	6,000,000	6,600,000
ต้นทุนสารฆ่าเชื้อ	2,430,000	2,673,000	2,916,000	3,240,000	3,564,000
รวมต้นทุน	6,930,000	7,623,000	8,316,000	9,240,000	10,164,000
กำไรขั้นต้นเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	3,000,000	3,300,000	3,600,000	4,000,000	4,400,000
กำไรขั้นต้นสารฆ่าเชื้อ	7,290,000	8,019,000	8,748,000	9,720,000	10,692,000
กำไรขั้นต้นรวม	10,290,000	11,319,000	12,348,000	13,720,000	15,092,000
ค่าใช้จ่ายขายและบริหาร	5,613,000	5,936,820	6,277,280	6,664,246	7,070,263
ค่าใช้จ่ายในการขาย	1,617,000	1,703,100	1,789,200	1,904,000	2,018,800
ค่าใช้จ่ายบริหาร	3,996,000	4,233,720	4,488,080	4,760,246	5,051,463
ค่าเสื่อมราคา	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
กำไรสุทธิก่อนภาษี	4,557,000	5,262,180	5,950,720	6,935,754	7,901,737
ภาษีเงินได้	911,400	1,052,436	1,190,144	1,387,151	1,580,347
กำไรสุทธิ	3,645,600	4,209,744	4,760,576	5,548,603	6,321,389

การประมาณการงบกำไรขาดทุนในสถานการณ์ที่ดีที่สุด (best case) โดยในปีแรกจะมีการขายเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ได้เท่ากับ 150 เครื่อง และมีการเติบโตของยอดขายร้อยละ 20 ซึ่งเท่ากับการเติบโตของธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในปัจจุบัน การจำหน่ายสารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 ได้ประมาณการใช้งานเครื่องพ่นฆ่าเชื้อวันละ 5 ครั้ง ครั้งละ 30 นาทีจะใช้สารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 ปริมาณ 600 มล.ต่อครั้งหรือเทียบเท่ากับ 3 ลิตรต่อหนึ่งวัน โดยการเติบโตที่สูงเนื่องจากสถานการณ์ของโรคระบาดโควิด-19 หากโรคระบาดยังไม่สามารถควบคุมได้ ธุรกิจกลุ่มบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อจึงน่าจะมีการ

เติบโตที่สูงต่อเนื่อง การใช้งบประมาณด้านสื่อโฆษณาร้อยละ 7 ของยอดขายทั้งหมด และมีการปรับเงินเดือนพนักงานเพิ่มขึ้นต่อปีร้อยละ 7

ตารางที่ 6.10 ประมาณการงบกำไรขาดทุนกรณีดีที่สุด (best case)

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
จำนวนเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ (เครื่อง)	150	180	216	260	312
สารฆ่าเชื้อ 7% H_2O_2 (ลิตร)	162,000	194,400	233,280	280,800	336,960
ราคาขายเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
ราคาขายสารฆ่าเชื้อ (บาทต่อลิตร)	100	100	100	100	100
รายได้เครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	7,500,000	9,000,000	10,800,000	13,000,000	15,600,000
รายได้สารฆ่าเชื้อ	16,200,000	19,440,000	23,328,000	28,080,000	33,696,000
รวมรายได้	23,700,000	28,440,000	34,128,000	41,080,000	49,296,000
ต้นทุนเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	4,500,000	5,400,000	6,480,000	7,800,000	9,360,000
ต้นทุนสารฆ่าเชื้อ	4,050,000	4,860,000	5,832,000	7,020,000	8,424,000
รวมต้นทุน	8,550,000	10,260,000	12,312,000	14,820,000	17,784,000
กำไรขั้นต้นเครื่องพ่นฆ่าเชื้อ	3,000,000	3,600,000	4,320,000	5,200,000	6,240,000
กำไรขั้นต้นสารฆ่าเชื้อ	12,150,000	14,580,000	17,496,000	21,060,000	25,272,000
กำไรขั้นต้นรวม	15,150,000	18,180,000	21,816,000	26,260,000	31,512,000
ค่าใช้จ่ายในการขายและบริหาร	5,937,000	6,980,520	7,633,040	8,391,846	9,258,183
ค่าใช้จ่ายในการขาย	1,941,000	2,746,800	3,144,960	3,631,600	4,206,720
ค่าใช้จ่ายบริหาร	3,996,000	4,233,720	4,488,080	4,760,246	5,051,463
ค่าเสื่อมราคา	120,000	120,000	120,000	120,000	120,000
กำไรสุทธิก่อนภาษี	9,093,000	11,079,480	14,062,960	17,748,154	22,133,817
ภาษีเงินได้	1,818,600	2,215,896	2,812,592	3,549,631	4,426,763
กำไรสุทธิ	9,093,000	8,863,584	11,250,368	14,198,523	17,707,053

6.2.4 แผนการออกจากธุรกิจ (exit plan)

ในการจัดทำแผนธุรกิจควรจะมีการกำหนดแผนการออกจากธุรกิจไว้ด้วยทุกครั้ง เพื่อใช้ในการรับมือกับสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำแผนการออกจากธุรกิจเพื่อให้บริษัทฯได้รับมูลค่ากิจการที่สูงที่สุดในแต่ละสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งในการจัดทำแผนการออกจากธุรกิจ มีปัจจัยที่ต้องพิจารณาได้แก่ 1.มูลค่ากิจการที่ต้องการได้รับ 2.ช่วงเวลาที่จะออกจากกิจการ

3.ระดับสัดส่วนในการควบคุมหรือบริหารกิจการที่ผู้ประกอบการต้องการ และ 4.รูปแบบในการชำระเงินจากการขายกิจการ (Cesar, et al., 2005)

มูลค่ากิจการที่ต้องการได้รับจะมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาที่จะออกจากกิจการ โดยปกติกิจการมีการดำเนินงานในช่วงเวลาที่ยาวนานจะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับมูลค่ากิจการที่เพิ่มขึ้น ทั้งยังขึ้นกับกลยุทธ์ในการออกจากธุรกิจ กลยุทธ์โตแล้วรีบขายกิจการ (grow and sell quickly) ซึ่งส่วนใหญ่ใช้เวลา 2-3 ปีหลังจากดำเนินกิจการ กลยุทธ์โตแล้วขายได้มูลค่าสูง (grow and sell big) ส่วนใหญ่ใช้เวลามากกว่า 5-6 ปี เป็นต้น

ในการออกจากธุรกิจยังคงต้องพิจารณาว่าผู้ประกอบการยังคงต้องการควบคุมหรือบริหารกิจการต่อไปหรือไม่ซึ่งส่งผลต่อการเลือกรูปแบบในการออกจากธุรกิจ ซึ่งอำนาจในการควบคุมหรือบริหารกิจการจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนในการถือครองหุ้นในกิจการ และปัจจัยสุดท้ายคือรูปแบบในการชำระเงินจากการขายกิจการ โดยส่วนใหญ่ผู้ประกอบการต้องการได้เงินสดแต่ในบางครั้งผู้ซื้อกิจการอาจต้องการชำระเงินเป็นรูปแบบหนี้สินหรือส่วนของผู้ถือหุ้น เพื่อต้องการสร้างกระแสเงินสดในอนาคตให้มากที่สุด

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อกลยุทธ์ในการออกจากกิจการ บริษัทจึงได้กำหนดกลยุทธ์ในการออกจากกิจการโดยอ้างอิงจากการจำลองสถานการณ์ผลประกอบการทั้ง 3 รูปแบบคือ สถานการณ์ปกติ สถานการณ์ดีที่สุด และสถานการณ์แย่ที่สุด ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2.4.1 การออกและเสนอขายหลักทรัพย์ต่อประชาชนทั่วไปเป็นครั้งแรก (initial public offering: IPO) ซึ่งจะใช้ในกรณีที่บริษัทฯ มีผลประกอบการตามการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบดีที่สุด การใช้วิธีการออกและเสนอขาย IPO แก่ประชาชนเพื่อทำการซื้อขายหุ้นในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยต่อไป มีข้อดีคือสามารถสร้างมูลค่ากิจการได้ในระดับสูงกว่าการขายบริษัทในขณะที่ไม่ได้จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์เนื่องจากนักลงทุนสถาบันหรือผู้จัดการกองทุนจะมีความมั่นใจในบริษัทที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์มากกว่า และผู้บริหารบริษัทฯยังคงรักษาอำนาจในการบริหารงานโดยการคงสัดส่วนการถือครองหุ้นมากกว่า 50% โดยวางแผนในการออกและเสนอขาย IPO เมื่อดำเนินกิจการถึงปีที่ 5 เมื่อบริษัทมีผลกำไรสุทธิ 17 ล้านบาท บริษัทฯจะสามารถเข้าเงื่อนไขในการนำหุ้นสามัญเข้าจดทะเบียนกับตลาดหลักทรัพย์ เอ็ม เอ ไอ (mai) ในการกำหนดมูลค่ากิจการที่ต้องการได้รับเมื่อทำการ IPO ด้วยวิธีการประเมินกิจการจากการคำนวณ มูลค่ากิจการ (enterprise value) / กำไรก่อนดอกเบี้ย ค่าเสื่อมราคาและค่าตัดจำหน่าย (EBITDA) สำหรับบริษัทมหาชนที่จด

ทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ที่มีธุรกิจใกล้เคียงกันที่สุดคือ บริษัท พีรพัฒน์ เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) ซึ่งปัจจุบันมีอัตราส่วนของ EV/EBITDA เท่ากับ 9.23 ซึ่งสามารถใช้เทียบเคียงกับการประเมินบริษัท บี-คลาร์ได้เมื่อบี-คลาร์ดำเนินธุรกิจถึงปีที่ 5 จะมี EBITDA เท่ากับ 22.2 ล้านบาท ซึ่งหากใช้อัตราส่วน EV/EBITDA เท่ากับ 9.23 ทางบี-คลาร์จะมีมูลค่ากิจการเท่ากับ 205 ล้านบาท

6.2.4.2 การเสนอขายให้กับผู้เล่นในอุตสาหกรรมเดียวกัน โดยกลยุทธ์นี้บริษัทจะพิจารณาเมื่อมีผลประกอบการตามการจำลองสถานการณ์ในรูปแบบที่แย่ที่สุด โดยในปีที่ 5 บริษัทจะมีกำไรสุทธิเพียง 84,653 บาท ซึ่งบริษัทฯจะเลือกขายให้กับบริษัทอื่นที่อยู่ในอุตสาหกรรมเดียวกันเนื่องจากบริษัทฯได้มีฐานลูกค้าที่เป็นผู้ประกอบการรถโดยสารสาธารณะ และสามารถช่วยส่งเสริมธุรกิจของบริษัทที่ต้องการเข้ามาซื้อได้ จะทำให้บริษัทฯได้รับมูลค่าจากการขายกิจการมากที่สุด อีกทั้งบริษัทฯยังสามารถที่จะตัดสินใจว่ายังคงต้องการสิทธิ์ในการบริหารกิจการต่อไปหรือไม่ หรือต้องการขายกิจการทั้งหมด โดยบริษัทฯประเมินมูลค่ากิจการโดยใช้อัตราส่วนของ P/S ratio ซึ่งคืออัตราส่วนมูลค่ากิจการต่อยอดขาย โดยใช้อัตราส่วน P/S ratio เท่ากับ 1 ดังนั้นในปีที่ 5 บริษัทฯจะมียอดขายทั้งสิ้น 10 ล้านบาท จึงคาดว่ามูลค่าที่จะได้รับจากการขายกิจการเท่ากับ 10 ล้านบาท

นอกจากนี้บริษัทฯ ยังมีแผนสำหรับการออกจากกิจการที่นอกเหนือจากสถานการณ์การจำลองผลประกอบการข้างต้น ไว้ดังนี้

1. เมื่อบริษัทไม่สามารถสร้างตราสินค้าบี-คลาร์ให้เป็นที่รู้จักได้
2. หากพิจารณาแล้วว่าใน 3 ปีข้างหน้า บริษัทไม่สามารถสร้างมูลค่ามากกว่าการออกจากธุรกิจในปัจจุบัน
3. บริษัทได้ประสบปัญหาขาดสภาพคล่องทางการเงินที่คาดว่าไม่สามารถดำเนินธุรกิจได้มากกว่า 6 เดือน

ในสถานการณ์ข้างต้นนี้ บริษัทจะพิจารณาในการขายกิจการโดยใช้วิธีการขายให้กับบริษัทอื่นที่อยู่ในอุตสาหกรรมเดียวกันก่อน แต่หากไม่ประสบความสำเร็จบริษัทจะพิจารณาวิธีการชำระบัญชีและขายทรัพย์สิน (liquidation) โดยนำเงินที่ได้จากกิจการมาคืนให้กับผู้ถือหุ้นต่อไป

6.3 บทสรุป

จากแนวทางการพัฒนาในเชิงพาณิชย์ พบว่าธุรกิจกลุ่มบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อเป็นที่ต้องการอย่างมาก เนื่องจากในสถานการณ์ของโรคโควิด-19 ผู้คนให้ความสำคัญกับเรื่องความ

สะอาดมากขึ้น ธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อในประเทศไทยมีการเติบโตที่สูง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีธุรกิจใหม่จำนวนมาก ทำให้การแข่งขันสูง ธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อส่วนใหญ่เลือกกลุ่มลูกค้าเป้าหมายเป็นกลุ่มบ้านเรือน อาคาร และสำนักงาน

จากการศึกษาชิ้นนี้เรื่อง “ระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์” พบว่าผู้โดยสารส่วนใหญ่มีความตระหนักต่อความสะอาดของรถโดยสารและมีการรับรู้ผลประโยชน์ของการพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อฆ่าเชื้อภายในรถ อีกทั้งยังมีความยินดีในการจ่ายค่าโดยสารเพิ่มขึ้นจากค่าโดยสารปกติเมื่อใช้บริการรถโดยสารสาธารณะที่ฆ่าเชื้อแล้ว จึงเป็นโอกาสในการพัฒนาเชิงพาณิชย์สำหรับ ธุรกิจฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถสาธารณะประจำทาง

ความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ ด้วยการจัดทำแผนธุรกิจพบว่า การจัดตั้งในรูปแบบบริษัทที่มีโครงสร้างองค์กรกำกับดูแลหน้าที่ในแต่ละฝ่าย มีการกำหนดวิสัยทัศน์ พันธกิจ โครงสร้างเงินเดือนในแต่ละฝ่าย เพื่อให้การบริการจัดการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การทำแผนธุรกิจโดยการกำหนดกลยุทธ์ธุรกิจและกลยุทธ์ด้านการตลาด ทั้ง สินค้า ราคา ช่องทางจัดจำหน่าย และการประชาสัมพันธ์ เพื่อให้ธุรกิจบรรลุเป้าหมาย และการวิเคราะห์แผนการเงินด้วยการจำลองสถานการณ์ในกรณีต่างๆ เพื่อให้ธุรกิจสามารถคาดการณ์ผลกระทบในอนาคตและปรับตัวได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวางแผนการพัฒนาในเชิงพาณิชย์สำหรับระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากหวังผลในเชิงธุรกิจเพื่อให้ธุรกิจมีผลกำไรแล้ว ยังมีประโยชน์ในด้านสังคม ด้วยการใช้ระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถฆ่าเชื้อบนพื้นผิวเพื่อลดความเสี่ยงในการได้รับเชื้อโรค การนำระบบฆ่าเชื้อนี้ไปใช้ในรถโดยสารสาธารณะเพื่อให้ผู้โดยสารสามารถใช้บริการได้โดยปลอดภัยต่อสุขภาพ และระบบขนส่งสาธารณะยังสามารถเป็นตัวเลือกให้กับผู้โดยสารต่อไปได้ โดยเฉพาะผู้โดยสารที่ไม่สามารถเดินทางด้วยวิธีอื่น เป็นเป้าหมายสูงสุดของผู้วิจัยที่ทำการศึกษานี้

บรรณานุกรม

Ajzen, I., The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes* **1991,** *50* (2), 179-211.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. In *Threshold limit values (TLVs) and biological exposure indices (BEIs)*, Cincinnati, OH: 2012.

Andersen, K. G.; Rambaut, A.; Lipkin, W. I.; Holmes, E. C.; Garry, R. F., The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature medicine* **2020,** *26* (4), 450-452.

Anderson, P., Mutagenesis. In *Methods in cell biology*, Elsevier: 1995; Vol. 48, pp 31-58.

Anderson, R. E.; Young, V.; Stewart, M.; Robertson, C.; Dancer, S. J., Cleanliness audit of clinical surfaces and equipment: who cleans what? *Journal of Hospital Infection* **2011,** *78* (3), 178-181, doi:https://doi.org/10.1016/j.jhin.2011.01.030.

Aschwanden, D.; Strickhouser, J. E.; Sesker, A. A.; Lee, J. H.; Luchetti, M.; Terracciano, A.; Sutin, A. R., Preventive Behaviors During the COVID-19 Pandemic: Associations With Perceived Behavioral Control, Attitudes, and Subjective Norm. *Front Public Health* **2021,** *9*, 662835-662835, doi:10.3389/fpubh.2021.662835.

Atadil, H. A.; Lu, Q., An investigation of underlying dimensions of customers' perceptions of a safe hotel in the COVID-19 era: effects of those perceptions on hotel selection behavior. *Journal of Hospitality Marketing & Management* **2021,** *30* (6), 655-672, doi:10.1080/19368623.2021.1877588.

Bai, Y.; Yao, L.; Wei, T.; Tian, F.; Jin, D.-Y.; Chen, L.; Wang, M., Presumed asymptomatic carrier transmission of COVID-19. *Jama* **2020,** *323* (14), 1406-1407.

Baluja, A.; Arines, J.; Vilanova, R.; Cortiñas, J.; Bao-Varela, C.; Flores-Arias, M. T., UV light dosage distribution over irregular respirator surfaces. Methods and implications for safety. *medRxiv* **2020**, doi:10.1101/2020.04.07.20057224.

Beck, M. J.; Hensher, D. A., Insights into the impact of COVID-19 on household travel and activities in Australia – The early days under restrictions. *Transport Policy* **2020,** *96*, 76-93, doi:https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.07.001.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Becker, B.; Dabisch-Ruthe, M.; Pfannebecker, J., Inactivation of Murine Norovirus on Fruit and Vegetable Surfaces by Vapor Phase Hydrogen Peroxide. *Journal of Food Protection* **2020,** *83* (1), 45-51.

Becker, H., The effect of betadine on silicone implants. *Plastic and Reconstructive Surgery* **2000,** *105* (4).

Bennett, J. E.; Dolin, R.; Blaser, M. J., Disinfection, Sterilization, and Control of Hospital Waste. In *Mandell, douglas, and bennett's principles and practice of infectious diseases*, 7th ed.; Elsevier Health Sciences: Philadelphia, 2014; Vol. 2, p 3687.

Bilotta, J. J.; Waye, J. D., Hydrogen peroxide enteritis: the "snow white" sign. *Gastrointestinal Endoscopy* **1989,** *35* (5), 428-430, doi:10.1016/S0016-5107(89)72849-2.

Bocci, V., Ozone A new medical drug. 2nd ed.; Springer: New York, 2011; pp 1-4.

Bondurant, S. W.; Duley, C. M.; Harbell, J. W., Demonstrating the persistent antibacterial efficacy of a hand sanitizer containing benzalkonium chloride on human skin at 1, 2, and 4 hours after application. *American Journal of Infection Control* **2019,** *47* (8), 928-932, doi:10.1016/j.ajic.2019.01.004.

Boone, S. A.; Gerba, C. P., Significance of fomites in the spread of respiratory and enteric viral disease. *Appl. Environ. Microbiol.* **2007,** *73* (6), 1687-1696.

Botzenhart, K.; Tarcson, G.; Ostruschka, M., Inactivation of bacteria and coliphages by ozone and chlorine dioxide in a continuous flow reactor. *Water Science and Technology* **1993,** *27* (3-4), 363-370.

Boyce, J. M., Alcohols as surface disinfectants in healthcare settings. *infection control & hospital epidemiology* **2018,** *39* (3), 323-328.

Boyce, J. M.; Havill, N. L.; Lipka, A.; Havill, H.; Rizvani, R., Variations in hospital daily cleaning practices. *Infection control and hospital epidemiology* **2010,** *31* (1), 99.

Bucsky, P., Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* **2020,** *8*, 100141, doi:https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100141.

Cadnum, J. L.; Hurless, K. N.; Kundrapu, S.; Donskey, C. J., Transfer of Clostridium difficile Spores by Nonsporicidal Wipes and Improperly Used Hypochlorite Wipes

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Practice + Product = Perfection. *Infection Control & Hospital Epidemiology* **2013,** *34* (4), 441-442, doi:10.1086/669871.

Carling, P. C.; Briggs, J. L.; Perkins, J.; Highlander, D., Improved cleaning of patient rooms using a new targeting method. *Clinical Infectious Diseases* **2006,** *42* (3), 385-388.

Carling, P. C.; Parry, M. F.; Bruno-Murtha, L. A.; Dick, B., Improving environmental hygiene in 27 intensive care units to decrease multidrug-resistant bacterial transmission. *Critical care medicine* **2010,** *38* (4), 1054-1059.

Castro, L.; Lourenço, F.; Pinto, T., Assessment of biological indicators in the validation of isolator decontamination with hydrogen peroxide. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada* **2011,** *32* (3).

Centers for Disease Control and Prevention. Glossary Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities (2008). https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/glossary.html (accessed May 27, 2020).

Centers for Disease Control Prevention., Chlorine gas release associated with employee language barrier—Arkansas, 2011. *MMWR: Morbidity and mortality weekly report* **2012a,** *61* (48), 981-985.

Centers for Disease Control Prevention. Handwashing and Hand Sanitizer Use at Home, at Play, and Out and About. https://www.cdc.gov/handwashing/pdf/hand-sanitizer-factsheet.pdf (accessed July 17, 2020).

Centers for Disease Control Prevention. Acute Radiation Syndrome: A Fact Sheet for Clinicians. https://www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/pdf/ars.pdf (accessed August 9, 2020).

Centers for Disease Control Prevention. Hand Hygiene Recommendations Guidance for Healthcare Providers about Hand Hygiene and COVID-19. https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/hand-hygiene.html (accessed July 21, 2020).

Cesar, P.; Deenitchin, I.; Pikul, P., Colfax Growth and Exit Strategy. In *presentation prepared as part of independent study under the supervision of Steven Rogers, Evanston*, Kellogg Graduate School of Management: 2005.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Chen, Y.; Chen, L.; Deng, Q.; Zhang, G.; Wu, K.; Ni, L.; Yang, Y.; Liu, B.; Wang, W.; Wei, C., et al., The presence of SARS-CoV-2 RNA in the feces of COVID-19 patients. *Journal of Medical Virology* **2020,** *92* (7), 833-840, doi:10.1002/jmv.25825.

Chowdhury, T.; Mahmud, A.; Barua, A.; Khalil, M.; Chowdhury, R.; Ahamed, F.; Dhar, K., Bacterial contamination on hand touch surfaces of public buses in Chittagong city, Bangladesh. *J Environ Sci Toxicol Food Technol* **2016,** *10* (4), 48-55.

Collins, F. M.; Montalbine, V., Mycobactericidal activity of glutaraldehyde solutions. *Journal of Clinical Microbiology* **1976,** *4* (5), 408-412.

Conceição, T.; Diamantino, F.; Coelho, C.; de Lencastre, H.; Aires-de-Sousa, M., Contamination of Public Buses with MRSA in Lisbon, Portugal: A Possible Transmission Route of Major MRSA Clones within the Community. *PLOS ONE* **2013,** *8* (11), e77812, doi:10.1371/journal.pone.0077812.

Cramer, A.; Plana, D.; Yang, H. L.; Carmack, M.; Tian, E.; Sinha, M. S.; Krikorian, D.; Turner, D.; Mo, J.; Li, J., et al., Analysis of SteraMist ionized hydrogen peroxide technology in the sterilization of N95 respirators and other PPE: a quality improvement study. *medRxiv* **2020**, doi:10.1101/2020.04.19.20069997.

Davis, F. D., Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly* **1989,** *13* (3), 319-340, doi:10.2307/249008.

de Haas, M.; Faber, R.; Hamersma, M., How COVID-19 and the Dutch 'intelligent lockdown' change activities, work and travel behaviour: Evidence from longitudinal data in the Netherlands. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives* **2020,** *6*, 100150, doi:https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100150.

Dreyfus, W., Review of formaldehyde fumigation. *American Journal of Public Health* **1914,** *4* (11), 1046-1049.

Durani, P.; Leaper, D., Povidone–iodine: use in hand disinfection, skin preparation and antiseptic irrigation. *International Wound Journal* **2008,** *5* (3), 376-387.

Dyer, D. L.; Gerenratch, K. B.; Wadhams, P. S., Testing a New Alcohol-Free Hand Sanitizer to Combat Infection. *AORN Journal* **1998,** *68* (2), 239-251, doi:10.1016/S0001-2092(06)62517-9.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ECHA, Assessment report, peracetic acid, regulation (EU) no 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products, evaluation of active substances. European Chemicals Agency Finland: 2015.

Eggers, M.; Koburger-Janssen, T.; Eickmann, M.; Zorn, J., In vitro bactericidal and virucidal efficacy of Povidone-Iodine gargle/mouthwash against respiratory and oral tract pathogens. *Infectious diseases and therapy* **2018,** *7* (2), 249-259.

EU-RAR, Hydrogen peroxide. *European Union Risk Assessment Report, 2nd Priority List* **2003,** *38*, 110-113.

EU-RAR, Phenol. *European Union Risk Assessment Report, 1st Priority List* **2006,** *64*, 84-88.

European Union Risk Assessment Report. Sodium hypochlorite risk asessment report. https://echa.europa.eu/documents/10162/330fee6d-3220-4db1-add3-3df9bbc2e5e5 (accessed August 17, 2020).

First, M. W.; Nardell, E. A.; Chaisson, W.; Riley, R., Guidelines for the application of upper-room ultraviolet germicidal irradiation for preventing transmission of airborne contagion-Part I: Basic principles. *Transactions-American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* **1999,** *105*, 869-876.

Fischer, R.; Morris, D. H.; van Doremalen, N.; Sarchette, S.; Matson, J.; Bushmaker, T.; Yinda, C. K.; Seifert, S.; Gamble, A.; Williamson, B., et al., Assessment of N95 respirator decontamination and re-use for SARS-CoV-2. *medRxiv* **2020**, doi:10.1101/2020.04.11.20062018.

Foarde, K.; VanOsdell, D.; Steiber, R., Investigation of gas-phase ozone as a potential biocide. *Applied occupational and environmental hygiene* **1997,** *12* (8), 535-542.

Fraise, A. P.; Maillard, J.-Y.; Sattar, S. A., *Russell, Hugo & Ayliffe's principles and practice of disinfection, preservation and sterilization*. 5th ed.; John Wiley & Sons: 2013.

Glaeser, E. L.; Kahn, M. E.; Rappaport, J., Why do the poor live in cities? The role of public transportation. *Journal of urban Economics* **2008,** *63* (1), 1-24.

Goldberg, M.; Gustafson, A.; Maibach, E.; van der Linden, S.; Ballew, M. T.; Bergquist, P.; Kotcher, J.; Marlon, J. R.; Rosenthal, S.; Leiserowitz, A., Social norms motivate COVID-19 preventive behaviors. **2020**.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Grand View Research. Hydrogen Peroxide Market Size, Share & Trends Analysis Report By Function (Oxidant, Disinfectant, Bleaching), By Application (Healthcare, Wastewater Treatment), By Region, And Segment Forecasts, 2021 - 2028 2021. https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/hydrogen-peroxide-market.

Grujičić, D.; Ivanović, I.; Jović, J.; Đorić, V., Customer perception of service quality in public transport. *Transport* **2014,** *29* (3), 285-295, doi:10.3846/16484142.2014.951685.

Hall, E. L.; Dietrich, A. M., A brief history of drinking water. *Opflow* **2000,** *26* (6), 46-49.

Han, H.; Al-Ansi, A.; Chua, B.-L.; Tariq, B.; Radic, A.; Park, S.-h., The Post-Coronavirus World in the International Tourism Industry: Application of the Theory of Planned Behavior to Safer Destination Choices in the Case of US Outbound Tourism. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2020,** *17* (18), 6485.

Hao, L.; Wu, J.; Zhang, E.; Yi, Y.; Zhang, Z.; Zhang, J.; Qi, J., Disinfection efficiency of positive pressure respiratory protective hood using fumigation sterilization cabinet. *Biosafety and Health* **2019,** *1* (1), 46-53, doi:10.1016/j.bsheal.2019.02.006.

Hom, C., Public Transportation in a Post-COVID-19 Microbial World. **2020**, doi:10.2139/ssrn.3629192.

Hu, M.; Lin, H.; Wang, J.; Xu, C.; Tatem, A. J.; Meng, B.; Zhang, X.; Liu, Y.; Wang, P.; Wu, G., The risk of COVID-19 transmission in train passengers: an epidemiological and modelling study. *Clinical Infectious Diseases* **2020**, doi:10.1093/cid/ciaa1057.

IARC, Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 88, Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. *pp39-325* **2006**.

International Organization for Standardization. Sterilization of health care products — Biological indicators — Part 1: General requirements 2018. https://www.iso.org/standard/66442.html (accessed July 23, 2021).

Kampf, G.; Todt, D.; Pfaender, S.; Steinmann, E., Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and its inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection* **2020,** *104* (3), 246-251.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kariwa, H.; Fujii, N.; Takashima, I., Inactivation of SARS Coronavirus by Means of Povidone-Iodine, Physical Conditions and Chemical Reagents. *Dermatology* **2006,** *212* (Suppl. 1), 119-123, doi:10.1159/000089211.

Kaske, M. New york mta says federal aid deal avoids 'devastating' cuts. https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-12-21/new-york-mta-says-federal-aid-deal-prevents-devastating-cuts (accessed May 9, 2021).

Kenney, P.; Chan, B. K.; Kortright, K.; Cintron, M.; Havill, N.; Russi, M.; Epright, J.; Lee, L.; Balcezak, T.; Martinello, R., Hydrogen Peroxide Vapor sterilization of N95 respirators for reuse. *medRxiv* **2020**, doi:10.1101/2020.03.24.20041087.

Khanh, N. C.; Thai, P. Q.; Quach, H.-L.; Thi, N.-A. H.; Dinh, P. C.; Duong, T. N.; Mai, L. T. Q.; Nghia, N. D.; Tu, T. A.; Quang, L. N., Transmission of SARS-CoV 2 during long-haul flight. *Emerging infectious diseases* **2020,** *26* (11), 2617.

Klaus, J.; Gnirs, P.; Hölterhoff, S.; Wirtz, A.; Jeglitza, M.; Gaber, W.; Gottschalk, R., Disinfection of aircraft. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* **2016,** *59* (12), 1544-1548.

Kopsidas, A.; Milioti, C.; Kepaptsoglou, K.; Vlachogianni, E. I., How did the COVID-19 pandemic impact traveler behavior toward public transport? The case of Athens, Greece. *Transportation Letters* **2021,** *13* (5-6), 344-352, doi:10.1080/19427867.2021.1901029.

Kratzel, A.; Todt, D.; V'kovski, P.; Steiner, S.; Gultom, M. L.; Thao, T. T. N.; Ebert, N.; Holwerda, M.; Steinmann, J.; Niemeyer, D., Efficient inactivation of SARS-CoV-2 by WHO-recommended hand rub formulations and alcohols. *bioRxiv* **2020**, doi:10.1101/2020.03.10.986711.

Kümin, D.; Albert, M. G.; Weber, B.; Summermatter, K., The hitchhiker's guide to hydrogen peroxide fumigation, part 1: introduction to hydrogen peroxide fumigation. *Applied Biosafety* **2020**, 1535676020921007.

Kümin, D.; Albert, M. G.; Weber, B.; Summermatter, K., The Hitchhiker's Guide to Hydrogen Peroxide Fumigation, Part 2: Verifying and Validating Hydrogen Peroxide Fumigation Cycles. *Applied Biosafety* **2021,** *26* (1), 42-51.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kwok, Y. L. A.; Gralton, J.; McLaws, M.-L., Face touching: A frequent habit that has implications for hand hygiene. *American Journal of Infection Control* **2015,** *43* (2), 112-114, doi:10.1016/j.ajic.2014.10.015.

Lach, V., A study of conventional formaldehyde fumigation methods. *Journal of applied bacteriology* **1990,** *68* (5), 471-477.

Lai, W.-T.; Chen, C.-F., Behavioral intentions of public transit passengers—The roles of service quality, perceived value, satisfaction and involvement. *Transport Policy* **2011,** *18* (2), 318-325, doi:https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.09.003.

Lauer, S. A.; Grantz, K. H.; Bi, Q.; Jones, F. K.; Zheng, Q.; Meredith, H. R.; Azman, A. S.; Reich, N. G.; Lessler, J., The Incubation Period of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) From Publicly Reported Confirmed Cases: Estimation and Application. *Annals of Internal Medicine* **2020,** *172* (9), 577-582.

Leitch, C.; Leitch, A.; Tidman, M., Quantitative evaluation of dermatological antiseptics. *Clinical and experimental dermatology* **2015,** *40* (8), 912-915.

Levenson, J. E., Corneal damage from improperly cleaned tonometer tips. *Archives of Ophthalmology* **1989,** *107* (8), 1117-1117.

Liu, Y.; Gayle, A. A.; Wilder-Smith, A.; Rocklöv, J., The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of travel medicine* **2020,** *27* (2), doi:10.1093/jtm/taaa021.

Lowe, J. J.; Paladino, K. D.; Farke, J. D.; Boulter, K.; Cawcutt, K.; Emodi, M.; Gibbs, S.; Hankins, R.; Hinkle, L.; Micheels, T., N95 filtering facepiece respirator ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) process for decontamination and reuse. *Nebraska Medicine* **2020**.

Luksamijarulkul, P.; Sundhiyodhin, V.; Luksamijarulkul, S.; Kaewboonchoo, O., Microbial air quality in mass transport buses and work-related illness among bus drivers of Bangkok Mass Transit Authority. *Journal of the Medical Association of Thailand= Chotmaihet Thangphaet* **2004,** *87* (6), 697-703.

Luo, K.; Lei, Z.; Hai, Z.; Xiao, S.; Rui, J.; Yang, H.; Jing, X.; Wang, H.; Xie, Z.; Luo, P. In *Transmission of SARS-CoV-2 in Public Transportation Vehicles: A Case Study in Hunan Province, China*, Open forum infectious diseases, Oxford University Press US: 2020; p ofaa430.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Lutz, J. K.; Van Balen, J.; Mac Crawford, J.; Wilkins III, J. R.; Lee, J.; Nava-Hoet, R. C.; Hoet, A. E., Methicillin-resistant Staphylococcus aureus in public transportation vehicles (buses): another piece to the epidemiologic puzzle. *American journal of infection control* **2014,** *42* (12), 1285-1290.

Malik, R. E.; Cooper, R. A.; Griffith, C. J., Use of audit tools to evaluate the efficacy of cleaning systems in hospitals. *American Journal of Infection Control* **2003,** *31* (3), 181-187, doi:https://doi.org/10.1067/mic.2003.34.

Mangili, A.; Gendreau, M. A., Transmission of infectious diseases during commercial air travel. *The Lancet* **2005,** *365* (9463), 989-996, doi:10.1016/S0140-6736(05)71089-8.

Masotti, F.; Vallone, L.; Ranzini, S.; Silvetti, T.; Morandi, S.; Brasca, M., Effectiveness of air disinfection by ozonation or hydrogen peroxide aerosolization in dairy environments. *Food Control* **2019,** *97*, 32-38, doi:https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.10.022.

Mbithi, J. N.; Springthorpe, V. S.; Sattar, S. A., Chemical disinfection of hepatitis A virus on environmental surfaces. *Appl. Environ. Microbiol.* **1990,** *56* (11), 3601-3604.

McDevitt, J. J.; Rudnick, S. N.; Radonovich, L. J., Aerosol Susceptibility of Influenza Virus to UV-C Light. *Applied and Environmental Microbiology* **2012,** *78* (6), 1666-1669, doi:10.1128/aem.06960-11.

McDonnell, G. E., *Antisepsis, disinfection, and sterilization*. 2nd ed.; ASM Press: Washington DC, 2017a; p 97-99.

McDonnell, G. E., Physical Disinfection. In *Antisepsis,disinfection, and sterilization: types, action, and resistance*, 2nd ed.; ASM Press: Washington, DC, 2017b; pp 61-77.

McKeen, L., 1 - Introduction to Food Irradiation and Medical Sterilization. In *The Effect of Sterilization on Plastics and Elastomers*, 3rd ed.; William Andrew Publishing: Boston, 2012; p 25.

Mehmet, S. News coronavirus support for uk buses and trams extended to £700 million. https://www.intelligenttransport.com/transport-news/103814/coronavirus-support-for-uk-buses-and-trams-extended-to-700-million/ (accessed May 9, 2021).

Melly, E.; Cowan, A.; Setlow, P., Studies on the mechanism of killing of Bacillus subtilis spores by hydrogen peroxide. *Journal of Applied Microbiology* **2002,** *93* (2), 316-325.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Melo, E. F.; McElreath, J. S.; Wilson, J. L.; Lara, L. J. C.; Cox, N. A.; Jordan, B. J., Effects of a dry hydrogen peroxide disinfection system used in an egg cooler on hatchability and chick quality. *Poultry Science* **2020**, doi:10.1016/j.psj.2020.05.050.

Merchel, P. P. B.; Tagkopoulos, I., Benzalkonium chlorides: uses, regulatory status, and microbial resistance. *Applied and environmental microbiology* **2019,** *85* (13).

Merlin, M. A.; Wong, M. L.; Pryor, P. W.; Rynn, K.; Marques-Baptista, A.; Perritt, R.; Stanescu, C. G.; Fallon, T., Prevalence of methicillin-resistant Staphylococcus aureus on the stethoscopes of emergency medical services providers. *Prehospital Emergency Care* **2009,** *13* (1), 71-74.

Mills, D.; Harnish, D. A.; Lawrence, C.; Sandoval-Powers, M.; Heimbuch, B. K., Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American Journal of Infection Control* **2018,** *46* (7), e49-e55, doi:10.1016/j.ajic.2018.02.018.

Nuland, S. B., The enigma of Semmelweis—an interpretation. *Journal of the history of medicine and allied sciences* **1979,** *34* (3), 255-272.

O'Hare, K. D.; Spedding, P. L., Evaporation of a binary liquid mixture. *The Chemical Engineering Journal* **1992,** *48* (1), 1-9, doi:10.1016/0300-9467(92)85001-P.

Obodovskiy, I., Radiation Sterilization. In *Radiation*, Obodovskiy, I., Ed. Elsevier: 2019; pp 373-378.

Occupational Safety and Health Administration Permissible Exposure Limits 2020. https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html (accessed April 13, 2021).

Occupational Safety and Health Administration. Permissible Exposure Limits 2020. https://www.osha.gov/dsg/annotated-pels/tablez-1.html (accessed August 17, 2020).

Omidbakhsh, N.; Sattar, S. A., Broad-spectrum microbicidal activity, toxicologic assessment, and materials compatibility of a new generation of accelerated hydrogen peroxide-based environmental surface disinfectant. *American Journal of Infection Control* **2006,** *34* (5), 251-257, doi:10.1016/j.ajic.2005.06.002.

Otter, J. A.; Havill, N. L.; Boyce, J. M., Hydrogen Peroxide Vapor Is Not the Same as Aerosolized Hydrogen Peroxide. *Infection Control & Hospital Epidemiology* **2010,** *31* (11), 1201-1202.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Otter, J. A.; Yezli, S.; Barbut, F.; Perl, T. M., An overview of automated room disinfection systems: When to use them and how to choose them. *Decontamination in Hospitals and Healthcare* **2020**, 323-369, doi:10.1016/B978-0-08-102565-9.00015-7.

Pelletier, J.; Tessema, B.; Westover, J.; Frank, S.; Brown, S.; Capriotti, J., In Vitro Efficacy of Povidone-Iodine Nasal And Oral Antiseptic Preparations Against Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus 2 (SARS-CoV-2). *medRxiv* **2020**, doi:10.1101/2020.05.25.20110239.

Pookkaman, N.; Sripradit, A., Knowledge, Understanding and preparation of Employee in Thailand towards Prevention and Control of Novel Coronavirus 2019 (COVID-19). *Journal of Legal Entity Management and Local Innovation* **2020,** *6* (5).

Porter, M. E., How Competitive Forces Shape Strategy. *Harvard Business Review* **1979,** *57* (2), 137-145.

Price, P. B., Ethyl alcohol as a germicide. *Archives of Surgery* **1939,** *38* (3), 528-542.

Price, P. B., Reevaluation of ethyl alcohol as a germicide. *Archives of Surgery* **1950,** *60* (3), 492-502, doi:10.1001/archsurg.1950.01250010511006.

Przybylowski, A.; Stelmak, S.; Suchanek, M., Mobility Behaviour in View of the Impact of the COVID-19 Pandemic—Public Transport Users in Gdansk Case Study. *Sustainability* **2021,** *13* (1), 364.

Ratanawaraha, A.; Chalermpong, S., How the Poor Commute in Bangkok, Thailand. *Transportation research record* **2016,** *2568* (1), 83-89.

Reimer, K.; Wichelhaus, T. A.; Schafer, V.; Rudolph, P.; Kramer, A.; Wutzler, P.; Ganzer, D.; Fleischer, W., Antimicrobial effectiveness of povidone-iodine and consequences for new application areas. *Dermatology* **2002,** *204*, 114-120, doi:10.1159/000057738.

Rice, R. G.; Robson, C. M.; Miller, G. W.; Hill, A. G., Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal - American Water Works Association* **1981,** *73* (1), 44-57.

Roberts, C. G., Hydrogen Peroxide Vapor and Aerosol Room Decontamination Systems. *Infection Control & Hospital Epidemiology* **2012,** *33* (3), 312-312, doi:10.1086/664043.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Roman, A. Bus operations 'innovate' to earn awards *Metro for Transit and Motorcoach Business* [Online], 2020, p. 20. https://www.metro-magazine.com/issues/2020-10.

Rossington, K., The science of chlorine-based disinfectant. *Cleanroom technology* **2013,** *21* (12), 30-32.

Russell, A., Similarities and differences in the responses of microorganisms to biocides. *Journal of antimicrobial chemotherapy* **2003,** *52* (5), 750-763.

Rutala, W. A.; Weber, D. J., Gastrointestinal Endoscopes: A Need to Shift From Disinfection to Sterilization? *JAMA* **2014a,** *312* (14), 1405-1406, doi:10.1001/jama.2014.12559.

Rutala, W. A.; Weber, D. J., Selection of the Ideal Disinfectant. *Infection Control & Hospital Epidemiology* **2014b,** *35* (7), 855-865, doi:10.1086/676877.

Rutala, W. A.; Weber, D. J., Disinfection, sterilization, and antisepsis: An overview. *American Journal of Infection Control* **2016,** *44* (5, Supplement), e1-e6, doi:10.1016/j.ajic.2015.10.038.

Sattar, S. A.; Springthorpe, V. S.; Karim, Y.; Loro, P., Chemical disinfection of non-porous inanimate surfaces experimentally contaminated with four human pathogenic viruses. *Epidemiology and Infection* **1989,** *102* (3), 493-505, doi:10.1017/S0950268800030211.

Schultz, R. L.; Slevin, D. P., *Implementation and Organizational Validity: An Empirical Investigation*. Krannert Graduate School of Industrial Administration, Purdue University: 1975.

Schwartz, A.; Stiegel, M.; Greeson, N.; Vogel, A.; Thomann, W.; Brown, M.; Sempowski, G. D.; Alderman, T. S.; Condreay, J. P.; Burch, J., et al., Decontamination and Reuse of N95 Respirators with Hydrogen Peroxide Vapor to Address Worldwide Personal Protective Equipment Shortages During the SARS-CoV-2 (COVID-19) Pandemic. *Applied Biosafety* **2020,** *25* (2), 67-70, doi:10.1177/1535676020919932.

Sehulster, L.; Chinn, R. Y. W.; Arduino, M.; Carpenter, J.; Donlan, R.; Ashford, D.; Besser, R.; B., F.; McNeil, M. M.; Whitney, C., et al., Guidelines for environmental infection control in health-care facilities; recommendations of CDC and Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). **2003**.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Shaffstall, R. M.; Garner, R. P.; Bishop, J.; Cameron-Landis, L.; Eddington, D. L.; Hau, G.; Spera, S.; Mielnik, T.; Thomas, J. A. *Vaporized hydrogen peroxide (VHP) decontamination of a section of a Boeing 747 cabin Final Report*; Federal Aviation Administration, Office of Aerospace Medicine: Washington, D.C, 2006.

Shen, Y.; Li, C.; Dong, H.; Wang, Z.; Martinez, L.; Sun, Z.; Handel, A.; Chen, Z.; Chen, E.; Ebell, M. H., et al., Community Outbreak Investigation of SARS-CoV-2 Transmission Among Bus Riders in Eastern China. *JAMA Internal Medicine* **2020**, doi:10.1001/jamainternmed.2020.5225.

Shin, H.; Kang, J., Reducing perceived health risk to attract hotel customers in the COVID-19 pandemic era: Focused on technology innovation for social distancing and cleanliness. *International Journal of Hospitality Management* **2020,** *91*, 102664, doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102664.

Simões, R. R.; Aires-de-Sousa, M.; Conceição, T.; Antunes, F.; da Costa, P. M.; de Lencastre, H., High Prevalence of EMRSA-15 in Portuguese Public Buses: A Worrisome Finding. *PLOS ONE* **2011,** *6* (3), e17630, doi:10.1371/journal.pone.0017630.

Siramaneerat, I., Perceptions, knowledge and self-defense behaviors regarding COVID-19 among employees at Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand. *Journal of Health Research* **2021**.

Song, Y.; Annous, B. A.; Fan, X., Cold plasma-activated hydrogen peroxide aerosol on populations of Salmonella Typhimurium and Listeria innocua and quality changes of apple, tomato and cantaloupe during storage - A pilot scale study. *Food Control* **2020,** *117*, 107358, doi:10.1016/j.foodcont.2020.107358.

Sookaromdee, P.; Wiwanitkit, V., Imported cases of 2019-novel coronavirus (2019-nCoV) infections in Thailand: Mathematical modelling of the outbreak. *Asian Pac J Trop Med* **2020,** *13* (3), 139-140.

Stiefel, U.; Cadnum, J. L.; Eckstein, B. C.; Guerrero, D. M.; Tima, M. A.; Donskey, C. J., Contamination of hands with methicillin-resistant Staphylococcus aureus after contact with environmental surfaces and after contact with the skin of colonized patients. *Infection Control & Hospital Epidemiology* **2011,** *32* (2), 185-187.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Stratistics Market Research Consulting. Surface Disinfectants - Global Market Outlook (2020-2028) 2021. https://www.strategymrc.com/report/surface-disinfectants-market (accessed August 5, 2021).

Swanberg, J. E.; Nichols, H. M.; Perry-Jenkins, M., Working on the frontlines in US hospitals: Scheduling challenges and turnover intent among housekeepers and dietary service workers. *Journal of Hospital Administration* **2016,** *5* (4), 76-86.

Sze To, G. N.; Wan, M. P.; Chao, C. Y. H.; Fang, L.; Melikov, A., Experimental study of dispersion and deposition of expiratory aerosols in aircraft cabins and impact on infectious disease transmission. *Aerosol Science and Technology* **2009,** *43* (5), 466-485.

Teixeira, A. A.; Risola, B. M.; Dias-Netto, H. P.; de Andrade, M. S.; Valente, E.; Nielebock, M. A. P.; Sangenis, L. H. C., Effectiveness of alcohol gel for the disinfection of stethoscopes contaminated with methicillin-resistant Staphylococcus aureus. *Revista De Epidemiologia E Controle De Infeccao* **2015,** *5* (4), 187-190, doi:10.17058/reci.v5i4.6059.

Troko, J.; Myles, P.; Gibson, J.; Hashim, A.; Enstone, J.; Kingdon, S.; Packham, C.; Amin, S.; Hayward, A.; Van-Tam, J. N., Is public transport a risk factor for acute respiratory infection? *BMC infectious diseases* **2011,** *11* (1), 1-6.

Tseng, C.-C.; Li, C.-S., Inactivation of viruses on surfaces by ultraviolet germicidal irradiation. *Journal of occupational and environmental hygiene* **2007,** *4* (6), 400-405.

Tucker, R. C.; Lestini, B. J.; Marchant, R. E., Surface analysis of clinically used expanded PTFE endoscopic tubing treated by the STERIS PROCESS. *ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs: 1992)* **1996,** *42* (4), 306-313.

Tyler, R.; Ayliffe, G.; Bradley, C., Virucidal activity of disinfectants: studies with the poliovirus. *Journal of Hospital Infection* **1990,** *15* (4), 339-345.

U.S. Food and Drug Administration. Biological indicator (bi) premarket notification [510(k)] submissions 2007. https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/biological-indicator-bi-premarket-notification-510k-submissions (accessed May 16, 2021).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

U.S. Food and Drug Administration. FDA-Cleared Sterilants and High Level Disinfectants with General Claims for Processing Reusable Medical and Dental Devices. https://www.fda.gov/medical-devices/reprocessing-reusable-medical-devices-information-manufacturers/fda-cleared-sterilants-and-high-level-disinfectants-general-claims-processing-reusable-medical-and (accessed May 29, 2020).

Ukuku, D. O., Effect of hydrogen peroxide treatment on microbial quality and appearance of whole and fresh-cut melons contaminated with Salmonella spp. *International Journal of Food Microbiology* **2004,** *95* (2), 137-146, doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.01.021.

Unger-Bimczok, B.; Kottke, V.; Hertel, C.; Rauschnabel, J., The influence of humidity, hydrogen peroxide concentration, and condensation on the inactivation of Geobacillus stearothermophilus spores with hydrogen peroxide vapor. *Journal of Pharmaceutical Innovation* **2008,** *3* (2), 123-133, doi:10.1007/s12247-008-9027-1.

van den Berg, R. W. A.; Claahsen, H. L.; Niessen, M.; Muytjens, H. L.; Liem, K.; Voss, A., Enterobacter cloacae outbreak in the NICU related to disinfected thermometers. *Journal of Hospital Infection* **2000,** *45* (1), 29-34, doi:10.1053/jhin.1999.0657.

Van Doremalen, N.; Bushmaker, T.; Morris, D. H.; Holbrook, M. G.; Gamble, A.; Williamson, B. N.; Tamin, A.; Harcourt, J. L.; Thornburg, N. J.; Gerber, S. I., Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England journal of medicine* **2020,** *382* (16), 1564-1567.

Vanhecke, P.; Sigwarth, V.; Moirandat, C., A potent and safe H2O2 fumigation approach. *PDA journal of pharmaceutical science and technology* **2012,** *66* (4), 354-370.

Verified Market Research. Surface Disinfectant Market By Formulation (Liquid, Sprays, and Wipes), By Type (Quaternary Ammonium Compounds, Chlorhexidine Gluconate, Phenolic Compounds, Alcohols, Aldehydes, and Other Surface Disinfectant), By Application (In-House Applications, Instrument Disinfection, and Others), By End User (Hospitals, Clinical Laboratories, Pharmaceutical Companies, and Others), By Geographic Scope And Forecast 2021. https://www.verifiedmarketresearch.com/product/surface-disinfectant-market/ (accessed August 6, 2021).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Wilkinson, M. A. C.; Ormandy, K.; Bradley, C. R.; Hines, J., Comparison of the efficacy and drying times of liquid, gel and foam formats of alcohol-based hand rubs. *Journal of Hospital Infection* **2018,** *98* (4), 359-364, doi:10.1016/j.jhin.2017.09.024.

Wood, A.; Payne, D., The action of three antiseptics/disinfectants against enveloped and non-enveloped viruses. *Journal of Hospital Infection* **1998,** *38* (4), 283-295.

World Health Organization. Decontamination and reprocessing of medical devices for health-care facilities 2016. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250232/9789241549851-eng.pdf (accessed July 22,2021).

World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum. 2017. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/254637/1/9789241549950-eng.pdf?ua=1 (accessed July 12, 2020).

World Health Organization. Essential environmental health standards in health care. Geneva 2020a. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/ehs_hc/en/ (accessed January 11, 2021).

World Health Organization. Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus: interim guidance 2020b. https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1275547/retrieve (accessed July 12, 2020).

World Health Organization. Weekly Operational Update on COVID-19 2020c. https://www.who.int/publications/m/item/weekly-operational-update-on-covid-19---7-december-2020 (accessed December 7, 2020).

World Health Organization. WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19-11 March 2020 *Geneva, Switzerland* [Online], 2020d. https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020 (accessed May 15, 2020).

Xiao, F.; Sun, J.; Xu, Y.; Li, F.; Huang, X.; Li, H.; Zhao, J.; Huang, J.; Zhao, J., Infectious SARS-CoV-2 in feces of patient with severe COVID-19. *Emerging infectious diseases* **2020,** *26* (8), doi:10.3201/eid2608.200681.

Xu, P.; Peccia, J.; Fabian, P.; Martyny, J. W.; Fennelly, K. P.; Hernandez, M.; Miller, S. L., Efficacy of ultraviolet germicidal irradiation of upper-room air in inactivating airborne bacterial spores and mycobacteria in full-scale studies. *Atmospheric Environment* **2003,** *37* (3), 405-419.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Yang, N.; Shen, Y.; Shi, C.; Ma, A. H. Y.; Zhang, X.; Jian, X.; Wang, L.; Shi, J.; Wu, C.; Li, G., et al., In-flight transmission cluster of COVID-19: a retrospective case series. *Infectious Diseases* **2020,** *52* (12), 891-901, doi:10.1080/23744235.2020.1800814.

Yasri, S.; Wiwanitkit, V., Public Tourist Bus, Tourist Bus Driver, and COVID‐19 Infection: A Note. *International Journal of Preventive Medicine* **2020,** *11* (7).

Yeo, C.; Kaushal, S.; Yeo, D., Enteric involvement of coronaviruses: is faecal–oral transmission of SARS-CoV-2 possible? *The lancet Gastroenterology & hepatology* **2020,** *5* (4), 335-337.

Yoo, J.-H., Review of disinfection and sterilization–back to the basics. *Infection & chemotherapy* **2018,** *50* (2), 101-109.

Yu, J.; Seo, J.; Hyun, S. S., Perceived hygiene attributes in the hotel industry: customer retention amid the COVID-19 crisis. *International Journal of Hospitality Management* **2021,** *93*, 102768, doi:https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102768.

Zamudio, C.; Krapp, F.; Choi, H. W.; Shah, L.; Ciampi, A.; Gotuzzo, E.; Heymann, J.; Seas, C.; Brewer, T. F., Public transportation and tuberculosis transmission in a high incidence setting. *PLoS One* **2015,** *10* (2), e0115230.

Zemke, D. M. V.; Neal, J.; Shoemaker, S.; Kirsch, K., Hotel cleanliness: will guests pay for enhanced disinfection? *International Journal of Contemporary Hospitality Management* **2015,** *27* (4), 690-710, doi:10.1108/IJCHM-01-2014-0020.

Zhou, F.; Yu, T.; Du, R.; Fan, G.; Liu, Y.; Liu, Z.; Xiang, J.; Wang, Y.; Song, B.; Gu, X., et al., Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet* **2020,** *395* (10229), 1054-1062, doi:10.1016/S0140-6736(20)30566-3.

กรมการขนส่งทางบก. รายงานสถิติการขนส่งประจำปี 2563 2563. Downloads\Documents\885dbce3365620863daedce218fbd47e7452dc678ba392188ff2f9f8614e30a8.pdf (accessed August 8, 2021).

กรมพัฒนาธุรกิจการค้า. ธุรกิจบริการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ บทวิเคราะห์ธุรกิจ ประจำเดือนสิงหาคม 2563 2020. https://www.dbd.go.th/download/document_file/Statisic/2563/T26/T26_202008.pdf.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กรมอนามัย, ประกาศกรมอนามัย เรื่อง แนวทางปฏิบัติการรักษาทางทันตกรรมในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรค COVID-19. 2563.

กระทรวงสาธารณสุข, ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 412) พ.ศ. 2562 ออกตามความในพระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ. 2522 เรื่อง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหรือฆ่าเชื้อที่ใช้สำหรับอาหาร. 2562.

กระทรวงสาธารณสุข, แนวทางปฏิบัติด้านสาธารณสุข เพื่อการจัดการภาวะระบาดของโรคโควิด-19 ในข้อกำหนดออกตามความในมาตรา 9 แห่งพระราชกำหนดการบริหารราชการในสถานการณ์ฉุกเฉิน พ.ศ. 2548. 2563a.

กระทรวงสาธารณสุข, ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดลักษณะของเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์เพื่อสุขอนามัยสำหรับมือที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือขาย. 2563b.

พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. ๒๕๔๑., กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับรังสีชนิดก่อไอออน พ.ศ. ๒๕๔๗.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

รายละเอียดเครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์วีคิว 20 (VQ20)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ วีคิว20 (VQ20)

ตารางแสดงรายละเอียดเครื่องพ่นละอองวีคิว 20

รายละเอียด	หน่วย	วีคิว20
ขนาด กว้าง x ยาว x สูง (Unit Dimension)	mm	335 x 400 x 500
น้ำหนัก (Weight)	Kg	15
ไฟฟ้า (Voltage)	VAc 50/60Hz	220
แอมแปร์ (Amperage)	Amax	5
อุณภูมิการทำงาน (Operating Temperature)	°C	5 - 40
ความจุน้ำยา (Tank Capacity)	mL	1000
อัตราการผลิตละออง (Aerosol Generation Rate)	mL/min	20
ขนาดละออง (Particle Size)	micrometer (μm)	1 – 8 Average Particle Size 5
ความถี่ของคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Frequency)	MHz	1.7
จำนวนหัวอัลตราโซนิก (Number of Ultrasonic Heads)	Head	10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

แบบสอบถามปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถประจำทางสาธารณะที่สะอาดและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสำรวจปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ

บทนำ

ขอเรียนเชิญท่านเข้าร่วมในการวิจัย
เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะและความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารสำหรับใช้บริการรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่ได้รับการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ
ในการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ ท่านจะต้องมีอายุ 18 ปีขึ้นไปและมีสัญชาติไทย

สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ต้องการผู้เข้าจำนวน 425 คน หากท่านยินดีที่จะเข้าร่วมการวิจัย
ท่านจะต้องตอบแบบสอบถาม 1 ชุด ตอบเพียงครั้งเดียว ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 10-15 นาที
โดยแบบสอบถามครอบคลุมปัจจัยที่ประเมินทั้งหมด 8 ด้านได้แก่

1. ความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย
2. ทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย
3. บรรทัดฐานทางสังคม
4. การรับรู้ความสามารถตนเอง
5. การรับรู้ความเสี่ยง
6. การรับรู้ผลประโยชน์จากการเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ
7. ความตั้งใจในการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด
8. ความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารส่วนเพิ่ม

การเข้าร่วมการตอบแบบสอบถามนี้เป็นไปด้วยความสมัครใจของท่าน
โดยข้อมูลของท่านจะถูกเก็บไว้เป็นความลับสูงสุด โดยข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้วิเคราะห์ในภาพรวม
หากท่านรู้สึกไม่ประสงค์จะตอบแบบสอบถามต่อในขณะที่ทำอยู่
ท่านสามารถถอนตัวได้ทุกเมื่อโดยไม่จำเป็นต้องแจ้งแก่ผู้วิจัย
และหากท่านได้ตอบแบบสอบถามเสร็จสิ้นแล้วแต่ไม่ประสงค์จะให้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลของท่าน
ท่านสามารถติดต่อผู้วิจัยได้ตลอดเวลา ที่ นาย อัฐพล อรุณวุฒิพงศ์ หรือผ่าน อีเมล attapol19@hotmail.com

ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณที่ท่านได้สละเวลาร่วมตอบแบบสอบถาม มา ณ.ที่นี้

หมายเหตุ : นิยามศัพท์

- **รถโดยสารประจำทางสาธารณะ หมายถึง**
  รถโดยสารประจำทางที่ใช้ในการขนส่งผู้โดยสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง ที่เดินทางตามทางที่กำหนดไว้ และเรียกเก็บค่าโดยสารเป็นรายคนตามอัตราที่ใช้เป็นระยะทางหรือตลอดทาง เช่น รถเมล์ รถทัวร์ รถตู้ รถไฟ รถไฟฟ้า รถไฟใต้ดิน

- **การเพิ่มประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ (enhanced disinfection) หมายถึง การทำการฆ่าเชื้อพื้นผิว**
  โดยวิธีพิเศษที่นอกเหนือจากการทำการฆ่าเชื้อด้วยวิธีเช็ดถูตามปกติ ในการศึกษานี้
  ใช้วิธีการพ่นฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ แบคทีเรีย ไวรัส รา และสปอร์ และมีความปลอดภัย

ภาพแสดงการพ่นฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถทัวร์

1. ท่านยินยอมให้ข้อมูลโดยการตอบแบบสอบถามหรือไม่

- [ ] ยินยอม
- [ ] ไม่ยินยอม

ตอนที่ 1 : ข้อมูลส่วนบุคคล

* 2. เพศ

- ◯ ชาย
- ◯ หญิง
- ◯ อื่นๆ

* 3. อายุ (ปี)

- ◯ น้อยกว่า 18
- ◯ 18-22
- ◯ 23-34
- ◯ 35-44
- ◯ 45-54
- ◯ 55-60
- ◯ 60 ปีขึ้นไป

* 4. สถานภาพสมรส

- ◯ โสด
- ◯ สมรส
- ◯ หม้าย
- ◯ หย่าร้าง
- ◯ แยกกันอยู่

* 5. ระดับการศึกษาสูงสุดที่ท่านสำเร็จการศึกษา หรือ กำลังศึกษาอยู่

- ◯ ต่ำกว่าปริญญาตรี
- ◯ ปริญญาตรี/เทียบเท่า
- ◯ ปริญญาโท
- ◯ ปริญญาเอก

* 6. อาชีพ

- ◯ นักเรียน/นักศึกษา
- ◯ ข้าราชการ/รัฐวิสาหกิจ
- ◯ พนักงานบริษัทเอกชน
- ◯ อาชีพอิสระ/ค้าขาย
- ◯ รับจ้างทั่วไป
- ◯ เกษตรกรรม/ประมง
- ◯ เกษียณ/ว่างงาน
- ◯ ธุรกิจส่วนตัว
- ◯ อื่น ๆ (โปรดระบุ)

* 7. รายได้ต่อเดือนโดยเฉลี่ย

- ◯ น้อยกว่า 9,000 บาท
- ◯ 9,001 - 15,000 บาท
- ◯ 15,001 - 30,000 บาท
- ◯ 30,001 - 60,000 บาท
- ◯ 60,001 - 100,000 บาท
- ◯ 100,001 บาทขึ้นไป

* 8. ท่านมียานพาหนะส่วนตัวหรือไม่

- ◯ มี
- ◯ ไม่มี

* 9. ท่านมีใบอนุญาตขับขี่หรือไม่

- มี
- ไม่มี

* 10. ท่านเคยเดินทางโดยรถโดยสารประจำทางสาธารณะ ใช่หรือไม่

- ใช่
- ไม่ใช่

* 11. ปัจจุบันท่านอาศัยอยู่ในจังหวัด

- กรุงเทพมหานคร
- ชลบุรี
- สงขลา
- นครราชสีมา
- เชียงใหม่
- จังหวัดอื่น ๆ (โปรดระบุ)
- นครปฐม
- สุราษฎร์ธานี
- ปทุมธานี
- ขอนแก่น
- นนทบุรี

ปัจจัยด้านความรู้เกี่ยวกับความสะอาดและสุขอนามัย

* 12. ท่านคิดว่าข้อความต่อไปนี้เป็นจริง ใช่หรือไม่

	ใช่	ไม่ใช่
เชื้อโรคบางชนิดสามารถอยู่ในอากาศและบนพื้นผิวได้นานหลายชั่วโมงหรือหลายวัน	◯	◯
ท่านสามารถเป็นตัวกลางแพร่เชื้อโรคสู่สิ่งแวดล้อมได้โดยที่ท่านไม่มีอาการป่วย	◯	◯
การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อพื้นผิวโดยเฉพาะบริเวณที่สัมผัสบ่อย เช่น มือจับประตู ราวพักแขน เบาะที่นั่ง สามารถลดความเสี่ยงในการติดเชื้อได้	◯	◯

ปัจจัยด้านทัศนคติต่อความสะอาดและสุขอนามัย

* 13. ท่านเห็นด้วยกับข้อความด้านล่างนี้มากน้อยแค่ไหน

	1 ไม่เห็นด้วยอย่างมาก	2 ไม่เห็นด้วย	3 เฉยๆ	4 เห็นด้วย	5 เห็นด้วยอย่างมาก
สำหรับท่าน การทำความสะอาดและฆ่าเชื้อของรถโดยสารประจำทางสาธารณะเป็นสิ่งที่จำเป็น	◯	◯	◯	◯	◯
สำหรับท่าน การเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด เป็นสิ่งที่จำเป็น	◯	◯	◯	◯	◯

ปัจจัยด้านบรรทัดฐานทางสังคม

* 14. โปรดทำเครื่องหมายในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่านที่สุด

	1 น้อยมาก	2 น้อย	3 ปานกลาง	4 มาก	5 มากที่สุด
คนในครอบครัวของท่านคิดว่าความสะอาดของรถโดยสารประจำทางสาธารณะเป็นสิ่งที่จำเป็น	○	○	○	○	○
เพื่อนๆของท่านคิดว่าความสะอาดของรถโดยสารประจำทางสาธารณะ เป็นเรื่องที่จำเป็น	○	○	○	○	○
โดยทั่วไปท่านทำตามความต้องการในสิ่งที่ครอบครัวของท่านประสงค์ให้ท่านทำมากน้อยแค่ไหน	○	○	○	○	○

ปัจจัยด้านการรับรู้ความสามารถตนเอง

* 15. โปรดทำเครื่องหมายในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่านที่สุด

	1 น้อยมาก	2 น้อย	3 ปานกลาง	4 มาก	5 มากที่สุด
เมื่อท่านต้องการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะ ท่านสามารถเลือกเดินทางด้วยรถที่สะอาดได้	○	○	○	○	○
ท่านมีความมั่นใจว่าท่านสามารถเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาดได้	○	○	○	○	○

ปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงต่อการใช้รถโดยสารประจำทางสาธารณะ

* 16. โปรดทำเครื่องหมายในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่านที่สุด

	1 น้อยมาก	2 น้อย	3 ปานกลาง	4 มาก	5 มากที่สุด
การเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะมีความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพ	○	○	○	○	○
การเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะ มีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยโรคทางเดินหายใจ	○	○	○	○	○
ท่านมีความกังวลถึงอันตรายต่อสุขภาพของท่าน เมื่อเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะ	○	○	○	○	○

การรับรู้ประโยชน์ของการพ่นฆ่าเชื้อในรถโดยสารประจำทางสาธารณะ

* 17. โปรดทำเครื่องหมายในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่านที่สุด

	1 น้อยมาก	2 น้อย	3 ปานกลาง	4 มาก	5 มากที่สุด
ท่านคิดว่าการพ่นฆ่าเชื้อในรถโดยสารประจำทางสาธารณะ เป็นสิ่งที่จำเป็น	○	○	○	○	○
รถโดยสารประจำทางสาธารณะที่พ่นฆ่าเชื้อเป็นการเพิ่มคุณภาพการบริการที่ดีแก่ผู้โดยสาร	○	○	○	○	○

ปัจจัยด้านความตั้งใจในการใช้รถโดยประจำทางสาธารณะ

* 18. โปรดทำเครื่องหมายในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่านที่สุด

	1 น้อยมาก	2 น้อย	3 ปานกลาง	4 มาก	5 มากที่สุด
ท่านมีความตั้งใจที่จะเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะ	○	○	○	○	○
ท่านมีความตั้งใจที่จะเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่สะอาด	○	○	○	○	○
ท่านจะเลือกเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่พ่นยาฆ่าเชื้อมากกว่า รถที่ไม่ได้พ่นยาฆ่าเชื้อ	○	○	○	○	○

ปัจจัยด้านความเต็มใจในการจ่ายค่าโดยสารเพิ่มขึ้น

* 19. โปรดทำเครื่องหมายในช่องที่ตรงกับความเห็นของท่านที่สุด

	1 น้อยมาก	2 น้อย	3 ปานกลาง	4 มาก	5 มากที่สุด
ท่านยินดีในการจ่ายค่าโดยสารเพิ่มขึ้น หากต้องการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสาธารณะที่พ่นยาฆ่าเชื้อ	○	○	○	○	○

* 20. หากท่านต้องการเดินด้วยรถทัวร์จากกรุงเทพไปต่างจังหวัด ท่านยินดีจ่ายค่าโดยสารเพิ่มขึ้นเท่าใด จากราคาค่าโดยสารปกติ 270 บาท สำหรับรถที่ได้รับการพ่นฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

21. ข้อเสนอแนะอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค

ช่วงเวลาของการพัฒนาเทคโนโลยีระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะ ด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

(Timeline of technology development by technology readiness levels)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับการพัฒนาเทคโนโลยีระบบฆ่าเชื้อในรถขนส่งสาธารณะด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

	การพัฒนาความรู้และวิจัยพื้นฐาน			ต้นแบบห้องปฏิบัติการ		ต้นแบบภาคสนาม	
	TRL 1	TRL 2	TRL 3	TRL 4	TRL 5	TRL 6	TRL 7
ระยะเวลา	กุมภาพันธ์ 63	กุมภาพันธ์-มีนาคม 63	เมษายน 63	พฤษภาคม 63	มิถุนายน 63	กรกฎาคม-สิงหาคม 63	มกราคม-มีนาคม 64
รายละเอียด	ในช่วงเริ่มมีการระบาดโรค โควิด-19 ในประเทศไทย ได้คิดถึงการนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาใช้ในการฆ่าเชื้อ	แนวความคิดในการพัฒนาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปแบบละออง	พิสูจน์แนวคิดในการพัฒนาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปแบบละออง	พัฒนาระบบฉีดพ่นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้เป็นละออง	ทดลองการทำงานของระบบฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ทดสอบการทำงานของเครื่องต้นแบบละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ทดสอบการฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถโดยสารสาธารณะด้วยเครื่องต้นแบบ
กิจกรรม	เริ่มทบทวนวรรณกรรมประสิทธิภาพสารฆ่าเชื้อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	การทบทวนวรรณกรรมมีการใช้งานจริงพบการอนุมัติแบบฉุกเฉินให้ใช้ระบบไอไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฆ่าเชื้อหน้ากาก N95 จากสำนักงานอาหารและยาสหรัฐอเมริกา	ทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในห้องปฏิบัติการ	พัฒนาแผงวงจรควบคุม, ถังบรรจุสาร, ถังบรรจุสารหล่อเย็น, หัวฉีดอัลตราโซนิค และพัฒนาโปรแกรมในการควบคุมเครื่องต้นแบบ	ทดสอบระบบการฉีดพ่นละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยหัวฉีดอัลตราโซนิคในห้องระบบปิด	ทดสอบการกระจายตัวของละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในห้องระบบปิด	ทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อด้วยละอองไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรถทัวร์ตราด-กรุงเทพจำนวน 20 คันด้วยตัวบ่งชี้ทางเคมีและตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ
ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง	ทีมนักวิจัย	ทีมนักวิจัย	ทีมนักวิจัย	ทีมนักวิจัย	ทีมนักวิจัย	ทีมนักวิจัย	นักวิจัย, สำนักงานขนส่ง, เทศบาลเมืองตราด, บริษัทรถร่วมบริการ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อัฐพล อรุณวุฒิพงศ์
วัน เดือน ปี เกิด	19 กุมภาพันธ์ 2521
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี หลักสูตรแพทยศาสตร์บัณฑิต คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ปริญญาโท หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ดุษฎีบัณฑิต หลักสูตรสาขาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขา) บัณฑิตวิทยาลัย บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	729/1 หมู่1 ตำบลวังกระแจะ อำเภอเมืองตราด จังหวัดตราด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University