



การสำรวจสถานะและขีดความสามารถด้านความปลอดภัยทางชีวภาพของตู้ชีวนิรภัยใน  
สถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยในประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาจุลชีววิทยา แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาจุลชีววิทยา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การสำรวจสถานะและขีดความสามารถด้านความปลอดภัยทางชีวภาพของผู้ชีวนิรภัยใน  
สถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยในประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาจุลชีววิทยา แผนก ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

ภาควิชาจุลชีววิทยา

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

SURVEY OF BIOLOGICAL SAFETY CABINET AND BIOSAFETY CAPACITY  
BUILDING IN ACADEMIC AND RESEARCH INSTITUTES IN THAILAND



By  
MR. Apiwat LAPAMNOUYSUP

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Science (MICROBIOLOGY)  
Department of MICROBIOLOGY  
Silpakorn University  
Academic Year 2023  
Copyright of Silpakorn University



60313202 : จุลชีววิทยา แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : ตู้ชีวนิรภัย คลาส II, แสงอัลตราไวโอเลต

นาย อภิวัฒน์ ลาภอำนวยทรัพย์: การสำรวจสถานะและขีดความสามารถด้านความปลอดภัยทางชีวภาพของตู้ชีวนิรภัยในสถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัยในประเทศไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพร ชื่นอิม

ตู้ชีวนิรภัย (Biological Safety Cabinet หรือ BSC) เป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาเพื่อควบคุมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีการทำงานไม่ให้แพร่กระจายออกสู่ภายนอก และช่วยปกป้องผู้ปฏิบัติงานจากการติดเชื้อจากการทำงานในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นประสิทธิภาพของการทำงานของตู้ชีวนิรภัยจึงเป็นสิ่งจำเป็นมาก ปัจจุบันตู้ชีวนิรภัย คลาส II เป็นรุ่นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในห้องปฏิบัติการทั้งในสถานศึกษาและหน่วยงานต่างๆ นอกจากการทำงานของตู้แล้ว การติดตั้งหลอดยูวีสำหรับฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ภายในตู้ นั้นยังเป็นที่ถกเถียงกันถึงความจำเป็นหรือไม่ เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเลตสามารถทะลุผ่านกระจกและก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งานได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจสถานะของตู้ชีวนิรภัย คลาส II ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาและหน่วยงานความร่วมมือระหว่างประเทศด้านสาธารณสุขที่มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยในการทำงาน และศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แสงอัลตราไวโอเลตในการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) ภายในตู้ชีวนิรภัย โดยสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 78 ตู้ในห้องปฏิบัติการทั้งหมด 10 แห่ง (จากมหาวิทยาลัย 6 แห่ง โรงพยาบาล 2 แห่ง และหน่วยงานความร่วมมือระหว่างประเทศด้านสาธารณสุข 2 แห่ง) โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานสากล NSF/American National Standard Institute (NSF/ANSI 49) และ European Standard (EN12469) เป็นหลัก ผลการศึกษาพบว่าตู้ชีวนิรภัยที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสากลทั้งหมด 61 ตู้ จากทั้งหมด 78 ตู้ คิดเป็นร้อยละ 78 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตู้ชีวนิรภัยที่มีการใช้งานในหน่วยงานที่ต้องมีการทำงานกับสิ่งส่งตรวจที่อาจมีเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคอยู่ สำหรับตู้ชีวนิรภัยที่ไม่ผ่านเกณฑ์ส่วนใหญ่ใช้ในการเรียนการสอน และไม่ได้รับการตรวจสอบสภาพการใช้งานประจำปี การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แสงอัลตราไวโอเลตภายในตู้ชีวนิรภัยเปรียบเทียบกับวิธีการใช้วิธีฆ่าเชื้อก่อนการทำงานด้วยแสงอัลตราไวโอเลตร่วมด้วยการเช็ดพื้นผิวภายในตู้ด้วย 70% ethanol กับการใช้ 70% ethanol เช็ดพื้นผิวเพียงอย่างเดียว โดยวัดผลการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียด้วยอาหาร plate count agar (PCA) และเชื้อราด้วยอาหาร potato dextrose agar (PDA) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของจำนวนเพลทที่พบการปนเปื้อน ที่ระดับ  $P \leq 0.05$  ระหว่างวิธีการฆ่าเชื้อทั้งสองวิธี จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ตู้ชีวนิรภัย คลาส II ที่มีการใช้งานในหน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพในการทำงานที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานสากล และการใช้แสงยูวีเพื่อการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ภายในตู้ ไม่สามารถช่วยลดการปนเปื้อนต่อผลิตภัณฑ์ที่ทำงานได้ นอกจากนี้ควรมีการสำรวจเบื้องต้นภายในหน่วยงานเป็นประจำ เช่น การวางเพลทอาหารเลี้ยงเชื้อในตู้ชีวนิรภัยเพื่อทดสอบการปนเปื้อนในพื้นที่ทำงานของตู้ รวมถึงควรมีการให้ความรู้ในการดูแลเบื้องต้นกับผู้ดูแลเครื่องมือประจำมหาวิทยาลัย หรือสร้างเครือข่ายการร่วมมือการสอบเทียบ เป็นต้น

60313202 : Major (MICROBIOLOGY)

Keyword : CLASS II BIOLOGICAL SAFETY CABINET, ULTRAVIOLET LIGHT

MR. Apiwat LAPAMNOUYSUP : Survey of Biological Safety Cabinet and Biosafety Capacity Building in Academic and Research Institutes in Thailand Thesis advisor : Assistant Professor Thanaporn Chuen-im, Ph.D.

A biological safety cabinet (BSC) is the most important equipment for biological laboratories to prevent the spreading of microorganisms, thereby protecting workers from infection while working in the laboratory, so the efficiency of cabinet operation must be seriously concerned. Currently, Class II BSCs are widely used in laboratories of academic institutions and diagnostic units of hospitals. Germicidal (or UV) lamps are often installed as an adjunct to surface disinfection. Now a day UV lighting is not recommended in BSCs. While the advantages of using UV light to enhance disinfection are currently under discussion, this is because UV light can irritate the cornea and cause skin cancer, they should be installed and tested by the manufacturer during assembly of the unit. Therefore, the objectives of this research were to survey Class II BSCs and biosafety capacity building in laboratories of academic institutions and international public health collaboration organizations in Thailand and to study the influence of UV light on sterilization in BSCs. In this research, 78 Class II BSCs from ten different laboratories were certified primarily using the NSF/American National Standard Institute (NSF/ANSI 49) and European Standard (EN12469). A total of 61 of the 78 (78%) BSCs met international standards, most of the PASSED BSCs used in laboratories that work with clinical specimens and/or potential infectious agents contained. As for BSCs that did not meet international standard, they were found to be BSCs used for learning and teaching and had not been calibrated annually. This study compared the effectiveness of using ultraviolet light and 70% ethanol surface disinfection to using only 70% ethanol for surface disinfection. Contamination measurement on plate count agar (PCA) for bacteria and on potato dextrose agar (PDA) for fungi. Statistical analysis revealed no significant difference between both sterilization approaches at  $P \leq 0.05$ . In conclusion, class II BSCs that are used in various organizations in Thailand are effective in following international standards and the use of UV light cannot reduce the contamination rate of product. In addition, there should be regular preliminary surveys within the institutions, such as placing culture media plates in BSCs to test for contamination in work area. Including knowledge on basic care should be provided to laboratory and academic staff or create a calibration cooperation network, etc

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาพร ชื่นอ้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยจุดประกายและแนะนำแนวทางในการพัฒนาหัวข้องานวิจัย, ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์, และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงความเอาใจใส่ที่ตลอดทั้งการทำวิทยานิพนธ์จนงานวิจัยประสบผลสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย เตโชวิศาล และ ดร. พิมพินภา ณีคะนันท์ ที่ให้เกียรติเป็นกรรมการในการสอบและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร. เบธ สแคคส์ หัวหน้างาน ที่ได้ให้ความกรุณาอนุญาตให้ผู้วิจัยใช้เวลาบางส่วนเพื่อทุ่มเทงานให้วิทยานิพนธ์อย่างเต็มที่ รวมถึง ดร. อเนก แก้วปาน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ และอำนวยความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์และเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานตู้ชีวนิรภัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัย, โรงพยาบาล, และหน่วยงาน ที่ได้ให้ความร่วมมือในการสอบเทียบมาตรฐานตู้ชีวนิรภัยเพื่อให้ได้รับข้อมูลออกมาเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณบุคคลในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจ รวมถึงเป็นแรงผลักดันที่สำคัญจนผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยได้สำเร็จ ลุล่วง รวมถึงให้การสนับสนุนช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเสร็จสิ้นลงได้ด้วยดี

อภิวัฒน์ ลาภอำนวยทรัพย์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1.....	14
บทนำ.....	14
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	16
สมมติฐานของการศึกษา.....	16
ขอบเขตการศึกษา.....	17
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	18
บทที่ 2.....	19
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
ตู้ชีวนิรภัย หรือ Biological Safety Cabinet (BSC).....	19
การพัฒนาของตู้ชีวนิรภัย.....	19
ประเภทของตู้ชีวนิรภัย.....	20
High Efficiency Particulate Air (HEPA) filter.....	25
ส่วนประกอบภายใน HEPA filter.....	26
ข้อมูลจำเพาะ (Specification) ของ HEPA filter และการทดสอบ.....	30



การใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย .....	31
งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานตู้ชีวนิรภัยในการปฏิบัติงานด้านจุลชีววิทยา .....	34
รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV light).....	35
การฆ่าเชื้อในตู้ชีวนิรภัย .....	40
บทที่ 3 .....	43
สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง.....	43
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	43
สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	43
วิธีการทดลอง.....	44
บทที่ 4 .....	50
การสำรวจสถานะและความพร้อมของตู้ชีวนิรภัย คลาส II.....	50
บทที่ 5 .....	65
ประสิทธิผลการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ในการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) ภายในตู้ชีวนิรภัย คลาส II.....	65
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก .....	86
ภาคผนวก ก.....	87
การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ .....	87
ภาคผนวก ข.....	88
การตรวจสอบการทำงานของตู้ชีวนิรภัย (Certification).....	88
ประวัติผู้เขียน .....	94

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ชนิดของผู้ชีวนิรภัย คลาส II .....	21
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อชนิดต่างๆ ด้วยรังสียูวีซีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร ....	39
ตารางที่ 3 มาตรฐาน NSF และ EN12469 สำหรับผู้ชีวนิรภัย .....	44
ตารางที่ 4 แสดงยี่ห้อผู้ชีวนิรภัย และสถานที่ติดตั้ง.....	47
ตารางที่ 5 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 1.....	50
ตารางที่ 6 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 2.....	51
ตารางที่ 7 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 3.....	52
ตารางที่ 8 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 4.....	53
ตารางที่ 9 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 5.....	54
ตารางที่ 10 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 6.....	55
ตารางที่ 11 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ โรงพยาบาลแห่งที่ 1 .....	56
ตารางที่ 12 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ โรงพยาบาลแห่งที่ 2.....	57
ตารางที่ 13 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ ห้องปฏิบัติการแห่งที่ 1 .....	58
ตารางที่ 14 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ ห้องปฏิบัติการแห่งที่ 2.....	58
ตารางที่ 15 หน่วยงาน/ สถานะของห้องปฏิบัติการ.....	59
ตารางที่ 16 อายุใช้งาน กับผลตรวจ .....	61
ตารางที่ 17 จุดประสงค์หลักการใช้งานตู้ กับผลตรวจ .....	61
ตารางที่ 18 ความถี่ในการสอบเทียบ กับผลตรวจ .....	62
ตารางที่ 19 ยี่ห้อผู้ชีวนิรภัย สภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง และสถานะการตรวจรับรอง .....	67
ตารางที่ 20 จำนวนโคลนที่พบการปนเปื้อนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ในผู้ชีวนิรภัยที่ทำการทดสอบ .....	68

ตารางที่ 21 จำนวนโคโลนีที่พบการปนเปื้อนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ในตู้ชีวนิรภัยที่ทำการทดสอบ .....72

ตารางที่ 22 ร้อยละของอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่พบการปนเปื้อน เปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต และไม่ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต .....78

ตารางที่ 23 ร้อยละของอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่พบการปนเปื้อน เปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต และไม่ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต .....79

ตารางที่ 24 จำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อที่พบการปนเปื้อน และตำแหน่งการวางเพลทในตู้ชีวนิรภัย .....80

ตารางที่ 25 จำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อที่พบการปนเปื้อน จากตู้ชีวนิรภัยที่ติดตั้งอยู่ในห้องแอร์ปรับอากาศ กับห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง .....80



## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส I	20
รูปที่ 2 โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส II ชนิด A1 และ A2	23
รูปที่ 3 โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส II ชนิด B1 และ B2	24
รูปที่ 4 โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส III	25
รูปที่ 5 แผ่นกรอง HEPA ดักจับเชื้อโรค และภาพถ่ายกำลังขยาย 500 เท่า แสดงรูหรือช่องเปิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน	27
รูปที่ 6 ลักษณะของการขดพับแผ่น HEPA filter ที่มีการซ้อนทับหลายชั้น	27
รูปที่ 7 Sieve effect	28
รูปที่ 8 Inertial impaction	28
รูปที่ 9 Interception	29
รูปที่ 10 Brownian diffusion	29
รูปที่ 11 ขนาดของอนุภาค และความสามารถของแผ่น HEPA ในการดักจับอนุภาค	30
รูปที่ 12 การแบ่งพื้นที่การปฏิบัติงานในตู้ชีวนิรภัย	33
รูปที่ 13 แสดงการแบ่งช่วงคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ต	37
รูปที่ 14 สติกเกอร์การตรวจรับรอง	46
รูปที่ 15 ตำแหน่งของเพลท PCA และเพลท PDA ในพื้นที่ทำงานของตู้ชีวนิรภัย คลาส II	48
รูปที่ 16 แสดงตำแหน่งของตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 1	65
รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งของตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 2	66



รูปที่ 32 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1814 ตำแหน่งที่ 5 การทดลองซ้ำที่ 2.....	77
รูปที่ 33 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1812 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 2.....	77
รูปที่ 34 (รูปผนวก ข.1) ทิศทางการไหลของ Downflow .....	88
รูปที่ 35 (รูปผนวก ข.2) การติดตั้งอุปกรณ์ air velocity meter และ probe ใช้วัดความเร็วลมภายในตู้ .....	89
รูปที่ 36 (รูปผนวก ข.3) การสร้าง Grid ครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน และระยะการวาง probe ขณะวัด downflow .....	89
รูปที่ 37 (รูปผนวก ข.4) ทิศทางการไหลของ Inflow .....	90
รูปที่ 38 (รูปผนวก ข.5) การวางอุปกรณ์ Dim with hood ครอบช่องหน้าต่างด้านหน้าตู้ .....	90
รูปที่ 39 (รูปผนวก ข.6) อุปกรณ์ใช้ในการตรวจ HEPA leak test .....	91
รูปที่ 40 (รูปผนวก ข.7) การใช้อุปกรณ์ Aerosol photometer ในการตรวจหารอยรั่วของแผ่นกรอง HEPA.....	91
รูปที่ 41 (รูปผนวก ข.8) Smoke test จุดที่ 1 ดูทิศทางการไหลของลมผ่านไปยังพื้นที่ทำงาน.....	92
รูปที่ 42 (รูปผนวก ข.9) Smoke test จุดที่ 2 ดูการไหลของลมภายในตู้ ว่าไม่เล็ดลอดออกไปข้างนอกตู้.....	92

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเชื้อก่อโรคในมนุษย์ (Human Pathogen) ได้แก่ เชื้อจุลชีพ (Microorganisms) จำพวกแบคทีเรีย รา ไวรัส และโปรโตซัว ได้ถูกนำมาทดลองหรือใช้ในงานวิจัยในหลายๆ ด้าน เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม จึงมีการแบ่งระดับความเสี่ยงในการก่อโรคของเชื้อจุลชีพ ใช้สำหรับกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานและระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทำงาน ระดับความเสี่ยงในการก่อโรคของเชื้อจุลชีพถูกกำหนดขึ้นตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม (สุรินทร์ บุญสงฆ์, 2553) ดังนี้

**กลุ่มเสี่ยงของเชื้อจุลชีพที่ 1 (risk group 1)** คือ กลุ่มเชื้อที่ไม่มีความเสี่ยงหรือมีความเสี่ยงต่ำต่อบุคคลและชุมชน เป็นเชื้อจุลชีพที่ไม่ก่อให้เกิดโรทั้งในมนุษย์และสัตว์ เช่น เชื้อ *Lactobacillus* ซึ่งใช้ในกระบวนการผลิตนมเปรี้ยว เป็นต้น

**กลุ่มเสี่ยงของเชื้อจุลชีพที่ 2 (risk group 2)** คือ กลุ่มเชื้อที่มีความเสี่ยงปานกลางต่อบุคคล และมีความเสี่ยงต่ำต่อการเกิดโรคระบาดในชุมชน เป็นเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์และสัตว์ แต่ไม่เป็นอันตรายร้ายแรงต่อผู้ที่ทำงานในห้องปฏิบัติการ ชุมชน ปศุสัตว์ หรือสิ่งแวดล้อม เป็นโรคที่มีวิธีป้องกันและรักษาที่ได้ผล และความเสี่ยงต่อการแพร่เชื้อมีจำกัด เช่น เชื้อ *Bacillus cereus* เป็นต้น

**กลุ่มเสี่ยงของเชื้อจุลชีพที่ 3 (risk group 3)** คือ กลุ่มเชื้อที่มีความเสี่ยงสูงต่อบุคคล แต่มีความเสี่ยงต่ำต่อการเกิดโรคระบาดในชุมชน เป็นเชื้อที่ก่อโรครุนแรงในคนและสัตว์ แต่โดยปกติจะไม่แพร่จากคนหรือสัตว์ที่ติดเชื้อไปยังคนหรือสัตว์อื่น และมีวิธีการรักษาหรือป้องกันโรคที่มีประสิทธิภาพ เช่น เชื้อ *Mycobacterium bovis* เป็นต้น

**กลุ่มเสี่ยงของเชื้อจุลชีพที่ 4 (risk group 4)** คือ กลุ่มเชื้อที่มีความเสี่ยงสูงต่อบุคคลและมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดโรคระบาดในชุมชน ได้แก่ เชื้อที่เป็นสาเหตุของโรครุนแรงในมนุษย์และสัตว์ และสามารถแพร่ได้ง่ายจากคนหนึ่งไปสู่อีกคนหนึ่งทั้งทางตรงและทางอ้อม และไม่มีวิธีการรักษาหรือป้องกันที่มีประสิทธิภาพ เช่น Ebola virus เป็นต้น

ตู้ชีวนิรภัย (Biological Safety Cabinet หรือ BSC) เป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการทางจุลชีววิทยาเพื่อควบคุมเชื้อจุลชีพที่มีการทำงานไม่ให้แพร่กระจายออกสู่ภายนอก



ปกป้องผู้ปฏิบัติงานจากการติดเชื้อจากการทำงานในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นประสิทธิภาพของการทำงานของผู้ชีววิทย รวมถึงการฆ่าเชื้อภายในตู้จึงเป็นสิ่งจำเป็น เชื้อจุลชีพที่อยู่ในกลุ่มความเสี่ยงตั้งแต่ระดับ 2 ขึ้นไป จำเป็นต้องปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการความปลอดภัยทางชีวภาพระดับ 2 (BSL-2) ขึ้นไป ตามความสอดคล้องของความเสี่ยงของเชื้อ ซึ่งกำหนดให้ต้องมีอุปกรณ์พื้นฐานสำหรับการปฏิบัติการ และมีการปฏิบัติงานในตู้ชีววิทย ทั้งนี้จากจุลสาร-ร่วมของศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) และสถาบันสุขภาพแห่งชาติ (National Institutes of Health, NIH) เรื่อง “Primary Containment for Biohazards: Selection, Installation and Use of Biological Safety Cabinets, 2<sup>nd</sup> Edition” (CDC/NIH, 2000) ระบุว่าไม่จำเป็นต้องติดตั้งหลอดอัลตราไวโอเล็ต (UV lamps) เพื่อการฆ่าเชื้อในตู้ชีววิทย อย่างไรก็ตามในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา >80% ของตู้ชีววิทย คลาส II ชนิด A2 ที่ผลิตในสหรัฐอเมริกา ผู้ใช้งานยังมีความประสงค์ในการติดตั้งหลอดอัลตราไวโอเล็ต และผู้ผลิตส่วนใหญ่ก็ยังนำเสนอเป็นทางเลือกให้กับผู้ใช้งานในการติดตั้งหลอดอัลตราไวโอเล็ตในตู้ชีววิทยเกือบทั้งหมด (Meechan & Wilson, 2006) ทั้งนี้การใช้หลอดอัลตราไวโอเล็ตในการฆ่าเชื้อในตู้ชีววิทย มีข้อจำกัด คือ ยูวีสามารถฆ่าเชื้อจุลชีพได้ที่พื้นผิววัตถุเท่านั้น และจำเป็นต้องใส่อุปกรณ์ป้องกันในขณะที่ดำเนินการ และยังไม่มียุทธศาสตร์บ่งชี้ชัดเจนถึงการใช้หลอดอัลตราไวโอเล็ตในการฆ่าเชื้อจุลชีพจะช่วยลดการปนเปื้อนต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่

ปัจจุบันในประเทศไทย มีการใช้ตู้ชีววิทยในห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น ห้องปฏิบัติการส่งตรวจทางการแพทย์ รายวิชาปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเชื้อจุลชีพ หรือการเพาะเลี้ยงเซลล์สัตว์ ในสถานศึกษาและหน่วยงานต่างๆ หากห้องปฏิบัติการเหล่านี้มีการใช้งานของผู้ชีววิทยไม่เหมาะสม ขาดการตรวจสอบประสิทธิภาพและการบำรุงรักษาที่ได้มาตรฐาน จะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงผู้ร่วมงานและสภาพแวดล้อมได้ (บุญช่วย เอี่ยมโกลาคม, 2557) ทำให้มีการดำเนินงานเพื่อส่งเสริมการปฏิบัติงานให้มีความปลอดภัยทางชีวภาพต่างๆ ดังเช่น การจัดตั้งศูนย์ความร่วมมือไทย-สหรัฐฯ ด้านสาธารณสุข (Thailand MOPH – U.S. CDC Collaboration, TUC) ซึ่งเป็นหน่วยงานของกระทรวงสาธารณสุข ตามข้อตกลงความร่วมมือไทย-สหรัฐฯ (Memorandum of Agreement, MOA) (สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข, 2561) มีภารกิจส่งเสริมการทำงานด้านความปลอดภัยทางชีวภาพหลายอย่าง เช่น การรับมือภาวะการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 (COVID-19 Response) ทั้งนี้ ศูนย์ความร่วมมือไทย-สหรัฐฯ ด้านสาธารณสุขมีวิสัยทัศน์ว่า “A Public Health Laboratory Center of Excellence Sharing Valuable Knowledge through



Training, Mentorship, and Service” และมีพันธกิจ คือ ความร่วมมือกับพันธมิตรในการถ่ายทอดความรู้ เทคโนโลยี ให้แก่บุคลากรในภาครัฐเพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งและพัฒนาคุณภาพของห้องปฏิบัติการด้านมาตรฐานความปลอดภัยชีวภาพอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน (Build strong public health laboratories through partnerships, technology transfer and continuous quality improvement to ensure global health security) โดยศูนย์ความร่วมมือไทย-สหรัฐฯ ด้านสาธารณสุข ได้ทำความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยและสถานพยาบาลต่างๆ ในการดำเนินการตรวจประสิทธิภาพและบำรุงรักษาตู้ชีวนิรภัยให้มีการทำงานได้ตามมาตรฐานสากล ทั้งนี้จากสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคโควิด-19 (COVID-19) ที่ผ่านมา การทำงานไม่ว่าจะเป็นการวินิจฉัยตัวอย่างส่งตรวจจากผู้ป่วยสงสัยติดเชื้อไวรัส หรืองานวิจัยและพัฒนาวัคซีนสำหรับการป้องกันการติดเชื้อไวรัส จำเป็นต้องใช้ตู้ชีวนิรภัย คลาส II แต่จากการดำเนินการสำรวจเบื้องต้นของผู้วิจัยถึงสถานะของตู้ชีวนิรภัยในสถานศึกษา โรงพยาบาล และองค์กรที่เกี่ยวข้อง พบว่า ตู้ชีวนิรภัยที่มีการใช้งานประจำขาดการตรวจประสิทธิภาพและการบำรุงรักษาตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกวิธีและต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการสำรวจสถานะและความพร้อมในการใช้งานตู้ชีวนิรภัย คลาส II ของห้องปฏิบัติการต่างๆ เพื่อใช้ประโยชน์เป็นแนวทางในการวางแผนนโยบาย สำหรับการรับมือการแพร่ระบาดของโรคอุบัติใหม่ต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อสำรวจสถานะของตู้ชีวนิรภัย คลาส II ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษา และหน่วยงานต่างๆ ที่มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยในการทำงาน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ในการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) ภายในตู้ชีวนิรภัย

### สมมติฐานของการศึกษา

1. มีห้องปฏิบัติการที่มีการใช้งาน ตู้ชีวนิรภัย คลาส II อย่างไม่เหมาะสม หรือไม่ได้มาตรฐาน
2. การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต ในการฆ่าเชื้อภายในตู้ชีวนิรภัย ไม่สามารถลดการปนเปื้อนของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ได้

### ขอบเขตการศึกษา

1. สำนวจการใ้ใช้งานตู้ชีวนิรภัย ภายในสถานศึกษา โรงพยาบาล และหน่วยงานที่มีการใช้งาน
2. วิเคราะห์สถานะ และปัญหา ที่มีต่อการใช้งานตู้ชีวนิรภัยที่ไม่เหมาะสม
3. ศึกษาประสิทธิภาพของหลอดอัลตราไวโอเลต (UV lamp) ต่ออัตราการลดการปนเปื้อน (contamination) ในชั้นงานหรือผลิตภัณฑ์



### นิยามศัพท์เฉพาะ

BSC	=	Biological Safety Cabinet
HEPA	=	High Efficiency Particulate Air
NSF	=	National Sanitation Foundation
EN12469	=	European Standard 12469
COVID-19	=	Coronavirus disease 2019
SARS-CoV	=	Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus
BSL	=	Biological safety levels
m/s	=	Metre per second
FPM	=	Feet per minute
PPE	=	Personal Protective Equipment
DIM	=	Direct Inflow Measurement
PAO	=	polyalphaolefin
spp.	=	species
HIV	=	human immunodeficiency virus
HBV	=	hepatitis B virus
HCV	=	hepatitis C virus
UV-A	=	ultraviolet A
UV-B	=	ultraviolet B
UV-C	=	ultraviolet C
PLE	=	polymorphous light eruption
UGI	=	Ultraviolet Germicidal Irradiation
LED	=	light-emitting diode
Vet. PH.	=	Veterinary Public Health
PCA	=	Plate Count Agar
PDA	=	Potato Dextrose Agar
PCR	=	Polymerase chain reaction

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ตู้ชีวนิรภัย หรือ Biological Safety Cabinet (BSC)

เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการปฏิบัติงานด้านจุลชีววิทยา ช่วยป้องกันไม่ให้เชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายฟุ้งกระจายในห้องปฏิบัติการ หรือออกไปสู่สภาพแวดล้อม ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติงานและบุคคลอื่นได้รับอันตรายจากการหายใจเอาเชื้อเข้าสู่ร่างกายได้

#### การพัฒนาของตู้ชีวนิรภัย

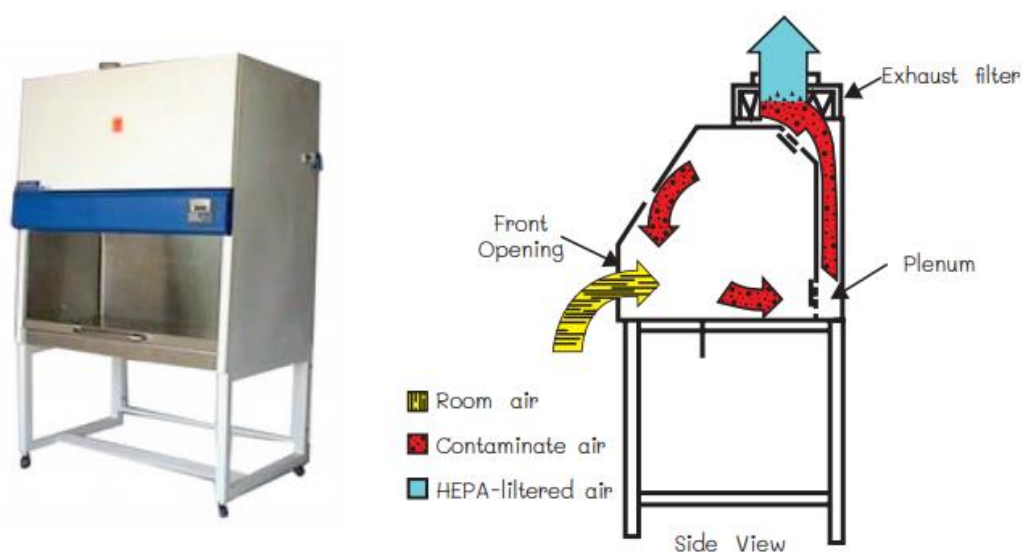
Kruse, Puckett, and Richardson (1991) ได้เขียนบทความ กล่าวถึงพัฒนาการของตู้ชีวนิรภัยไว้ว่า ตู้ชีวนิรภัยถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2452 เมื่อบริษัทมัลฟอร์ด ฟาร์มาซูติคอล (W. K. Mulford Pharmaceutical Co., Glennolden, Pa.) ได้ออกแบบตู้ดูดควัน (fume hood) สำหรับระบายอากาศเพื่อป้องกันการติดเชื้อ *Mycobacterium tuberculosis* ระหว่างการเตรียมสารสกัดโปรตีนที่ได้จากเชื้อวัณโรค (tuberculin) โดยใช้ปั๊มสุญญากาศดึงอากาศผ่านแผ่นกรองผ้าฝ้าย (cotton filter) เข้าไปในกล่องปิด (chamber) ที่มีความดันอากาศเป็นลบ และให้อากาศออกทางขวดบรรจุสารฆ่าเชื้อ มีการติดตั้งมือยางแบบยาวถึงแขน และมีการทำงานโดยผ่านถุงมือดังกล่าว ซึ่งในเวลาต่อมาได้มีการสร้างตู้ลักษณะอื่นๆ ขึ้นอีกมากมาย โดยตู้แต่ละประเภทมีจุดประสงค์การใช้งานที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของแต่ละบุคคลที่เป็นผู้ออกแบบและผู้ใช้งาน

เอกสารเผยแพร่แรกสุดที่กล่าวถึงตู้ที่ใช้งานด้านจุลชีววิทยา ได้ตีพิมพ์ในปี พ.ศ. 2486 โดย Van den Ende ซึ่งออกแบบตู้โดยใช้เตาเผาไฟฟ้า (Electric furnace) เพื่อสร้างการไหลเวียนของอากาศไหลเข้า และอากาศไหลออก จากการเผา และในปีเดียวกัน Shepard และคณะ สร้างตู้ไม้ที่ใช้หัวเผาแก๊ส (Gas burner) ในการเผาทำให้อากาศไหลออก และทำให้เกิดการไหลอากาศเข้า ต่อมาในปี พ.ศ. 2489 Keeney ทำการพัฒนาตู้สแตนเลสสตีล ที่มีผนังด้านหน้าและด้านบนเป็นกระจกและไม่มีกรงหมุนเวียนอากาศ สำหรับตู้ใบแรกที่สร้างจากสแตนเลสสตีลถูกประดิษฐ์ขึ้นในปี พ.ศ. 2491 โครงสร้างของตู้มีแผงกระจกด้านหน้า แผ่นกั้นด้านหลังมีการต่อท่อเชื่อมต่อกับพัดลมเพื่อดูดอากาศออก และมีแผ่นกรองใยแก้ว (Spun-glass fiber filters) ในเวลาต่อมาจึงมีการพัฒนาให้ตู้มีการทำงานที่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพในการกักกันเชื้อก่อโรคให้ดีมากขึ้นจนปัจจุบัน (Dondelinger, 2013)

## ประเภทของตู้ชีวนิรภัย

หากพิจารณาการทำงานของผู้ชีวนิรภัย จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. **ตู้ชีวนิรภัย คลาส I (BSC Class I)** (รูปที่ 1) เป็นตู้ประเภทเปิดด้านหน้า ใช้กับเชื้อจุลชีพชนิดไม่มีอันตรายหรือมีความเสี่ยงต่ำ ช่วยป้องกันผู้ปฏิบัติงานไม่ให้สัมผัสกับเชื้อจุลชีพที่ทำงานด้วย โดยการทำงานของตู้จะให้อากาศจากภายในห้องปฏิบัติการไหลเข้าตู้ และออกสู่ภายนอกทางช่องปล่อยออก ที่มี High Efficiency Particulate Air (HEPA) filter กรองอากาศก่อนออกสู่ภายนอก ความเร็วของอากาศถูกกำหนดอยู่ระหว่าง 0.4 - 1.0 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 1 โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส I

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). **คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย**. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 23.

2. **ตู้ชีวนิรภัย คลาส II** เป็นตู้ชนิดเปิดช่องด้านหน้าได้บางส่วน ตู้ชนิดนี้จะป้องกันผู้ปฏิบัติงานให้ปลอดภัยจากเชื้อจุลชีพที่ทำการทดลอง ป้องกันไม่ให้เชื้อหลุดออกสู่สิ่งแวดล้อม และป้องกันการปนเปื้อนของชิ้นงาน โดยอากาศจากภายนอกก่อนไหลเข้าสู่ภายในตู้จะผ่าน HEPA filter เพื่อกรองให้บริสุทธิ์ปราศจากเชื้อ และอากาศอีกส่วนจะถูกดูดออกอีกด้านหนึ่งโดยผ่าน HEPA filter อีกชุดหนึ่งเพื่อกรองเชื้อจุลชีพที่ทำงานภายในตู้ออกสู่ภายนอก อากาศที่เข้าออกจะต้องปรับให้สมดุล ตู้ชนิดนี้ใช้กับเชื้อจุลชีพชนิดอันตรายต่ำและ ปานกลาง

ตู้ชีวนิรภัย คลาส II นี้ เป็นรุ่นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จึงมีการพัฒนาตู้ให้มีการทำงานที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ออกเป็นรุ่นต่างๆ ทั้งนี้การจัดประเภทและมาตรฐานตู้ชีวนิรภัย

สำหรับสหรัฐอเมริกา กำหนดโดย NSF International ได้แบ่งตู้ คลาส II เป็น 4 ชนิดย่อย (Sub-type) ได้แก่ A1, A2, B1 และ B2 (ตารางที่ 1) ความแตกต่างแต่ละชนิดของคลาส II ขึ้นอยู่กับปริมาณของอากาศที่ไหลเวียนกลับเข้าสู่พื้นที่ปฏิบัติงาน (working area) ซึ่งแตกต่างกันไปตามเปอร์เซ็นต์ของอากาศหมุนเวียน (Re-circular air) โดยมีรายละเอียดของตู้แต่ละชนิด ดังนี้

ตารางที่ 1 ชนิดของตู้ชีวนิรภัย คลาส II

ที่มา : Types of Class II Biosafety Cabinets, จาก [https://absa.org/wp-content/uploads/2017/01/Desc\\_of\\_ClassII\\_BSCs.pdf](https://absa.org/wp-content/uploads/2017/01/Desc_of_ClassII_BSCs.pdf)

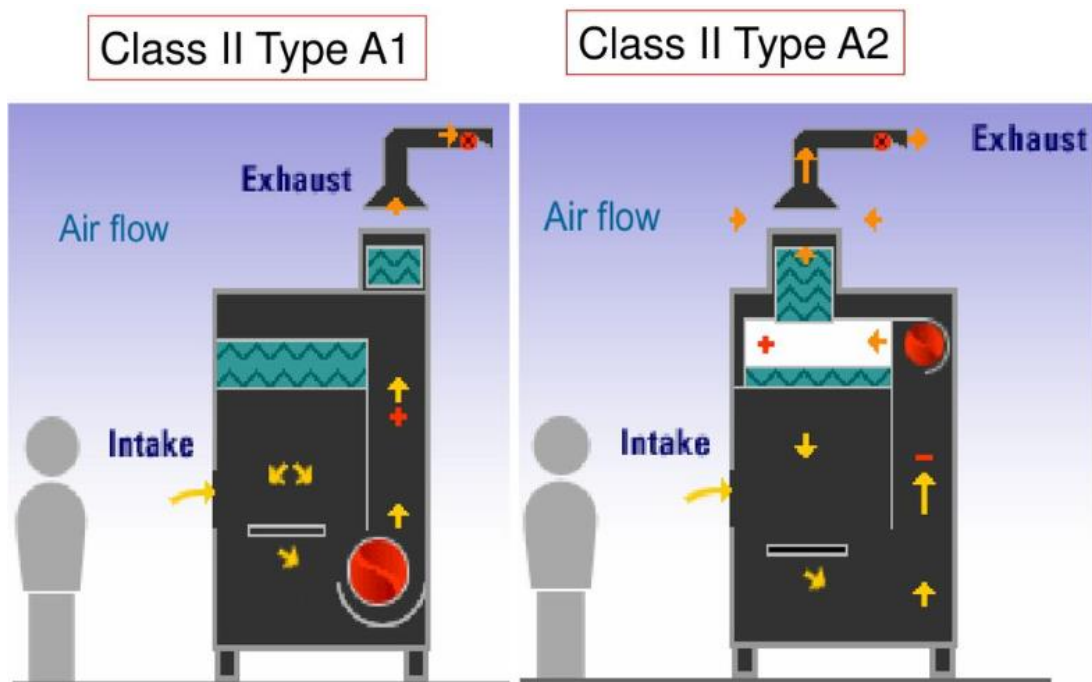
การทำงานของตู้		ชนิด A1	ชนิด A2	ชนิด B1	ชนิด B2	
การกำจัดควบคุมและการป้องกัน	การป้องกัน อนุภาคในอากาศ	ผู้ปฏิบัติงาน	ป้องกันได้	ป้องกันได้	ป้องกันได้	ป้องกันได้
		งานที่ทำ	ป้องกันได้	ป้องกันได้	ป้องกันได้	ป้องกันได้
		สิ่งแวดล้อม	ป้องกันได้	ป้องกันได้	ป้องกันได้	ป้องกันได้
	การป้องกันไอระเหยและแก๊สที่ใช้ทางด้าน จุลชีววิทยา	ผู้ปฏิบัติงาน	ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ กับสารเคมี	ถ้าตู้เชื่อมต่อไปยัง ท่อปล่อยอากาศ ออกของตัวอาคาร	ป้องกันได้	ป้องกันได้
		งานที่ทำ	ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ กับสารเคมี	ไม่ป้องกัน	ลดการสัมผัสได้	ป้องกันได้
		สิ่งแวดล้อม	ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ กับสารเคมี	ถ้าตู้เชื่อมต่อไปยัง ท่อปล่อยอากาศ ออกของตัวอาคาร	ลดการสัมผัสได้	ถ้าตู้เชื่อมต่อไปยัง ท่อปล่อยอากาศ ออกของตัวอาคาร
ลักษณะการไหลของ อากาศ	ความเร็วลมหน้าตู้		ต่ำสุด 75 FPM	ต่ำสุด 100 FPM	ต่ำสุด 100 FPM	ต่ำสุด 100 FPM
	% ที่กำหนด*	ไหลเวียน	~ 70%	~ 70%	~ 30%	0%
		ปล่อยออก	~ 30%	~ 30%	~ 70%	100%
ช่องอากาศ (Plenum)	แรงดันในช่องอากาศที่มีการปนเปื้อนทางชีวภาพ		แรงดันในช่อง อากาศเป็นลบ	แรงดันในช่อง อากาศเป็นลบ	แรงดันในช่อง อากาศเป็นลบ	แรงดันในช่อง อากาศเป็นลบ

การทำงานของตู้		ชนิด A1	ชนิด A2	ชนิด B1	ชนิด B2	
ลักษณะการปล่อยอากาศออก	การปล่อยอากาศจากตู้	ผ่านช่องอากาศ ปรกติ	ผ่านช่องอากาศ ปรกติ	ผ่านช่องอากาศที่ แรงลมถูกดูดออก	ผ่านช่องอากาศที่ แรงลมถูกดูดออก	
	ปลายทางที่ปล่อยอากาศออก	ในห้อง	ใช่	ใช่	ไม่ใช่	ไม่ใช่
		ต่อออก ภายนอก	เป็นทางเลือก	เป็นทางเลือก	ใช่	ใช่
		รูปแบบของ ท่อต่อ	ต่อแบบใช้ตัวครอบ (Canopy)	ต่อแบบใช้ตัวครอบ (Canopy)	ต่อท่อตรงไปนอก อาคาร (Hard duct)	ต่อท่อตรงไปนอก อาคาร (Hard duct)

\* เปอร์เซ็นต์ของอากาศไหลเวียน (air recirculated) และอากาศปล่อยออก (air exhausted) ของตู้ชีวนิรภัยชนิด A1, A2 และ B1 แปรผันตามขนาดของตู้ และขนาดของช่องปล่อยอากาศออกของตู้

**2.1 ตู้ชีวนิรภัย คลาส II ชนิด A (รูปที่ 2)** เป็นตู้ชีวนิรภัยที่ขณะใช้งานจะป้องกันสภาพแวดล้อม ผู้ปฏิบัติงาน และชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ อากาศที่ผ่านเข้าสู่ภายในตู้จะไหลไปช่องว่างด้านหลังตู้ (plenum) ก่อนที่ 70% ของอากาศทั้งหมดกลับเข้าสู่ภายในตู้ (recirculate) และส่วนที่เหลือ 30% จะไหลออกสู่ภายนอก (exhaust) โดยการหมุนเวียนของอากาศจะเป็น downflow อากาศที่ไหลกลับเข้าสู่ภายในตู้ และไหลออกสู่ภายนอก จะผ่าน HEPA filter ก่อนเพื่อกรองอากาศให้บริสุทธิ์ปราศจากเชื้อจุลชีพ กระแสลมที่ไหลเข้าสู่ภายในตู้ (inflow air) จะต้องมีความเร็วไม่น้อยกว่า 0.38 เมตรต่อวินาที (m/s) หรือ 75 ฟุตต่อนาที (Feet per minute: FPM)



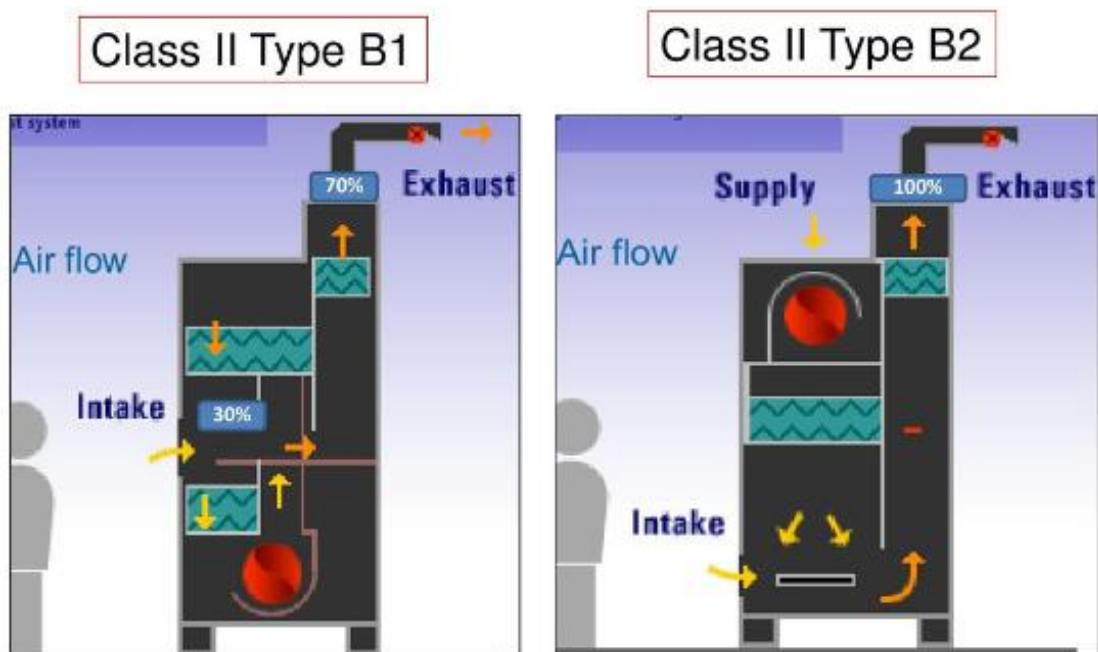


รูปที่ 2 โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส II ชนิด A1 และ A2

ที่มา : Biosafety Cabinet (BSC): What you need to know?, จาก <https://slideplayer.com/slide/13301068/>

2.2 ตู้ชีวนิรภัย คลาส II ชนิด B (รูปที่ 3) เป็นตู้ชีวนิรภัยที่ต่างจากชนิด A ตรงที่กระแสลมที่ไหลออกสู่ภายนอก (exhaust air) จะมีที่ต่อออกสู่สภาพแวดล้อมภายในห้องปฏิบัติการโดยตรง ซึ่งเหมาะสำหรับงานจุลชีววิทยาที่มีสารเคมีที่เป็นพิษ (toxic chemicals) เจือปน ซึ่ง HEPA filter ไม่สามารถขจัดไอต่างๆ ของสารเคมีได้ จึงจำเป็นต้องระบายอากาศออกนอกอาคาร กระแสลมที่ไหลเข้าสู่ภายในตู้จะต้องมีความเร็วไม่น้อยกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที (m/s) หรือ 100 ฟุตต่อนาที (Feet per minute: FPM) ตาม NSF Standard 49





รูปที่ 3 โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส II ชนิด B1 และ B2

ที่มา : Biosafety Cabinet (BSC): What you need to know?, จาก <https://slideplayer.com/slide/13301068/>

3. ตู้ชีวนิรภัย Class III (รูปที่ 4) เป็นตู้ชนิดที่ปิดสนิท มีถุงมืออย่างที่คงทนพิเศษ (glove sleeve) สำหรับสอดแขนเข้าตู้ปฏิบัติงาน โดยสิ่งของภายในตู้จะถูกส่งผ่านช่องส่งของ (pass through box) อากาศจะถูกดูดเข้าสู่ตู้ผ่าน HEPA filter และดูดอากาศออกผ่าน HEPA filter อีก 2 ตัว ต่อเนื่องกัน ตู้ชนิดนี้ป้องกันผู้ปฏิบัติงานจากเชื้อโรค และป้องกันไม่ให้เชื้อหลุดสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก เหมาะสำหรับใช้กับเชื้อจุลชีพทุกกลุ่ม ภายในตู้มีความดันภายในเป็นลบ ความเร็วของอากาศผ่านตู้ไม่ต่ำกว่า 0.75 เมตรต่อวินาที (m/s)



**รูปที่ 4** โครงสร้างภายนอก ลักษณะการไหลเวียนของอากาศ และส่วนประกอบต่างๆ ของตู้ คลาส III ที่มา (รูปซ้าย) : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). **คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย**. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 31.

(รูปขวา) : **Origin of Biosafety Cabinets**. จาก <https://www.issothai.com/learning-center/biosafety-cabinet/>

#### High Efficiency Particulate Air (HEPA) filter

HEPA filter เป็นแผ่นกรองอากาศ (air filter) ที่มีประสิทธิภาพสูงในการดักจับอนุภาคเล็กๆ เช่น เชื้อโรคในอากาศ ทำให้สามารถควบคุมเชื้อโรคไว้ไม่ให้กระจายหรือปนเปื้อนไปยังส่วนอื่น HEPA filter จึงเป็นหัวใจสำคัญที่ทำให้ลดการปนเปื้อนของเชื้อ (contamination) ในงานที่ทำ ไม่ว่าจะเป็งานเพาะเลี้ยงเซลล์ หรืองานเพิ่มจำนวนไวรัส ลดการติดเชื้อของผู้ปฏิบัติงาน และลดการกระจายเชื้อออกสู่ภายนอกสิ่งแวดล้อม

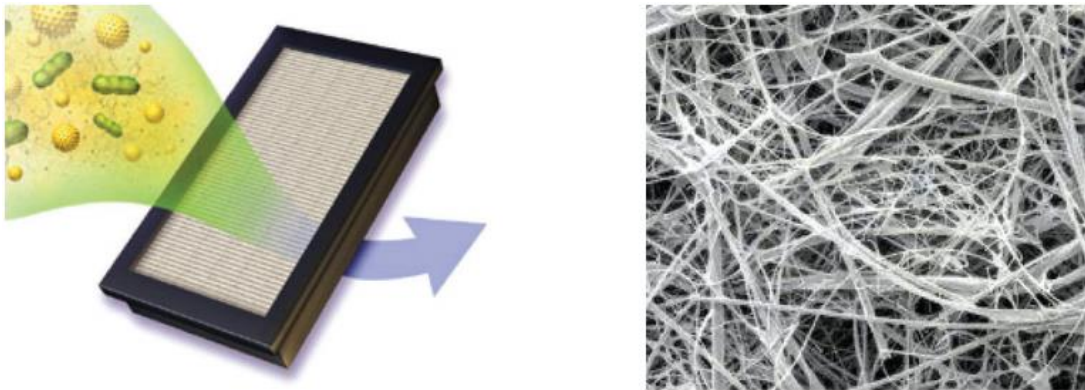
HEPA filter ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 (Kruse et al., 1991) ชิ้นส่วนตัวกรองอากาศของหน้ากากกันแก๊ส (gas mask canister) ของเยอรมัน ได้ถูกส่งไปยังบริษัทเคมีภัณฑ์ของกองทัพสหรัฐอเมริกา (U.S. Army Chemical Corps.) หลังจากนั้นด้วยความพยายามร่วมกันของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ Army Chemical Corps., ห้องปฏิบัติการวิจัยกองทัพเรือสหรัฐ (Naval Research Laboratory), สภาวิจัยป้องกันประเทศ (National Defense Research Council) และสุดท้ายคือ คณะกรรมการพลังงานปรมาณูของสหรัฐ (Atomic Energy Commission) ได้

บรรลุผลสำเร็จในการพัฒนาตัวกรอง HEPA โดยตัวกรองจากเส้นใยแร่ซิลิเกต (asbestos fibers) ถูกแทนที่ด้วยตัวกรองที่มีส่วนผสมจากเส้นใยแก้ว (Glass fibers) ที่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กมากๆ (submicron) กระจายออกอยู่ในโครงกันไฟที่ทำจากอะลูมิเนียม ทางด้านสถาบันวิจัยที่ Fort Detrick ได้ตรวจยืนยันประสิทธิภาพการกรองของตัวกรอง HEPA และทดสอบแล้วว่าสามารถกรองอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าและใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน ด้วยประสิทธิภาพที่เหนือกว่า 99.97% อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบดังกล่าวเป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวกรอง HEPA เท่านั้น ยังไม่ได้ทำการติดตั้งตัวกรอง HEPA ในตู้ชีววินัย

ต่อมาในปี พ.ศ. 2527 Kruse และ Kruse ได้ทดสอบประเมินผลโดยติดตั้งตัวกรอง HEPA ในตู้ชีววินัย และศึกษาในเชื้อแบคทีเรีย R17 ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบทุกอย่าง ได้แก่ 1) ขนาด (เป็นอนุภาครูปหลายเหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลาง 23 – 25 นาโนเมตร) 2) ความจำเพาะ (specificity) 3) ความเสถียรภาพ (stability) และ 4) โครงสร้าง (ไม่มีหาง) จากการใช้เครื่องพ่นอนุภาค (Vaponefrin nebulizer) พ่นลงไปโดยตรงในท่อของตู้คลาส II ชนิด B2 การไหลของอากาศเข้าผ่านตัวกรอง HEPA ผ่านพื้นที่ทำงาน จากนั้นอากาศทั้งหมดถูกดูดออกสู่ภายนอกผ่านท่ออีกทางหนึ่ง ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนี้ รวมถึงข้อมูลจากบริษัทอื่นๆ ต่างยืนยันว่าตัวกรอง HEPA มีประสิทธิภาพสูงถึง 99.99% ถึง 100% และใช้ได้ดีกับเชื้อไวรัสที่มีขนาด 23 – 25 นาโนเมตร เหมาะสมกับการนำไปติดตั้งในตู้ชีววินัย

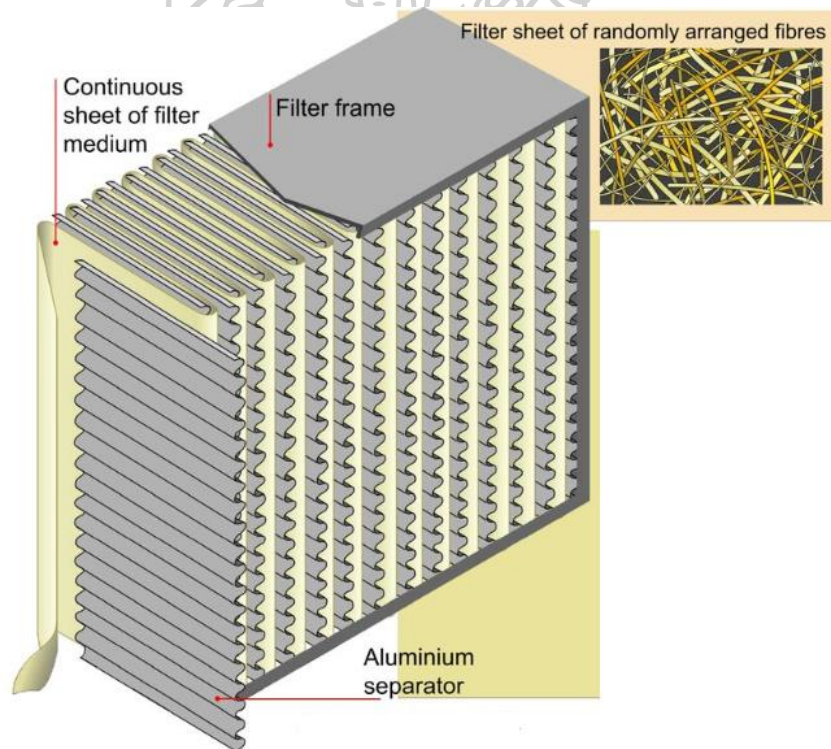
#### ส่วนประกอบภายใน HEPA filter

ปัจจุบัน HEPA filter ที่ใช้ในตู้ชีววินัย ทำด้วย boron silicate fiber หรือ glass fiber เคลือบด้วยสารกันน้ำที่ประกอบเป็นเส้น fiber สานไปมา ก่อให้เกิดช่องว่าง (air space) ระหว่างกันของเส้น fiber มีขนาดอย่างน้อย 0.3 ไมครอน จากภาพขยาย filter (รูปที่ 5) จะเห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางช่องว่าง (open space) หรือรูผ่านกรอง (pore size) มีหลายขนาดต่างๆ กัน แต่สามารถดักจับอนุภาคเชื้อได้ แผ่นกรองจะถูกพับกลับไปมา (pleating) เพื่อเพิ่มพื้นที่และคั่นด้วยแผ่น aluminium (รูปที่ 6) ป้องกันไม่ให้แผ่นกรองลึ้ม หรือพับจากแรงกระแสมภายในตู้ชีววินัย และยังเป็นทางให้กระแสลมไหลผ่านได้



รูปที่ 5 แผ่นกรอง HEPA ดักจับเชื้อโรค และภาพถ่ายกำลังขยาย 500 เท่า แสดงรูหรือช่องเปิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 13



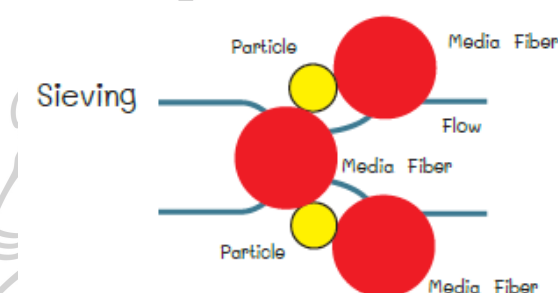
รูปที่ 6 ลักษณะของการขดพับแผ่น HEPA filter ที่มีการซ้อนทับหลายชั้น

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 13



รูของแผ่นกรอง HEPA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 0.3 ไมครอนหรือมากกว่า แต่สามารถดักจับอนุภาคที่ลอยอยู่ในกระแสลมของเชื้อไวรัส หรือแบคทีเรีย ที่มีขนาดแค่ 0.001 – 10 ไมครอน หรือ 0.0001 – 0.01 มิลลิเมตร ได้ กลไกที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับเส้นใย มี 4 วิธี ดังนี้

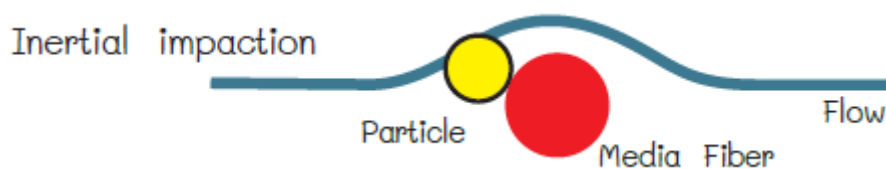
1. **Sieve effect** เป็นกลไกการยับยั้งอนุภาคที่ใหญ่กว่า pore size ของ filter (0.3 ไมครอน หรือมากกว่า) ไม่ให้ผ่านออกไปได้ คล้ายกับตะแกรงร่อนทราย ดังนั้นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ส่วนหนึ่ง จะ ถูกดักจับไว้ด้วยวิธี Sieve effect



รูปที่ 7 Sieve effect

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราชนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้อง ปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 15.

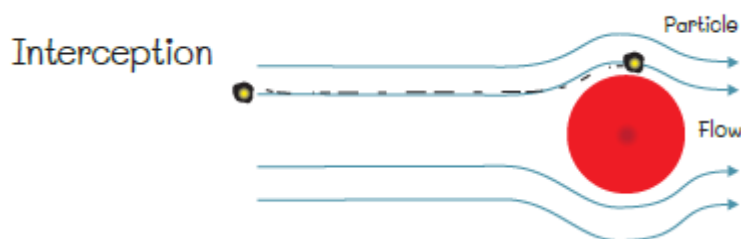
2. **Inertial impaction** เป็นอีกกลไกหนึ่งที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคที่ใหญ่กว่า 0.3 ไมครอน ไม่ได้เคลื่อนตามไปกับกระแสลม แต่เคลื่อนด้วยความเฉื่อยของตัวเอง จึงหลุดออกจากกระแสลม ร่วงมาชนและถูกดักจับไว้ที่เส้นใย ของ filter



รูปที่ 8 Inertial impaction

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราชนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้อง ปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 15.

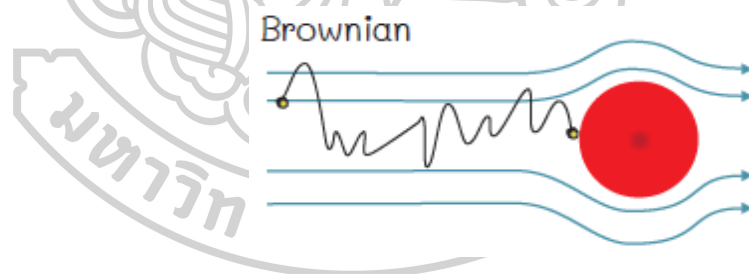
3. **Interception** เป็นกลไกหนึ่งที่ทำให้อนุภาคที่ใหญ่กว่า 0.1 ไมครอนถูกดักจับไว้ อนุภาคที่มีขนาดเบา เหล่านี้จะเคลื่อนไปตามกระแสลม และถูกดักจับไว้ที่เส้นใยของ filter เมื่อเคลื่อนไปอยู่ใกล้กับกระแสลม



รูปที่ 9 Interception

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราชนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 15.

4. **Brownian diffusion** วิธีนี้เกิดกับอนุภาคที่เล็กกว่า 0.1 ไมครอน ที่เคลื่อนในกระแสลม และวิ่งชนกับโมเลกุลแก๊สในทิศทางลมทำให้เกิดการเคลื่อนตัวแบบซิกแซก (zigzag) และถูกดักจับไว้ที่ fiber ในที่สุด



รูปที่ 10 Brownian diffusion

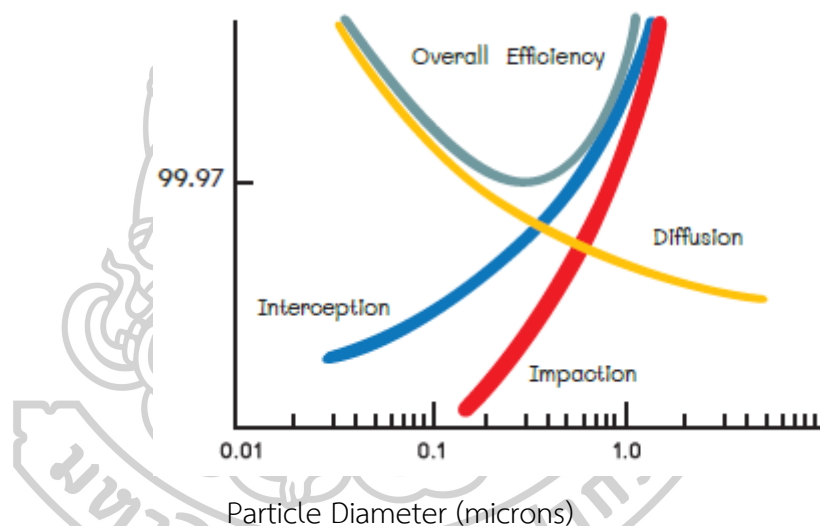
ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราชนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 16.

จากภาพข้างต้นจึงสรุปได้ว่า อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือเล็กกว่า pore size ของ HEPA filter จะถูกดักจับไว้ได้เกือบทั้งหมด โดยประสิทธิภาพของ HEPA filter จะบอกความสามารถของแผ่นกรองในการดักจับอนุภาค ซึ่งจะถูกกำหนดค่าเป็นปริมาณหรือเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่ถูกดักจับ

ไว้บน HEPA filter และกำกับด้วยขนาดของอนุภาคที่ใช้ทดสอบ ตามประสิทธิภาพของ filter ด้วย ซึ่งเขียนได้ดังนี้

“ประสิทธิภาพ HEPA 99.97% ที่ขนาดอนุภาค 0.3 ไมครอน”

ตัวเลขทั้งสองมีความหมายว่าสามารถดักจับอนุภาคบนแผ่นกรองได้ 99.97% และมีอนุภาคเพียง 0.03% ที่เล็ดลอดไปได้ แต่อนุภาคที่ขนาดใหญ่กว่าหรือเล็กกว่า 0.3 ไมครอน (กลุ่มเชื้อแบคทีเรีย และไวรัส) จะถูกดักจับไว้ได้หมด ตามกราฟที่แสดงประสิทธิภาพการดักจับอนุภาค และขนาดของอนุภาค (รูปที่ 11) อนุภาคขนาด 0.3 ไมครอน ถูกดักจับได้ 99.97% ในขณะที่ขนาดใหญ่กว่าและน้อยกว่า 0.3 ไมครอน จะถูกดักจับได้มากกว่า หรือ 100%



รูปที่ 11 ขนาดของอนุภาค และความสามารถของแผ่น HEPA ในการดักจับอนุภาค

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 17.

### ข้อมูลจำเพาะ (Specification) ของ HEPA filter และการทดสอบ

(สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย, 2557), หน้า 17

- ตามมาตรฐานตู้ชีวนิรภัยของอเมริกา (NSF 49) ตู้ชีวนิรภัย คลาส II ให้ใช้ HEPA filter type C ที่มีประสิทธิภาพ 99.99% ที่ขนาดอนุภาค 0.3 ไมครอน

- ตามมาตรฐานตู้ชีวนิรภัยของยุโรป (EN12469) ใช้ filter type H14 ที่มีประสิทธิภาพ 99.995% ที่ขนาดอนุภาค 0.3 ไมครอน

การทดสอบประสิทธิภาพของ HEPA filter ว่าเป็นไปตามมาตรฐานหรือไม่ ทำการทดสอบโดยใช้สาร Polyalphaolefin (PAO) ที่รูขนาดของอนุภาคสารแล้ว คือ 0.3 ไมครอน พ่นเข้าไปที่แผ่น filter แล้ววัดปริมาณสารที่หลุดออกมาจาก filter ถ้ามีปริมาณมากกว่าที่กำหนดก็แสดงว่าเกิดการรั่วที่แผ่น filter แล้ว ต้องเปลี่ยนแผ่นกรองใหม่ก่อนใช้งานตู้

### การใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย

(สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย, 2557), หน้า 42-47

การตรวจสอบประสิทธิภาพของตู้ชีวนิรภัย (Performance verification) ดำเนินตามมาตรฐานสากล โดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้ผ่านการรับรองซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ การตรวจสอบตู้ชีวนิรภัยมี 4 แบบ ได้แก่

- 1) การตรวจรับตั้งแต่แรกรับเครื่อง
- 2) การตรวจตามระยะเวลาหรือรอบที่กำหนด เช่น ปีละครั้ง
- 3) การตรวจเครื่องเมื่อมีการย้ายสถานที่ติดตั้ง
- 4) การตรวจเครื่องเมื่อมีการซ่อมใหญ่ เช่น เปลี่ยน HEPA filter

รายละเอียดในการตรวจสอบ มีดังนี้ inflow velocity, downflow velocity, exhaust velocity, smoke test, HEPA filter leak test อาจรวมถึงสัญญาณเตือน, ไฟฟ้ารั่ว, ความสว่าง และความดัง เป็นต้น

มาตรฐานการสอบเทียบ เลือกใช้จากมาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตระบุว่าตู้ชีวนิรภัยได้รับการสอบเทียบตามมาตรฐานใด เช่น มาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนด, มาตรฐาน NSF หรือ มาตรฐาน EN12469 เป็นต้น ส่วนการประเมินรับรองสภาพการทำงานของตู้ เพื่อตรวจสอบระบบที่เกี่ยวกับการป้องกันการปนเปื้อนเชื้อ ประกอบด้วยรายการหลัก ดังนี้

**1) Downflow velocity test** เป็นการวัดความเร็วลมที่ไหลเวียนลงไปยังพื้นที่ปฏิบัติงานในตู้ชีวนิรภัย โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า air velocity meter ตำแหน่งที่วัด และจำนวนตำแหน่ง จะขึ้นกับขนาดของตู้ชีวนิรภัย และตามมาตรฐานการสอบเทียบจะให้วัดเหนือระยะขอบล่างของกระจกขึ้นมา 4 นิ้ว

**2) Inflow velocity test** เป็นการวัดความเร็วลมที่ไหลเข้าตู้ชีวนิรภัยทางหน้าต่าง โดยตรง (direct inflow measurement) โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า DIM-balancing hood แนบกับ



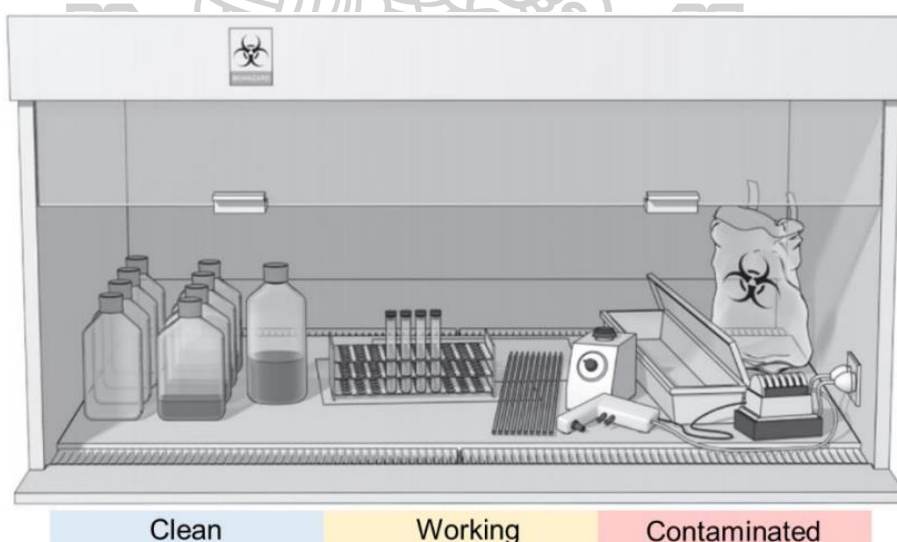
ช่องเปิดด้านหน้าของตู้ ให้ลมไหลผ่าน DIM-balancing hood เพียงทางเดียว เครื่องจะแสดงปริมาณการไหลเวียนของอากาศที่เข้าตู้ชีววิทย จากนั้นคำนวณให้เป็นความเร็วลมที่เข้าตู้ตามความกว้างของช่องเปิดหน้าต่างด้านหน้า (sash)

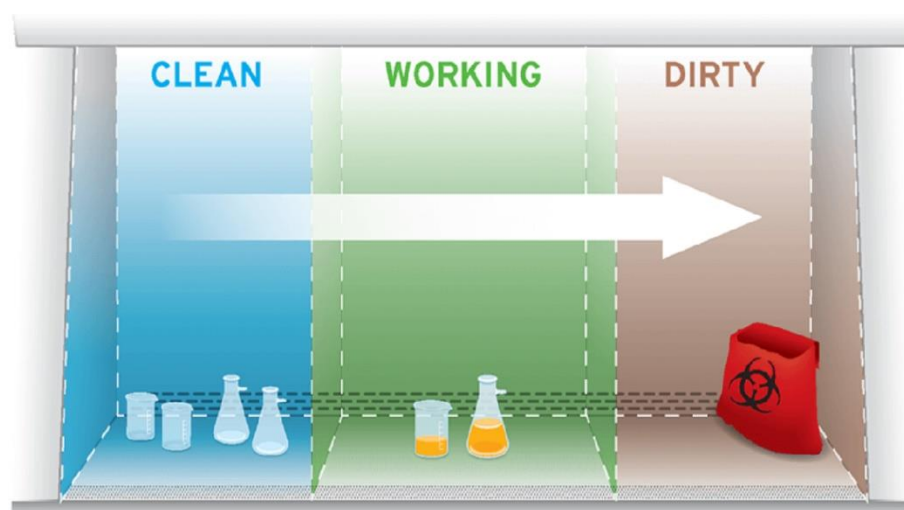
**3) HEPA filter leak test** เป็นการทดสอบหารอยรั่วของ main และ exhaust HEPA filter โดยใช้สาร PAO ที่ทำให้เป็นอนุภาคขนาดเล็กคล้ายควันด้วยเครื่อง aerosol generator ปล่อยเข้าไปในตู้ชีววิทย แล้วใช้เครื่อง aerosol photometer วัดปริมาณ aerosol ที่ผ่าน filter ออกมา ถ้าวัดได้เกินมาตรฐานแสดงว่ามีการรั่วเกิดขึ้น

**4) Airflow smokes pattern test (Smoke test)** เป็นการทดสอบรูปแบบการไหลของอากาศ โดยใช้ smoke generator ปล่อยควันเข้าในตู้ เพื่อดูว่าอากาศไหลเข้าอย่างเหมาะสมและปล่อยควันภายในตู้ เพื่อดูว่าอากาศภายในตู้มีทิศทางการไหลจากบนลงล่าง ไหลเข้า front grille และ rear grille และไม่ไหลย้อนออกนอกตู้

ทั้งนี้การทำงานของตู้ชีววิทยจะอาศัยการกรองของ HEPA filter ให้ได้อากาศที่สะอาดในพื้นที่ทำงาน (Clean Particle-Free Air) โดยทั่วไปแล้วแบ่งส่วนใช้งานเป็น 3 ส่วน

1. วางสิ่งของทำงานให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางตู้ หรือประมาณ 4 นิ้ว ห่างจากช่องลมด้านหน้าตู้ (Front grille) และไม่ปิดกั้นช่องด้านหลัง (Rear grille) และด้านข้างของตู้
2. แบ่งพื้นที่การปฏิบัติงานออกเป็น 3 ส่วนคือ พื้นที่สะอาด พื้นที่ปฏิบัติงาน และพื้นที่ปนเปื้อน ดังรูปที่ 12





รูปที่ 12 การแบ่งพื้นที่การปฏิบัติงานในตู้ชีวนิรภัย

ที่มา (รูปบน) : ฉันทยาภรณ์ ไวยโกศา (2563). การใช้งานตู้ชีวนิรภัย (Biological Safety Cabinet). จาก <https://rims.medicine.psu.ac.th/booking-page/uploads/files/161f78261d03f0WI%20การใช้งานตู้ชีวนิรภัย.pdf>

(รูปล่าง): Setting Up the Class II Biosafety Cabinet Work Zone for the Biomedical/ Microbiological Work. จาก <https://www.nuaire.com/resources/setting-up-class-ii-biosafety-cabinet-work-zone-for-biomedical-microbiological-work>

### อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE)

ในการปฏิบัติงานกับตัวอย่างที่อาจมีเชื้อก่อโรค หรือทำการตรวจสอบประสิทธิภาพตู้ชีวนิรภัยที่ใช้กับการปฏิบัติงานที่เสี่ยงกับการติดเชื้อ ผู้ปฏิบัติงานควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (PPE) ตามความเหมาะสม ได้แก่

1. เสื้อกาวน์ (laboratory coat) ใช้สวมทับชุดปรกติระหว่างปฏิบัติงาน การปฏิบัติงานกับเชื้อในความเสี่ยงระดับ 1 และ 2 สามารถใช้เสื้อกาวน์ที่ผ่าด้านหน้า แต่หากเป็นการปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการชีวนิรภัยระดับ 3 (BSL-3) ควรใช้เสื้อกาวน์ชนิดแขนยาวชนิดปิดด้านหน้า มียางยึดรัดบริเวณข้อมือ หากใช้เสื้อกาวน์ผ่าควรใช้ครั้งเดียว แล้วนำไปซักล้าง

2. ถุงมือ (glove) ถุงมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการแบ่งได้เป็นหลายประเภท ถุงมือที่ใช้กับงานทางชีววิทยามักทำจาก Vinyl หรือ Latex ก่อนใช้ถุงมือทุกครั้งควรตรวจสอบสภาพของถุงมือก่อนใช้ และหลังปฏิบัติงานควรถอดถุงมือเป็นอันดับแรก เพราะจะมีการปนเปื้อนมากที่สุด

3. หน้ากาก เช่น หน้ากากอนามัย (surgical mask) ควรใส่ในกรณีปฏิบัติงานที่อาจเกิดการฟุ้งกระจาย การปฏิบัติงานกับเชื้ออันตรายอาจพิจารณาใส่หน้ากากอนามัยชนิด N95 และผู้ปฏิบัติงานต้องทำการทดสอบความแนบกระชับสำหรับหน้ากากกรองอากาศ (mask fit test) เป็นประจำ

4. อุปกรณ์อื่นๆ อาจใส่อุปกรณ์อื่นตามความจำเป็น และเหมาะสม เช่น กระจังป้องกันใบหน้า (Face shield), หรือถุงคลุมเท้า (Shoe cover) เป็นต้น

### งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้งานตู้ชีวนิรภัยในการปฏิบัติงานด้านจุลชีววิทยา

จากสถานการณ์ภาวะโลกร้อนมีอิทธิพลต่อการแพร่ระบาดของเชื้อจุลชีพก่อโรคที่สูงขึ้น รวมถึงโรคอุบัติใหม่ ครอบคลุมกลุ่มแบคทีเรียก่อโรคต่างๆ เช่น *Brucella* spp., *Mycobacterium tuberculosis*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Rickettsia* spp., และ *Neisseria meningitidis* หรือกลุ่มไวรัส เช่น human immuno-deficiency virus (HIV), hepatitis B virus (HBV), และ hepatitis C virus (HCV) รวมถึงเชื้อรา กลุ่ม dimorphic fungi ด้วย (Peng H., Bilal M., & Iqbal H.M.N., 2018) ทำให้มีการเสนอแนวทางการลดความเสี่ยงการติดเชื้อของผู้ปฏิบัติงานหรือแพร่กระจายเชื้อจากห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นการเตรียมการและรับมือ ได้แก่ การกำหนดมาตรการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพในห้องปฏิบัติการ การอบรมผู้ปฏิบัติงาน และฝึกปฏิบัติการทำงานอย่างถูกต้อง นอกจากนี้ควรมีการจัดอบรมเพื่อให้ทราบถึงการแพร่ระบาด ช่องทางการติดเชื้อและกลไกการก่อโรค เพื่อการป้องกันและการรับมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการสำรวจความรู้ความเข้าใจ และการตระหนักถึงมาตรการความปลอดภัยทางชีวภาพ และการกำจัดขยะติดเชื้ออย่างถูกวิธีของบุคลากรในหน่วยงานที่มีการทำงานเกี่ยวข้องกับผู้ป่วยโรคติดเชื้อต่างๆ เช่น โรงพยาบาล และธนาคารเลือด จากการสำรวจโรงพยาบาลของเมือง Karachi ประเทศปากีสถาน (Hakim, Nadeem, Tayyab, & Kazmi, 2012) พบว่า มีหน่วยงานเพียง 20 แห่ง (ร้อยละ 8) จากที่สำรวจทั้งหมด 250 แห่ง ที่มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยในการทำงาน นอกจากนี้ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสิ่งส่งตรวจ มีความรู้ความเข้าใจ และการตระหนักถึงความเสี่ยงต่อเชื้อก่อโรคมักค่อนข้างต่ำ และมีความต้องการเข้าร่วมกิจกรรมอบรม สัมมนา เพื่อเรียนรู้ ทำความเข้าใจถึงแนวทางปฏิบัติที่ถูกต้อง

สำหรับประเทศไทยนั้น ปัจจุบันมีการใช้ตู้ชีวนิรภัยเพิ่มมากขึ้นในหน่วยงานต่างๆ เช่น ห้องปฏิบัติการสิ่งส่งตรวจทางการแพทย์ ห้องปฏิบัติการงานวิจัย และการศึกษาของสถานศึกษา อย่างไรก็ตาม ยังมีงานวิจัยหรือรายงานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานตู้ชีวนิรภัยน้อยมาก นับว่าเป็นปัญหาสำคัญ เนื่องจากมีการรายงานถึงผลการสำรวจห้องปฏิบัติการหลายแห่งที่มีการใช้งานตู้ชีวนิรภัยแต่เป็นไปอย่างไม่ถูกต้อง และขาดการตรวจสอบประสิทธิภาพที่ได้มาตรฐานและการบำรุงรักษาอย่าง

สม่ำเสมอ มีผลอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและการแพร่กระจายเชื้อที่ศึกษาสู่สภาพแวดล้อม (บุญช่วย เอี่ยมโกศลภ, 2557)

นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงอุบัติเหตุการระเบิดเนื่องจากการใช้ตะเกียงบุนเสน (Bunsen burner) อย่างผิดวิธีภายในตู้ชีวนิรภัย (Al-Dahhan, Al-Zuhairi, Hussein, Rodda, & Yousif, 2016) ผู้ประสบเหตุเป็นนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา (Master's degree) สาเหตุการระเบิดเกิดจากการสะสมของแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquid Petroleum Gas, LPG) ในช่วงเปิดเครื่องนาน 3 – 5 นาที ก่อนเริ่มใช้งาน และเกิดระเบิดขึ้นเมื่อนักศึกษาจุดไฟ ทั้งนี้ แม้ว่าแผ่นกรอง HEPA ภายในตู้ชีวนิรภัย จะสามารถกักจับอนุภาคและเชื้อจุลชีพ แต่ไม่สามารถกักจับไอระเหยออกจากอากาศที่หมุนเวียน ภายในตู้ได้ จึงเกิดการสะสมของแก๊ส และระเบิดเมื่อมีการจุดไฟขึ้น

ปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จในการจัดการมาตรการด้านความปลอดภัยทางชีวภาพในห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น ห้องปฏิบัติการที่มีระดับความปลอดภัยทางชีวภาพระดับ 3 ซึ่งจำเป็นต้องมีการปฏิบัติงานในตู้ชีวนิรภัยทุกกรณีนั้น ประกอบด้วย การให้ความสำคัญต่อประเด็นความปลอดภัยทางชีวภาพต่อผู้ปฏิบัติงานและสภาพแวดล้อม การให้การสนับสนุนในทุกด้าน รวมถึงด้านการเงินอย่างเพียงพอ มีการออกแบบและติดตั้งโดยผู้เชี่ยวชาญ มีการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์โดยผู้เชี่ยวชาญ ความร่วมมือกันระหว่างผู้วิจัยและวิศวกรในการปฏิบัติงาน (Mourya D.T., Yadav P.D., Majumdar T.D., Chauhan D.S., & V.M., 2014) โดยปัจจัยเหล่านี้จะช่วยให้การจัดการและดำเนินงานของห้องปฏิบัติการภายใต้มาตรการความปลอดภัยด้านชีวภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

### รังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV light)

รังสีอัลตราไวโอเล็ต หรือยูวี มี 3 รูปแบบ โดยพิจารณาจากความยาวคลื่น คือ อัลตราไวโอเล็ต เอ (UV-A), อัลตราไวโอเล็ตบี (UV-B) และอัลตราไวโอเล็ตซี (UV-C) ดังมีรายละเอียด ต่อไปนี้

1. UV-A สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อผิวได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งร้ายก่อนวัย
2. UV-B ให้พลังงานผิวจำเป็นต่อการผลิตวิตามินดี อย่างไรก็ตามมีผลเสียโดยตรงต่อการทำให้ผิวไหม้แดด และการเสียหายของดีเอ็นเอ
3. UV-C ถูกกรองที่ชั้นบรรยากาศของโลก ดังนั้นจึงไม่สามารถซึมผ่านเข้ามาก่อให้เกิดอันตรายต่อผิวหนังได้

### คุณสมบัติของรังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ

รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ หรือรังสียูวีเอ (UV-A) มีอยู่อย่างต่อเนื่องในแสงแดดตลอดทั้งวัน ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วง 315 – 400 นาโนเมตร และชั้นบรรยากาศของโลกไม่สามารถป้องกันรังสี UV-A ได้ ทำให้เราต้องอยู่กับรังสี UV-A ตลอดเวลา แม้กระทั่งหลอดไฟบางชนิดก็สามารถปล่อยรังสี UV-A ออกมาได้เช่นกัน

- รังสี UV-A จะกระตุ้นเม็ดสีเมลานินที่อยู่ในเซลล์ผิวชั้นบน ทำให้ผิวเป็นสีน้ำตาลในระยะสั้น
- รังสี UV-A สามารถผ่านชั้นของเมฆ และหมอกควันได้อย่างไม่จำกัด
- รังสี UV-A สามารถทะลุผ่านกระจกและหน้าต่าง
- รังสี UV-A จะทะลุผ่านลงไปใ้ผิวชั้นล่าง (ชั้นหนังแท้) มีบทบาทสำคัญในการที่ผิวถูกทำร้ายจากแสงแดดในระยะยาวมากกว่าที่จะเกิดความเสียหายรุนแรง

ทั้งนี้ผลกระทบของการสัมผัสรังสี UV-A เป็นเวลานาน อาจก่อให้เกิดริ้วรอยผิวก่อนวัยอันควร ภูมิแพ้แสงอาทิตย์ที่ก่อให้เกิดผื่นหลายรูปแบบจากแสงแดด (Polymorphous Light Eruption, PLE) และผิวไวต่อแดด การกดภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดอันตรายที่ดวงตาและจอประสาทตาเกิดความเสียหาย และสุดท้ายคือการก่อตัวของอนุมูลอิสระส่งผลกระทบต่อดีเอ็นเอ ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ที่นำไปสู่เซลล์ผิวเพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นมะเร็งผิวหนังเมลาโนมา (Melanoma)

### คุณสมบัติของรังสีอัลตราไวโอเล็ตบี

รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี หรือรังสียูวีบี (UV-B) ความยาวคลื่นจะอยู่ในช่วง 280 – 315 นาโนเมตร ชั้นบรรยากาศของโลกสามารถป้องกันได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

- รังสี UV-B มีความผันผวนตลอดทั้งวัน โดยจะมีความเข้มข้นสูงในตอนเที่ยง
- รังสี UV-B จะกระตุ้นการผลิตเมลานินใหม่ ที่มีสีน้ำตาลดำติดทนนาน และกระตุ้นการผลิตเซลล์ผิวหนังชั้นนอกที่หนาขึ้น
- รังสี UV-B สามารถเผาไหม้ และก่อให้เกิดความเสียหายต่อผิวหนัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูร้อน และพื้นที่สูง
- รังสี UV-B สามารถเจาะลึกเข้าสู่ผิวได้น้อยกว่ารังสี UV-A แต่สามารถสร้างอนุมูลอิสระในทุกๆระดับของผิวชั้นหนังกำพร้า
- รังสี UV-B ส่งผลกระทบต่อดีเอ็นเอมากกว่ารังสี UV-A และเป็นสาเหตุที่สำคัญของการเสียหายของดีเอ็นเอ



- รังสี UV-B สามารถเจาะเข้าชั้นที่ลึกที่สุดของเซลล์ผิวหนังชั้นนอก และเป็นสาเหตุหลักการถูกทำร้ายจากดวงอาทิตย์แบบเฉียบพลัน

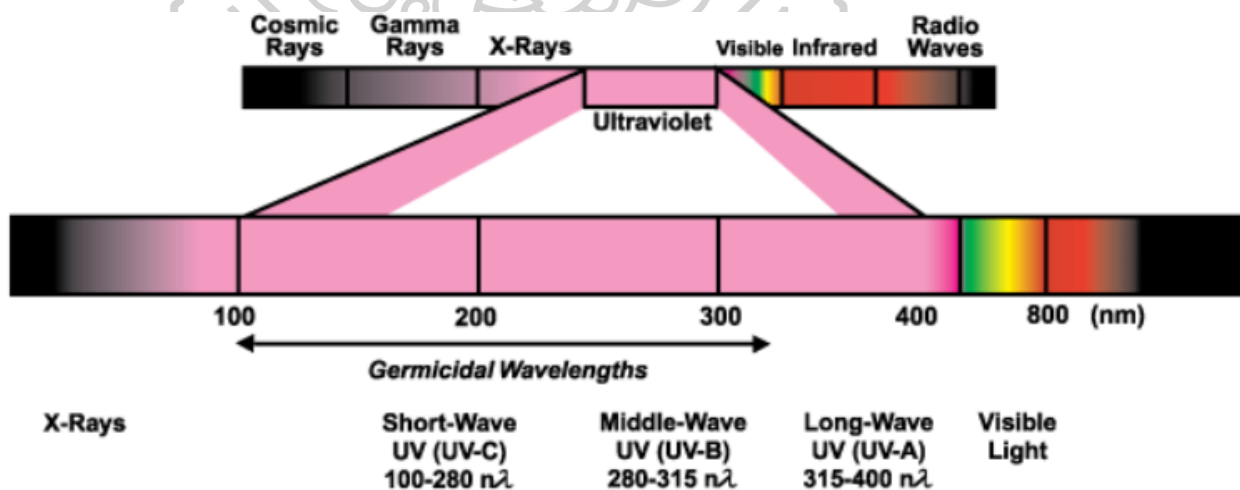
การสัมผัสรังสี UV-B เป็นเวลานานจะทำให้เกิดการผิวไหม้แดด หากจ้องมองเป็นเวลานานจะส่งผลต่อดวงตาและจอประสาทตาทำให้เกิดความเสียหาย และการทำร้ายดีเอ็นเอโดยตรง และโรคมะเร็งผิวหนัง

การฆ่าเชื้อบนพื้นผิวมีหลายวิธี นอกเหนือจากการใช้น้ำยาฆ่าเชื้อฟ่นหรือเช็ดบนพื้นผิว การใช้รังสีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถทำลายเชื้อที่อยู่บนพื้นผิวได้ โดยรังสีที่นำมาใช้สำหรับฆ่าเชื้อ คือ รังสียูวีซี (UV-C)

### คุณสมบัติของรังสีอัลตราไวโอเล็ตซี

รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี หรือรังสียูวีซี (UV-C) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความยาวคลื่น 100 – 280 นาโนเมตร รังสียูวีซีมีความสามารถในการทำลายเชื้อจุลชีพ หรือเรียกว่า Ultraviolet Germicidal Irradiation (UGI) ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรีย ไวรัส รา เส้นใย และยีสต์ เป็นต้น โดยจะทำลายโครงสร้างกรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของดีเอ็นเอและอาร์เอ็นเอของเชื้อจุลชีพที่ความยาวคลื่น 260 – 265 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่ดีเอ็นเอของเชื้อจุลชีพและอาร์เอ็นเอของไวรัสถูกทำลายได้ดีที่สุด

ในธรรมชาติจะไม่พบรังสียูวีซี เนื่องจากรังสีชนิดนี้ไม่สามารถผ่านชั้นโอโซนมายังผิวโลกได้ การใช้รังสีชนิดนี้เพื่อทำลายเชื้อจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดรังสี ได้แก่ UVC-LEDs, หลอดไอปรอท เป็นต้น



รูปที่ 13 แสดงการแบ่งช่วงคลื่นของรังสีอัลตราไวโอเล็ต

ที่มา : What is Germicidal Ultraviolet?, Accessed, 1995. จาก <https://ultraviolet.com/what-is-germicidal-ultraviolet/>



## ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ

ประสิทธิภาพของรังสียูวีซีในการทำลายเชื้อขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ได้รับ ความเข้ม และความยาวคลื่นของรังสี สำหรับการฆ่าเชื้อในอากาศหรือพื้นผิวสามารถประเมินประสิทธิภาพจากปริมาณรังสี หรือ UV dose ซึ่งเป็นปริมาณรังสีที่เชื้อสัมผัส ถ้าเชื้อจุลินทรีย์ปล่อยลอยอยู่ในอากาศผลของรังสีจะเทียบเท่ากับ UV dose แต่ถ้ามีฝุ่นละอองลอยอยู่ในอากาศร่วมด้วย ปริมาณรังสีที่สัมผัสกับเชื้อจุลินทรีย์อาจลดลง จึงต้องใช้ระยะเวลาในการทำลายเชื่อนานขึ้น

## การใช้รังสียูวีซีเพื่อฆ่าเชื้อ

- การฆ่าเชื้อในอากาศ

สามารถใช้ฆ่าเชื้ออากาศที่อยู่ในระบบปิด ไม่มีการเคลื่อนไหวของอากาศ โดยจะต้องมีการออกแบบให้บริเวณที่ต้องฆ่าเชื้อสัมผัสกับรังสีอย่างทั่วถึง หรือใช้การหมุนเวียนอากาศให้ผ่านหลอดกำเนิดรังสี เป็นต้น

- การฆ่าเชื้อในน้ำ

สามารถใช้รังสียูวีซีในการฆ่าเชื้อที่ปะปนอยู่ในน้ำได้ โดยอาศัยการหมุนวนของน้ำผ่านหลอดกำเนิดรังสียูวีซีภายในระยะเวลาช่วงหนึ่งเพื่อให้รังสีทำลายเชื้อโรคได้หมด นอกจากนี้รังสียูวีซียังสามารถกำจัดคลอรีนหรือสารกลุ่มคลอรามินที่ปะปนอยู่ในน้ำได้ด้วย อย่างไรก็ตามยูวีซีไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ หรืออนุภาคต่างๆ ที่ปะปนในน้ำได้

- การฆ่าเชื้อบนพื้นผิว

สามารถใช้รังสียูวีซีในการฆ่าเชื้อที่อยู่บนพื้นผิววัสดุ โดยรังสียูวีซีที่ใช้ต้องมีความเข้มของรังสี ระยะห่าง และระยะเวลาที่ใช้ต้องมีความเหมาะสมตามแต่ละชนิดของเชื้อที่ต้องการทำลาย จึงจะสามารถทำลายเชื้อได้

UV dose (หน่วยไมโครวัตต์วินาทีต่อตารางเซนติเมตร;  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) สามารถคำนวณโดยนำค่าความเข้มของรังสี หรือ UV intensity (หน่วยไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร;  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) คูณด้วยระยะเวลาที่สัมผัสรังสี หรือ exposure time (หน่วยวินาที; seconds) จากการศึกษาพบปริมาณรังสียูวีซีที่ใช้ทำลายเชื้อชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2 (ผกากรอง วนไพศาล, 2563)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อชนิดต่างๆ ด้วยรังสียูวีที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร

ชนิดของเชื้อ	UV dose ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อ	
	90%	100%
<b>แบคทีเรีย</b>		
<i>Bacillus anthracis</i> -Anthrax	4,520	8,700
<i>Bacillus anthracis</i> spore-Anthrax spores	24,320	46,200
<i>Clostridium tetani</i>	13,000	22,000
<i>Escherichia coli</i>	3,000	6,600
<b>สปอร์ของเชื้อรา</b>		
<i>Aspergillus flavus</i>	60,000	99,000
<i>Aspergillus niger</i>	132,000	330,000
<i>Mucor racemosus</i> A	17,000	35,200
<i>Penicillium expansum</i>	13,000	22,000
<i>Rhizopus nigricans</i>	111,000	220,000
<b>ไวรัส</b>		
Bacteriophage - <i>Escherichia coli</i>	2,600	6,600
Infectious Hepatitis	5,800	8,000
Influenza	3,400	6,600
Polio virus	3,150	6,600
<b>เชื้ออื่นๆ</b>		
ยีสต์ขนมปัง	6,000	13,200
<i>Chlorella vulgaris</i>	13,000	22,000
Nematode Eggs	45,000	92,000

การทดสอบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อไวรัสโคโรนา ที่ทำให้เกิดอาการทางเดินหายใจเฉียบพลันรุนแรง หรือ SARS-CoV ด้วยรังสียูวีซีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ระยะห่าง 3 เซนติเมตร ความเข้มแสง  $4,016 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  สามารถกำจัดเชื้อได้หมดภายในเวลา 15 นาที หากใช้ความเข้มแสง  $90 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  ที่ระยะห่าง 80 เซนติเมตร จะต้องใช้เวลา 60 นาที จึงจะทำลายเชื้อได้หมด จะเห็นว่าประสิทธิภาพการทำลายเชื้อขึ้นอยู่กับความเข้มแสงยูวีซี ระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสง และระยะเวลา ดังนั้นการใช้รังสียูวีซีเพื่อทำลายเชื้อให้ได้ประสิทธิผลต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าวร่วมด้วย

### การฆ่าเชื้อในตู้ชีวนิรภัย

ก่อนการใช้งานตู้ชีวนิรภัย ควรวางแผนปฏิบัติงานให้รอบคอบ มีการทำความสะอาดบนพื้นผิวด้านในตู้ ผนังตู้ภายในด้านข้างและด้านหลัง ด้วย 70% แอลกอฮอล์ เพื่อฆ่าเชื้อโรค การฆ่าเชื้อภายในตู้ชีวนิรภัยที่ผิดวิธี นอกจากจะมีโอกาสเกิดสารตกค้างที่ส่งผลต่อสุขภาพผู้ใช้งานและผู้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ ยังทำให้บ่อยครั้งที่ต้องเริ่มงานใหม่ เพราะเกิดการปนเปื้อนของเชื้อในเซลล์เพาะเลี้ยง ซึ่งส่งผลให้เสียเวลาและสูญเสียวัสดุคืบที่ใช้ในการทดลอง

### การใช้หลอดอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet lamp)

เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า แสงยูวีไม่สามารถทะลุทะลวงผ่านวัตถุไปได้ ยูวีสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้ที่พื้นผิววัตถุเท่านั้น จึงนิยมนำมาใช้ร่วมกับตู้ชีวนิรภัยเพื่อให้แสงยูวีทำลายเชื้อบนพื้นผิวตู้ แต่ปัญหาที่มักเกิดขึ้นก็คือ เมื่อมีอะไรไปปิดกั้นแสงไว้ เช่น มีการนำสิ่งของใช้งานมากมายมาเก็บไว้ในตู้ ก็ทำให้พื้นผิวบางส่วนเป็นแหล่งเก็บเชื้อได้ หรือที่เกิดขึ้นบ่อยมาก คือ มีฝุ่นละอองมาเกาะติดสะสมบนหลอดยูวี จึงทำให้แสงยูวีถูกบดบังไว้ ไม่ฆ่าทำลายเชื้อในอากาศหรือบริเวณที่ต้องการใช้ ดังนั้นถ้าเลือกใช้ยูวี ต้องจัดการดังนี้

- ต้องไม่เก็บสิ่งของต่างๆ ไว้ในตู้
- ดูแลบำรุงรักษาหลอดยูวี ทำความสะอาดฝุ่นละอองที่เกาะติดบนหลอด ออกไปอย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง
- ต้องตรวจสอบความเข้มของแสงยูวี ที่เปล่งแสงออกมาว่ามีค่าตามมาตรฐานของการทำลายเชื้อที่เหมาะสมหรือไม่ ซึ่งควรมีค่าไม่น้อยกว่า  $40 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ต้องคำนึงถึงเพื่อให้การทำงานของแสงอัลตราไวโอเล็ตมีประสิทธิภาพ (Burgener, 2006) ได้แก่

- ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่สูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ของแสงอัลตราไวโอเล็ตลดลงอย่างมาก

- อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลชีพได้ดีคือ 77 – 80 องศาฟาเรนไฮต์ ในสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นจะทำให้ค่าความยาวคลื่นของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่สามารถฆ่าเชื้อจุลชีพได้นั้นลดลง ทั้งนี้ การเคลื่อนที่ของอากาศในตู้ชีวนิรภัยที่ทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของแสงอัลตราไวโอเล็ต มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลชีพของแสงอัลตราไวโอเล็ตลดลงเช่นกัน

### การฆ่าเชื้อด้วยการฉีดพ่นแอลกอฮอล์

เนื่องด้วยข้อจำกัดหลายประการที่ได้กล่าวข้างต้นในการใช้แสงยูวี อีกทั้งการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้นักวิจัยมีความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งสูงขึ้นและเป็นอันตรายต่อดวงตา จึงเกิดคำถามเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ทั้งนี้มีหลายงานวิจัยทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตและไม่ใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการฆ่าเชื้อที่อยู่บนพื้นผิววัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนพื้นผิวต่างๆ ดังเช่นงานวิจัยต่อไปนี้

งานวิจัยของ Burgener, Lilly, and Company (2018) ได้กล่าวไว้ว่า ไม่มีความจำเป็นต้องใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตสำหรับการทำให้ตู้ชีวนิรภัยปลอดเชื้อหากมีเทคนิคการปฏิบัติงานที่ปลอดเชื้อซึ่งใช้สารฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับตู้ชีวนิรภัย เนื่องจากคู่มือการใช้สารฆ่าเชื้อจุลชีพของหน่วยงาน CDC หลายฉบับ รวมถึงกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข (2564) ได้รวบรวมผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า 70% เอทิลแอลกอฮอล์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อไวรัสโคโรนา หลังจากไวรัสสัมผัสกับ 70% เอทิล-แอลกอฮอล์ได้ 1 นาที เนื่องจากแอลกอฮอล์สามารถทำลายชั้นเยื่อหุ้มที่เป็นไขมัน หรือ envelope ซึ่งเป็นชั้นเยื่อหุ้มที่ไวรัสใช้ป้องกันอนุภาคไวรัสจากสิ่งแวดล้อมภายนอกนั่นเอง

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ashley, Kimberly, Alisha, Mike, and Joel (2020) รายงานว่า แสงยูวี และ 70% ไอโซโพลพิวแอลกอฮอล์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลชีพที่เปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกัน ซึ่งทั้งแสงอัลตราไวโอเล็ต และ 70% ไอโซโพลพิวแอลกอฮอล์ สามารถลดจำนวนจุลชีพบนพื้นผิวของโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ชำนาญการทางทันตกรรมได้ อย่างไรก็ตามเป็นเพียงการลดจำนวนจุลชีพไม่ได้ฆ่าเชื้อจุลชีพได้ทั้งหมดอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นควรพิจารณาความเหมาะสมในการใช้แสงยูวี และ 70% ไอโซโพลพิวแอลกอฮอล์สำหรับการฆ่าเชื้อจุลชีพ

นอกจากนี้ หน่วยงาน Environment, Health, and Safety (n.d.) แห่งมหาวิทยาลัย คอร์เนล (Cornell University) ได้จัดทำบทความในเรื่อง สิ่งที่ต้องหลีกเลี่ยงเมื่อใช้ตู้ชีวนิรภัย โดยได้กล่าวไว้ว่า อย่าพึ่งพาหลอดยูวี เนื่องจากแสงยูวีฆ่าเชื้อจุลชีพบนพื้นผิวได้ แต่ไม่สามารถฆ่าเชื้อจุลชีพได้ถึงด้านใต้ของวัตถุ อีกทั้งประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อก็อาจจะลดลงไป แม้ว่าหลอดจะยังเปล่งแสงอยู่ก็

ตาม รวมถึงได้เขียนไว้เกี่ยวกับการใช้วีสามารถนำมาใช้เป็นส่วนเสริมได้ แต่สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลชีพได้มีความน่าเชื่อถือในการนำมาใช้มากกว่า



## บทที่ 3

## สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

## อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิต (model)
1 กล้องจุลทรรศน์	Olympus (CX23LEDRFS1)
2 ขวดรูปชมพู่	Kima
3 เครื่องชั่งสารละเอียดแบบดิจิตอล	Sartorius (BSA224S-CW)
4 เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ	Hirayama (HVE-25/50)
5 งานเพาะเชื้อชนิดแก้ว	Kima
6 ตู้บ่มเชื้อ	Gallenkamp
7 ตู้ชีวนิรภัย คลาส II	ESCO (LA2-6A1)
8 ตู้ชีวนิรภัย คลาส II	Scantaf (MARS 1200)
9 ตู้ชีวนิรภัย คลาส II	Ehret (V-190)
10 ปีกเกอร์	Kima
11 ท่างเขี่ยเชื้อ	Kima
12 Air velocity meter	TSI (9535-A)
13 DIM-balancing hood	TSI (8380)
14 Aerosol photometer	ATI (2I)
15 Aerosol generator	ATI (6D)
16 Smoke machine	Pea Soup (Tiny FX)

## สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	บริษัทผู้ผลิต
1 Absolute ethanol	HIMEDIA
2 Agar	HIMEDIA
3 Plate count agar (PCA)	HIMEDIA
4 Potato dextrose agar (PDA)	HIMEDIA
5 Poly Alpha Olefin (PAO)	ATI



## วิธีการทดลอง

### 1. การตรวจสอบประสิทธิภาพของตู้ชีวนิรภัย (performance verification)

1.1) การตรวจสอบประสิทธิภาพของตู้ชีวนิรภัย ดำเนินตามมาตรฐานสากลโดยผู้เชี่ยวชาญที่ได้ผ่านโปรแกรมการรับรองมาตรฐานภาคสนามของตู้ชีวนิรภัย (Biosafety Cabinet Field Certifier Basic Accreditation Program) จากสถาบัน Eagleson การตรวจสอบตู้ชีวนิรภัยจะทำการตรวจเมื่อ 1) การตรวจรับตั้งแต่แรกรับเครื่อง 2) การตรวจตามระยะเวลาหรือรอบที่กำหนด (เช่น ปีละครั้ง) 3) การตรวจเครื่องเมื่อมีการย้ายสถานที่ติดตั้ง และ 4) การตรวจเครื่องเมื่อมีการซ่อมใหญ่ เช่น เปลี่ยน HEPA filter

รายละเอียดในการตรวจสอบมี 4 รายการ โดยผู้วิจัยได้เรียงลำดับการตรวจ ดังนี้ 1) inflow velocity, 2) downflow velocity, 3) HEPA filter leak test, และ 4) smoke test สำหรับการตรวจ exhaust velocity เป็นวิธีการทางเลือกในการวัดความเร็วลมที่เข้ามาบริเวณด้านหน้าตู้ (inflow velocity) ในกรณีที่ผู้ตรวจสอบไม่ได้ใช้ DIM-balancing hood ดังนั้น ในการดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัยครั้งนี้ จึงไม่ได้ทำการตรวจ รวมถึงสัญญาณเตือน ไฟฟ้ารั่ว ความสว่าง และความดัง ซึ่งไม่ถือเป็นรายการหลัก จึงไม่ได้ทำการตรวจเช่นกัน

มาตรฐานการสอบเทียบ เลือกใช้จากมาตรฐานที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้ในคู่มือการใช้งานของตู้ชีวนิรภัยแต่ละรุ่น เช่น มาตรฐาน NSF หรือ มาตรฐาน EN12469 เป็นต้น

#### ตารางที่ 3 มาตรฐาน NSF และ EN12469 สำหรับตู้ชีวนิรภัย

เกณฑ์	มาตรฐาน NSF	มาตรฐาน EN12469
การใช้งาน	ใช้สำหรับ BSC คลาส II เท่านั้น เป็นมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา	ใช้สำหรับ BSC คลาส I, II และ III เป็นมาตรฐานของประเทศในเครือสหภาพยุโรป
การวัด Inflow	Min. = 100 ft/min หรือ 0.51 m/s	≥ 0.40 m/s
การวัด downflow	แล้วแต่รุ่น โดยทั่วไป = 0.25 – 0.40 m/s	0.25 – 0.50 m/s
ค่า uniformity *	± 25% ของค่าเฉลี่ย หรือ ≥ 0.081 m/s	± 20% ของค่าเฉลี่ย

\* uniformity = ความสม่ำเสมอของความเร็วลม downflow ในแต่ละตำแหน่งที่วัด

การประเมินรับรองสภาพการทำงานของผู้ชีวนิรภัย ดำเนินการโดยตรวจสอบระบบที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันการปนเปื้อนเชื้อจุลชีพ ประกอบด้วยรายการหลัก ดังนี้

**1) Downflow velocity test** เป็นการวัดความเร็วลมที่ไหลเวียนลงไปยังพื้นที่ปฏิบัติงานในตู้ชีวนิรภัย โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า air velocity meter ตำแหน่งที่วัด และจำนวนตำแหน่ง จะขึ้นกับขนาดของตู้ชีวนิรภัย และตามมาตรฐานการสอบเทียบจะให้วัดเหนือระยะขอบล่างของหน้าต่างกระจกด้านหน้าขึ้นมา 4 นิ้ว

**2) Inflow velocity test** เป็นการวัดความเร็วลมที่ไหลเข้าสู่ทางหน้าต่างโดยตรง (direct inflow measurement) โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า DIM-balancing hood แนบกับช่องเปิดด้านหน้าของตู้ ให้ลมไหลผ่าน DIM-balancing hood เพียงทางเดียว เครื่องจะแสดงปริมาณการไหลเวียนของอากาศที่เข้าสู่ตู้ชีวนิรภัย จากนั้นคำนวณให้เป็นความเร็วลมที่เข้าสู่ตามความกว้างของช่องเปิดหน้าต่างด้านหน้า (sash)

**3) HEPA filter leak test** เป็นการทดสอบหารอยรั่วของ main และ exhaust HEPA filter โดยใช้สาร polyalphaolefin (PAO) ที่ทำให้เป็นอนุภาคขนาดเล็กคล้ายควันด้วยเครื่อง aerosol generator ปล่อยเข้าไปในตู้ชีวนิรภัย แล้วใช้เครื่อง aerosol photometer วัดปริมาณ aerosol ที่ผ่าน HEPA filter ออกมา ถ้าวัดได้เกินมาตรฐานแสดงว่ามีการรั่วเกิดขึ้น

**4) Airflow smokes pattern test (Smoke test)** เป็นการทดสอบรูปแบบการไหลของอากาศ โดยใช้ smoke generator ปล่อยควันเข้าไปในตู้ เพื่อดูว่าอากาศไหลเข้าอย่างเหมาะสมและปล่อยควันภายในตู้ เพื่อดูว่าอากาศภายในตู้มีทิศทางการไหลจากบนลงล่าง, ไหลเข้า front grille และ rear grille และไม่ไหลย้อนออกนอกตู้

ในการศึกษาขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง และได้ดำเนินการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัยร่วมกับผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ประจำจากศูนย์ความร่วมมือไทย-สหรัฐฯ ด้านสาธารณสุข (Thailand MOPH – U.S. CDC Collaboration) เพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติม จากนั้นทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

## 1.2) การรายงานผลการตรวจรับรอง

รายงานการตรวจรับรอง โดยจะระบุวิธีการทดสอบ และข้อมูลที่วัดได้ของแต่ละการทดสอบ โดยละเอียด เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเก็บรายงานนี้ไว้เป็นหลักฐานการตรวจรับรอง โดยที่ข้อกำหนดของรายงานการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัยที่ผู้ใช้งานจะต้องได้รับ ประกอบด้วย

**1) สติกเกอร์การตรวจรับรอง** (รูปที่ 14) จะเป็นการสรุปการตรวจรับรองอย่างย่อติดไว้ที่ตู้ชีวนิรภัย จะต้องมียาละเอียด ดังนี้

- วันที่ทำการตรวจรับรอง และวันที่ทำการตรวจรับรองครั้งต่อไป

- เลขที่รายงานการตรวจรับรอง (Report number)
- ชื่อผู้รับผิดชอบในการตรวจรับรอง เบอร์ติดต่อ และลายเซ็น

**CERTIFICATE OF COMPLIANCE**



**BSC:**

Test report no. \_\_\_\_\_ MFG. \_\_\_\_\_

Model \_\_\_\_\_ Serial no. \_\_\_\_\_

Series \_\_\_\_\_ Class. I II III Type. A B C Other \_\_\_\_\_

Location \_\_\_\_\_ Test date \_\_\_\_\_

Due date \_\_\_\_\_ or after HEPA filters are replaced, or unit is relocated.

**This Certifies That The Following Tests:**

Inflow velocity (IF)     Downflow velocity (DF)     Filter leak/seal

Airflow smoke pattern     Site installation/sash alarm

**Were in Accordance with:**

MFG's specifications     NSF-49     Other \_\_\_\_\_

**At The Time of Testing:**

Downflow velocity \_\_\_\_\_ Inflow velocity \_\_\_\_\_

Blower (%V) \_\_\_\_\_ Magnehelic gauge \_\_\_\_\_ inches/mm of water

Pass     Fail : HEPA filter leak, \_\_\_\_\_ velocity \_\_\_\_\_, Smoke pattern incorrect

**Certified By:** \_\_\_\_\_

Certification at regular intervals is required for safe operation and maximum performance of BSC



Certificate No. **CS102500-04**

CDC DGHP Lab Branch, DMSC 2, Ministry of Public Health, Nonthaburi  
Thailand 11000. Tel: **+662-500-0600 ext-205** E-mail: **hqs1@cdc.go.th**

#### รูปที่ 14 สติกเกอร์การตรวจรับรอง

2) รายงานการตรวจรับรอง ให้ผู้ใช้งานเก็บไว้เป็นหลักฐาน เพื่อตรวจสอบผลการตรวจรับรองในภายหลัง จะต้องมียละเอียด ดังนี้

- วันที่ทำการตรวจรับรอง และวันที่ทำการตรวจรับรองครั้งต่อไป
  - ข้อมูลของผู้ซื้วนิรภัย ได้แก่ class, type, manufacturer, รุ่น (model), serial number, สถานที่ติดตั้ง และรายละเอียดอื่นๆ ตามความเหมาะสม
  - วิธีการตรวจรับรอง ก็คือ มาตรฐานที่เลือกใช้ตามข้อกำหนดของผู้ซื้วนิรภัย
  - ค่าที่ตรวจวัดได้ของแต่ละรายการทดสอบ ควรระบุตำแหน่งที่วัด และค่าที่ได้
  - ค่าการยอมรับของแต่ละการทดสอบ
  - สรุปผลการทดสอบในแต่ละรายการ (ผ่าน/ไม่ผ่าน)
- 3) ผู้ตรวจรับรอง เป็นผู้ที่ผ่านการเข้าร่วมการอบรม และสอบผ่านเกณฑ์การตรวจรับรองผู้ซื้วนิรภัย ที่จัดขึ้นจากสถาบันด้านความปลอดภัยและสาธารณสุข ได้แก่
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์

– สมาคมสุขาภิบาลแห่งชาติ (National Sanitation Foundation, NSF) ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นต้น

**4) อุปกรณ์ที่นำมาตรวจรับรอง** ต้องแนบหลักฐานการฝึกอบรมของผู้สอบเทียบ และหลักฐานการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ ดังนี้

– ข้อมูลของอุปกรณ์ ได้แก่ manufacturer, model, serial number และสถานที่ติดตั้ง

– วันตรวจรับรอง (calibration date) อุปกรณ์นั้นๆ

**1.3) เปรียบเทียบผลการตรวจรับรอง** จากห้องปฏิบัติการของสถาบันการศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยตัวชี้วัดประกอบด้วย ผลการตรวจรับรองปีแรกกับปีที่สอง โดยการเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เช่น จำนวนผู้ชีวนิรภัยที่ตรวจสอบผ่านกับไม่ผ่านในแต่ละปี หรือเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยแต่ละแห่ง เป็นต้น

**1.4) รวบรวม สรุป และวิเคราะห์ข้อมูล** เพื่อกำหนดแนวทางการเสริมสร้างขีดความสามารถด้านความปลอดภัยทางชีวภาพในสถาบันการศึกษาในประเทศไทย

**2. การศึกษาเปรียบเทียบอัตราการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ในผู้ชีวนิรภัย คลาส II ที่มีกรมาเชื้อโดยใช้กับไม่ใช่แสงอัลตราไวโอเล็ต**

2.1) การศึกษานี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐม ประเทศไทย มีการใช้ผู้ชีวนิรภัย คลาส II จำนวน 4 ตู้ ในการทดลอง โดยที่ผู้ชีวนิรภัย 2 ตู้ หมายเลข 1 (ESCO, LA2-6A1) และหมายเลข 2 (Scanlaf, Mars 1200) ตั้งอยู่ในห้องแอร์ปรับอากาศ และอีก 2 ตู้ หมายเลข 3 (ESCO, LA2-6A1) และหมายเลข 4 (EHRET, V-190) ตั้งอยู่ในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง ผู้ชีวนิรภัยทั้งหมดได้รับการทดสอบการทำงานที่เหมาะสมตามมาตรฐานสากล โดยอ้างอิงมาตรฐานในการสอบเทียบตามวิธีการที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งานของผู้ชีวนิรภัยแต่ละรุ่น

**ตารางที่ 4** แสดงยี่ห้อผู้ชีวนิรภัย และสถานที่ติดตั้ง

ยี่ห้อ	สภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง
ESCO, LA2-6A1	ห้องแอร์ปรับอากาศ
Scanlaf, Mars 1200	ห้องแอร์ปรับอากาศ
ESCO, LA2-6A1	ห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง
EHRET, V-190	ห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง

2.2) ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ 2 ประเภท ได้แก่ Plate Count Agar (PCA) สำหรับตรวจสอบเชื้อแบคทีเรีย และ Potato Dextrose Agar (PDA) สำหรับเชื้อรา เพื่อทดสอบการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ทำงานของผู้ชีวนิรภัย

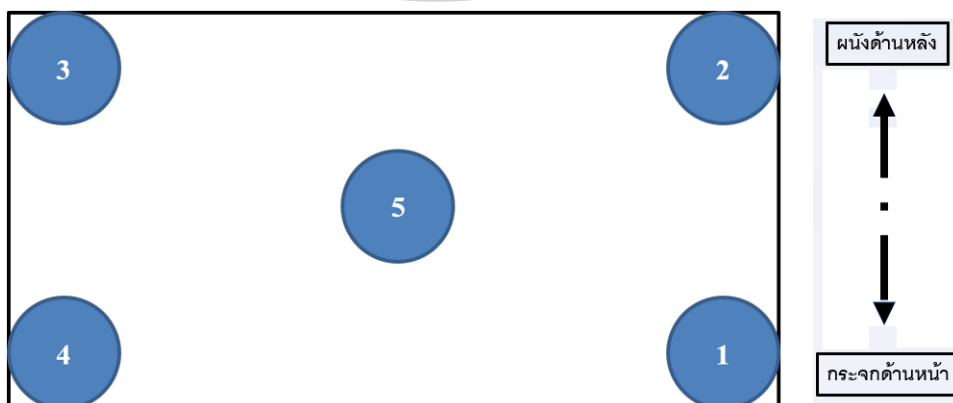
การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ เตรียมส่วนผสมตามรายละเอียดในภาคผนวก ก เมื่อฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน (autoclave) แล้ว รอให้อุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จึงเทลงจานเพาะเชื้อที่ sterile รอให้อาหารแข็งตัว จากนั้นทำการทดสอบการปราศจากเชื้อ (Sterile check) โดยสูบน้ำอาหารเลี้ยงเชื้อมาร้อยละ 5 ของจำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมดที่เตรียม นำมาบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สำหรับ PCA และบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับ PDA นาน 12 – 14 ชั่วโมง (พิทักษ์ คิมนารักษ์, 2558) ถ้ามีเชื้อขึ้นแสดงว่ามีการปนเปื้อนก่อนใช้งาน ต้องเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อใหม่ทั้งหมด

2.3) การทดลองนี้ได้รับการออกแบบเพื่อเปรียบเทียบอัตราการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมภายใต้แสงอัลตราไวโอเลตความยาวคลื่นสั้น (UV-C) และแสงที่ไม่ใช่ UV-C

2.3.1) การฆ่าเชื้อด้วยเอทานอล 70% : เปิดพัดลม (blower) ผู้ชีวนิรภัย เป็นเวลา 5 นาทีก่อนที่จะทำความสะอาดพื้นผิวของพื้นที่ทำงานด้วยแอลกอฮอล์ 70%

2.3.2) ระบบ UV-C บวกกับการฆ่าเชื้อด้วยเอทานอล 70% : เปิดหลอดยูวี เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นเปิดพัดลมผู้ชีวนิรภัย เป็นเวลา 5 นาที และทำความสะอาดพื้นผิวของพื้นที่ทำงานด้วยแอลกอฮอล์ 70%

2.4) หลังจากขั้นตอนการฆ่าเชื้อภายในผู้ชีวนิรภัย เพลทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA หรือ PDA ที่ไม่มีฝาปิดจะถูกวางในห้าตำแหน่งที่แตกต่างกันภายในพื้นที่ทำงานของผู้ชีวนิรภัย เป็นเวลา 45 นาที (รูปที่ 15) จากนั้นนำเพลทอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับ PCA และบ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน สำหรับ PDA



รูปที่ 15 ตำแหน่งของเพลท PCA และเพลท PDA ในพื้นที่ทำงานของผู้ชีวนิรภัย คลาส II

2.5) สังเกตการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA และ PDA เช่น โคโลนีของแบคทีเรียหรือเชื้อรา บันทึกจำนวนโคโลนีและสัญญาณวิทยาของโคโลนี การทดลองทั้งหมดดำเนินการซ้ำกัน 2 ครั้ง ในวันที่ต่างกัน

2.6) การวิเคราะห์ทางสถิติดำเนินการโดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM, Armonk, New York; เวอร์ชัน 21) ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญของจำนวนเพลทที่พบการปนเปื้อนระหว่างการใช้กับไม่ใช้ UV-C ในการฆ่าเชื้อ และระหว่างห้องแอร์ปรับอากาศกับห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง ได้รับการทดสอบโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลตัวแปรเดียว (univariate analysis of variance) ที่ระดับ  $P \leq 0.05$





## บทที่ 4

### การสำรวจสถานะและความพร้อมของผู้ชีวนิรภัย คลาส II

การสำรวจสถานะและความพร้อมของผู้ชีวนิรภัย คลาส II ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษา และหน่วยงานที่มีการวิจัยและทดลองกับเชื้อจุลชีพก่อโรค ในประเทศไทย โดยดำเนินการสำรวจทั้งหมด 10 หน่วยงาน มีรายละเอียดและข้อมูลดังต่อไปนี้

#### 1. มหาวิทยาลัยแห่งที่ 1

มีการใช้ผู้ชีวนิรภัยคลาส II สำหรับการเรียนการสอน และงานวิจัย เป็นมหาวิทยาลัยขนาดกลาง มีจำนวนผู้ใช้งาน  $\geq 50$  คน จากการสำรวจสถานะของผู้ในปี พ.ศ. 2562 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการตรวจรับรองผู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 1

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	ESCO	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
2	SCANLAF	Microbiology	1	ไม่ผ่าน	HEPA-leak
3	ESCO	Microbiology	> 10	ไม่ผ่าน	HEPA-leak
4	NUAIRE	Microbiology	> 10	ไม่ผ่าน	Inflow velocity-low and HEPA-leak
5	EHRET	Microbiology	> 10	ไม่ผ่าน	Inflow velocity-low and HEPA-leak
6	EHRET	Microbiology	> 10	ไม่ผ่าน	Downflow velocity-low, Inflow velocity-low and HEPA-leak

การสำรวจผู้ชีวนิรภัยจำนวน 6 ตู้ พบว่ามีเพียง 1 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานจำนวน 5 ตู้ ทุกตู้มีปัญหาการรั่วของ HEPA filter โดยมี 3 ตู้ที่พบปัญหาความเร็วลมผิดปกติร่วมด้วย แบ่งเป็น 2 ตู้ ที่พบเฉพาะปัญหาความเร็วอากาศหน้าตู้ (inflow) ผิดปกติ และอีก 1 ตู้ ที่พบทั้งปัญหาความเร็วอากาศปล่อยลง (downflow) และความเร็วอากาศหน้าตู้ผิดปกติ

โดยที่ ตู้หมายเลข 3 ยี่ห้อ ESCO ตู้หมายเลข 4 ยี่ห้อ NUAIRE และตู้หมายเลข 5 และ 6 ยี่ห้อ EHRET ที่มีผลการตรวจไม่ผ่านเนื่องจากการรั่วของ HEPA filter คาดว่าเนื่องมาจากอายุการใช้

งาน > 10 ปี ซึ่งการที่ HEPA filter เกิดการตันและรั่ว ยังส่งผลให้การไหลเวียนของอากาศภายในตู้ ผิดปกติ (airflow failure) อีกด้วย

สำหรับ ตู้หมายเลข 2 ยี่ห้อ SCANLAF พบว่าตรวจไม่ผ่านเนื่องจากการรั่วของแผ่น HEPA filter ทั้งที่มีอายุการใช้งานเพียง 1 ปีเท่านั้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ของผู้วิจัย คาดว่า ตู้ชีวนิรภัยมีการรั่วตั้งแต่ในการติดตั้งครั้งแรก เนื่องจากโดยปกติแล้ว HEPA filter ในตู้ชีวนิรภัยจะมีอายุการใช้งานหลายปี กว่าที่แผ่นกรองจะมีการเสื่อมสภาพจนประสิทธิภาพลดลง ทั้งนี้ทางคณะของผู้วิจัย ได้ให้คำแนะนำกับผู้ดูแลตู้ชีวนิรภัยว่าควรหยุดใช้ทันทีจนกว่าจะได้รับการซ่อมแซมให้เรียบร้อย เพราะทุกตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ล้วนมีการใช้งานกับเชื้อจุลินทรีย์

## 2. มหาวิทยาลัยแห่งที่ 2

มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยคลาส II สำหรับการเรียนการสอน และงานวิจัย เป็นมหาวิทยาลัยขนาดกลาง มีจำนวนผู้ใช้งาน  $\geq 50$  คน จากการสำรวจสถานะของตู้ในปี พ.ศ. 2563 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 2

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	Thermo Scientific	Virology	> 10	ผ่าน	-
2	Thermo Scientific	Mycology	> 10	ผ่าน	-
3	Nuve	Bacteriology	> 10	ผ่าน	-
4	Heal Force	Bacteriology	> 10	ไม่ผ่าน	Downflow velocity-high, Inflow velocity-low and HEPA-leak
5	Telstar	Vet. PH. Lab.	> 10	ไม่ผ่าน	HEPA-leak
6	Telstar	Vet. PH. Lab.	> 10	ไม่ผ่าน	HEPA-leak

การสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 6 ตู้ พบว่ามีจำนวน 3 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานจำนวน 3 ตู้ ทุกตู้มีปัญหาการรั่วของ HEPA filter โดยมี 1 ตู้ที่พบทั้งปัญหาความเร็วอากาศปล่อยลง (downflow) และความเร็วอากาศหน้าตู้ (inflow) ผิดปกติ ร่วมด้วย

สำหรับตู้หมายเลข 4 ยี่ห้อ Heal Force มีรายงานการเปลี่ยน HEPA filter ช่วงปลายปี พ.ศ. 2562 แต่กลับพบปัญหาการรั่วของ HEPA filter ภายในระยะเวลาเพียง 1 ปี ซึ่งมีสาเหตุมาจากห้องปฏิบัติการที่ติดตั้งตู้ชีววิทยาดังกล่าว มีร่องรอยของหลังคารั่วจนทำให้น้ำฝนซึมหยดลงมาบน HEPA filter ทั้งแผ่นด้านบนของตู้ (exhaust filter) และซึมลงมาถึงแผ่นล่าง (supply filter) ที่อยู่เหนือบริเวณพื้นที่ทำงาน ซึ่งนอกจากทำให้ HEPA filter ต้นและรั่ว ยังมีผลให้ความเร็วอากาศปล่องลงและความเร็วอากาศหน้าตู้ผิดปกติอีกด้วย ซึ่งทางคณะของผู้วิจัย ได้ให้คำแนะนำว่าควรหยุดใช้ทันทีจนกว่าจะได้รับการซ่อมแซมให้เรียบร้อย

สำหรับตู้หมายเลข 5 และ 6 ยี่ห้อ Telstar ซึ่งผลการตรวจไม่ผ่าน เนื่องจากการรั่วของ HEPA filter คาดว่าเนื่องมาจากอายุการใช้งาน > 10 ปี แม้ว่าการใช้งานจะเกี่ยวกับเชื้อจุลชีพในสัตว์ แต่ก็ควรได้รับการเปลี่ยน HEPA filter ให้เรียบร้อยก่อนใช้งาน

### 3. มหาวิทยาลัยแห่งที่ 3

มีการใช้ตู้ชีววิทยาสากล II สำหรับการเรียนการสอน และงานวิจัย เป็นมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ มีจำนวนผู้ใช้งาน  $\geq 50$  คน จากการสำรวจสถานะของตู้ในปี พ.ศ. 2563 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการตรวจรับรองตู้ชีววิทยาสากล II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 3

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	ESCO	Immunology	> 10	ผ่าน	-
2	NUAIRE	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
3	NUAIRE	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
4	Gelman Sciences	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
5	Clean Air	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
6	Gelaire	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
7	Thermo Scientific	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
8	Thermo Scientific	TB	> 10	ผ่าน	-
9	Email Air Handling	Cell culture	> 10	ไม่ผ่าน	Downflow velocity-high and HEPA-leak
10	Jouan	Cell culture	> 10	ไม่ผ่าน	Downflow velocity-high

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
11	Clyde PAC	Mycology	> 10	ไม่ผ่าน	Downflow velocity-high

การสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 11 ตู้ พบว่ามีจำนวน 8 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานจำนวน 3 ตู้ ทุกตู้มีปัญหาความเร็วอากาศปล่อยลง (downflow) ผิดปรกติ และมี 1 ตู้ที่พบปัญหาการรั่วของ HEPA filter ร่วมด้วย

สำหรับตู้หมายเลข 9 ยี่ห้อ Email Air Handling ตู้หมายเลข 10 ยี่ห้อ Jouan และตู้หมายเลข 11 ยี่ห้อ Clyde PAC ที่พบปัญหาความเร็วอากาศปล่อยลงสูงเกินกว่าที่กำหนดในคู่มือการใช้งาน และทางทีมงานของผู้วิจัยไม่สามารถปรับฟังก์ชันการทำงานของเครื่องได้ ซึ่งปัญหาที่พบของตู้ชีวนิรภัยเมื่อความเร็วอากาศปล่อยลงสูง คือ สิ่งปนเปื้อนจากผลิตภัณฑ์ในตู้ชีวนิรภัยจะหลุดออกไปนอกตู้ได้ ดังนั้น คณะของผู้วิจัยจึงแนะนำว่าควรติดต่อบริษัทผู้จัดจำหน่ายตู้ชีวนิรภัยโดยตรง เพื่อให้ส่งช่างที่มีความเชี่ยวชาญในการบำรุงรักษาตู้ชีวนิรภัยในแต่ละยี่ห้อดังกล่าว เข้ามาช่วยปรับระดับความเร็วลมของตู้ชีวนิรภัยใหม่ เพื่อให้ผ่านค่ามาตรฐาน ก่อนเริ่มใช้งานอีกครั้ง

#### 4. มหาวิทยาลัยแห่งที่ 4

มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยคลาส II สำหรับการเรียนการสอน และงานวิจัย เป็นมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ มีจำนวนผู้ใช้งาน  $\geq 50$  คน จากการสำรวจสถานะของตู้ในปี พ.ศ. 2563 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 4

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	ESCO	Cell culture	10	ผ่าน	-
2	ESCO	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
4	Clean Air	Clean PCR	> 10	ไม่ผ่าน	HEPA-leak

การสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 4 ตู้ พบว่ามีจำนวน 3 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานจำนวน 1 ตู้ พบปัญหาการรั่วของ HEPA filter

จากการใช้งาน พบว่า ตู้หมายเลข 4 ยี่ห้อ Clean Air ที่พบปัญหาการรั่วของ HEPA filter นั้น เป็นตู้ที่ไม่ได้ใช้งานกับเชื้อจุลชีพ จากการสอบถามทำให้ทราบว่า ผู้ดูแลตู้ชีวนิรภัยตู้ดังกล่าว ได้ทราบมาก่อนแล้วว่าตู้มีปัญหาการรั่วของ HEPA filter จากการที่ทางห้องปฏิบัติการได้จ้างบริษัทรับ

สอบเทียบให้เข้ามาตรวจสอบตู้เป็นครั้งคราว จึงได้เปลี่ยนจุดประสงค์การใช้ตู้ชีวนิรภัยนี้ในงาน clean PCR ซึ่งไม่ได้ใช้กับเชื้อจุลชีพ แต่อย่างไรก็ดี การใช้ตู้ชีวนิรภัยแทนตู้ laminar flow clean bench เป็นการใช้ผิดประเภท ทางคณะผู้วิจัยจึงได้แนะนำว่าควรปิดป้ายให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าตู้ไม่พร้อมใช้งาน และหากมีโอกาสควรเปลี่ยน HEPA filter ใหม่ให้เรียบร้อย

### 5. มหาวิทยาลัยแห่งที่ 5

มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยคลาส II สำหรับการเรียนการสอน และงานวิจัย เป็นมหาวิทยาลัยขนาดกลาง มีจำนวนผู้ใช้งาน  $\geq 50$  คน จากการสำรวจสถานะของตู้ในปี พ.ศ. 2563 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 5

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	Thermo Scientific	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
2	Nuaire	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
3	Nuaire	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
4	Nuaire	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
5	ESCO	Mycology	6	ผ่าน	-
6	ESCO	Animal research	8	ผ่าน	-
7	ESCO	Animal research	9	ผ่าน	-
8	ESCO	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
9	Faster	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
10	Faster	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
11	Faster	Clean PCR	> 10	ไม่ผ่าน	HEPA-leak
12	Holten	Microbiology	> 10	ไม่ผ่าน	Inflow velocity fail, HEPA-leak and Smoke test fail

การสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 12 ตู้ พบว่ามีจำนวน 10 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานจำนวน 2 ตู้ ทุกตู้มีปัญหาการรั่วของ HEPA filter โดยมี 1 ตู้ที่พบปัญหาความเร็วอากาศหน้าตู้ (inflow) ผิดปกติ และปัญหาการตรวจสอบทิศทางการไหลของลม (smoke test) ร่วมด้วย

สำหรับตู้หมายเลข 11 ยี่ห้อ Faster พบว่ามีปัญหาการรั่วของ HEPA filter ซึ่งทางผู้ดูแลตู้ ทราบปัญหามาก่อนแล้ว จึงได้นำตู้ไปใช้งานด้าน clean PCR ซึ่งไม่ได้ใช้กับเชื้อจุลชีพ ทางคณะผู้วิจัย จึงได้แนะนำว่าควรปิดป้ายให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าตู้ไม่พร้อมใช้งาน และหากมีโอกาสควรเปลี่ยน HEPA filter ใหม่ให้เรียบร้อย

สำหรับตู้หมายเลข 12 ยี่ห้อ Holten พบว่า นอกจากมีปัญหากับการรั่วของ HEPA filter แล้ว ปัญหาใหญ่ที่สุดของผู้ชีวนิรภัยตู้นี้ คือ เป็นตู้ที่ถูกดัดแปลงโดยผู้ดูแลเอง เนื่องจาก กระจก ด้านหน้าตู้เคยแตก ทำให้ผู้ดูแลตัดแผ่นอะคริลิกใสมาใส่ทดแทน ทำให้พบรอยรั่วอยู่โดยรอบแผ่น อะคริลิกใสด้านหน้า การวัดความเร็วลมหน้าตู้จึงแปรปรวนจนผิดปกติ และเมื่อตรวจสอบทิศทางการ ไหลของลมโดยใช้ควัน ก็พบการฟุ้งกระจายของควันจากด้านในตู้ออกมาด้านนอกตู้ จากบริเวณ โดยรอบแผ่นอะคริลิกใสด้านหน้าที่ถูกดัดแปลง ซึ่งคณะผู้วิจัยได้แนะนำให้เลิกใช้งานและควรเปลี่ยน ตู้ชีวนิรภัยเป็นตู้ใหม่โดยด่วน

#### 6. มหาวิทยาลัยแห่งที่ 6

มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยคลาส II สำหรับการเรียนการสอน และงานวิจัย เป็นมหาวิทยาลัยขนาด กลาง มีจำนวนผู้ใช้งาน  $\geq 50$  คน จากการสำรวจสถานะของตู้ในปี พ.ศ. 2563 ด้วยมาตรฐาน NSF/ANSI49 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ มหาวิทยาลัยแห่งที่ 6

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	Biobase	Bacteriology	2	ผ่าน	-
2	Biobase	Microbiology	2	ผ่าน	-
3	Biobase	Microbiology	4	ผ่าน	-

การสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 3 ตู้ พบว่าทุกตู้ ผ่านมาตรฐาน



## 7. โรงพยาบาลแห่งที่ 1

มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยคลาส II สำหรับงานวิจัย และทดลอง โดยติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการ ภายในโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ มีจำนวนผู้ใช้งานประมาณ 10 คน จากการสำรวจสถานะของตู้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง 2564 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ โรงพยาบาลแห่งที่ 1

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	ESCO	COVID-19	1	ผ่าน	-
2	ESCO	Microbiology	1	ผ่าน	-
3	Thermo Scientific	Microbiology	3	ผ่าน	-
4	Airtech	Molecular	> 10	ไม่ผ่าน	Downflow velocity uniformity fail, Inflow velocity-low and HEPA-leak
5	Biosafe	Molecular	> 10	ไม่ผ่าน	Inflow velocity-low

การสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 5 ตู้ พบว่ามีจำนวน 3 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานจำนวน 2 ตู้ พบว่า 1 ตู้ มีปัญหาความเร็วอากาศหน้าตู้ (inflow) ผิดปกติ และอีก 1 ตู้ พบทั้งปัญหาความเร็วอากาศปล่อยลง (downflow) และความเร็วอากาศหน้าตู้ผิดปกติ รวมถึงพบปัญหาการรั่วของ HEPA filter ด้วย

สำหรับตู้หมายเลข 4 ยี่ห้อ Airtech พบปัญหาการรั่วของ HEPA filter และปัญหาความเร็วลมผิดปกติ ซึ่งทางพนักงานห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาลทราบปัญหาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นปีแรกที่คณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบให้ แต่เนื่องจากปัญหาด้านงบประมาณไม่เพียงพอ จึงไม่ได้เปลี่ยน HEPA filter ตามที่คณะผู้วิจัยได้แนะนำ และได้เปลี่ยนจุดประสงค์การใช้ตู้ชีวนิรภัยในงาน molecular แทน ซึ่งในปีต่อๆ มา เมื่อทางคณะผู้วิจัยได้ไปทำการตรวจสอบตามแผนงานประจำปี ก็ไม่ได้ตรวจสอบตู้ชีวนิรภัยตู้ดังกล่าวอีก

สำหรับตู้หมายเลข 5 ยี่ห้อ Biosafe ได้รับการตรวจสอบโดยคณะของผู้วิจัยเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2564 พบปัญหาความเร็วอากาศหน้าตู้ (inflow) ต่ำเกินกว่าที่กำหนดในคู่มือการใช้ตู้ คณะของผู้วิจัยจึงแนะนำให้ติดต่อบริษัทผู้จัดจำหน่ายตู้ชีวนิรภัยยี่ห้อดังกล่าว เพื่อให้ส่งช่างที่มีความเชี่ยวชาญในการบำรุงรักษาตู้ชีวนิรภัยเข้ามาช่วยปรับระดับความเร็วลมของตู้ชีวนิรภัยใหม่ เพื่อให้ผ่านค่ามาตรฐาน ก่อนเริ่มใช้งานอีกครั้ง

## 8. โรงพยาบาลแห่งที่ 2

มีการใช้ตู้ชีวนิรภัยคลาส II สำหรับงานวิจัย และทดลอง โดยติดตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการ ภายในโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ มีจำนวนผู้ใช้งานประมาณ 10 คน จากการสำรวจสถานะของตู้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง 2564 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการตรวจรับรองตู้ชีวนิรภัย คลาส II ณ โรงพยาบาลแห่งที่ 2

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	ESCO	Microbiology	1	ผ่าน	-
2	ESCO	Microbiology	10	ผ่าน	-
3	ESCO	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
4	Nuaire	Molecular	> 10	ผ่าน	-
5	Biobase	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
6	Thermo Scientific	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
7	Thermo Scientific	Bacteriology	> 10	ผ่าน	-
8	ESCO	Microbiology	> 10	ไม่ผ่าน	Downflow velocity uniformity fail and HEPA-leak

การสำรวจตู้ชีวนิรภัยจำนวน 8 ตู้ พบว่ามีจำนวน 7 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานนั้น มีปัญหาการวัดความเร็วอากาศพลอยลง (downflow) และพบปัญหาการรั่วของ HEPA filter

สำหรับตู้หมายเลข 9 ยี่ห้อ ESCO ได้รับการตรวจสอบผ่านโดยทีมงานของผู้วิจัยในปี พ.ศ. 2562 และ 2563 และเพิ่งพบปัญหาการรั่วของ HEPA filter และปัญหาความเร็วอากาศพลอยลง ผิดปรกติ ในปี พ.ศ. 2564 โดยมีตำแหน่งวัดบางตำแหน่งในพื้นที่ทำงานของตู้ที่มีค่าความเร็วลมต่ำกว่าค่าเฉลี่ย > 20% คาดว่าเนื่องมาจากอายุการใช้งาน > 10 ปี ซึ่งทางคณะของผู้วิจัย ได้ให้คำแนะนำกับพนักงานห้องปฏิบัติการของโรงพยาบาลว่าควรหยุดใช้ทันทีจนกว่าจะได้รับการเปลี่ยน HEPA filter ใหม่ให้เรียบร้อย

### 9. ห้องปฏิบัติการหน่วยงานความร่วมมือระหว่างประเทศด้านสาธารณสุขแห่งที่ 1

มีการใช้ตู้ชีววิทยุคลาส II สำหรับงานวิจัย และทดลอง เป็นศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการ มีจำนวนผู้ใช้งานประมาณ 10 คน จากการสำรวจสถานะของตู้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ถึง 2566 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลการตรวจรับรองตู้ชีววิทยุ คลาส II ณ ห้องปฏิบัติการแห่งที่ 1

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	Microflow	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
2	ESCO	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
3	ESCO	Microbiology	> 10	ผ่าน	-
4	Baker	Molecular	> 10	ผ่าน	-
5	Baker	Serology	> 10	ผ่าน	-
6	Baker	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
7	Baker	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
8	Labconco	Cell culture	> 10	ผ่าน	-
9	Labconco	Cell culture	> 10	ผ่าน	-

การสำรวจตู้ชีววิทยุจำนวน 9 ตู้ พบว่าทุกตู้ ผ่านมาตรฐาน

### 10. ห้องปฏิบัติการหน่วยงานความร่วมมือระหว่างประเทศด้านสาธารณสุขแห่งที่ 2

มีการใช้ตู้ชีววิทยุคลาส II สำหรับงานวิจัย และทดลอง เป็นศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการ มีจำนวนผู้ใช้งานประมาณ 10 คน จากการสำรวจสถานะของตู้ในปี พ.ศ. 2566 ด้วยมาตรฐานสากล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการตรวจรับรองตู้ชีววิทยุ คลาส II ณ ห้องปฏิบัติการแห่งที่ 2

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
1	ESCO	Microbiology	1	ผ่าน	-
2	ESCO	Microbiology	2	ผ่าน	-
3	ESCO	Microbiology	3	ผ่าน	-
4	ESCO	Microbiology	8	ผ่าน	-
5	NUAIRE	Media Preparation	> 10	ผ่าน	-

ตู้ที่	ผู้ผลิต/ รุ่น	การใช้งาน	อายุใช้งาน	ผลตรวจ	สาเหตุ
6	NUAIRE	Serology	> 10	ผ่าน	-
7	NUAIRE	Molecular	> 10	ผ่าน	-
8	NUAIRE	Clean PCR	> 10	ผ่าน	-
9	NUAIRE	Molecular	10	ผ่าน	-
10	NUAIRE	Molecular	> 10	ผ่าน	-
11	NUAIRE	Master Mix Preparation	> 10	ผ่าน	-
12	NUAIRE	COVID-19	9	ผ่าน	-
13	NUAIRE	COVID-19	> 10	ผ่าน	-
14	NUAIRE	COVID-19	> 10	ผ่าน	-

การสำรวจตู้ชีววินิจฉัยจำนวน 14 ตู้ พบว่าทุกตู้ ผ่านมาตรฐาน

จากการสำรวจตู้ชีววินิจฉัยในหน่วยงานทั้งหมด 10 แห่ง สามารถสรุปสถานะของตู้ชีววินิจฉัยได้  
ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 หน่วยงาน/ สถานะของห้องปฏิบัติการ

หน่วยงาน	วัตถุประสงค์การใช้	จำนวน ตรวจ	ผลตรวจ (ตู้)		
			ผ่าน	ไม่ผ่าน	% ผ่าน
มหาวิทยาลัย แห่งที่ 1	การเรียนการสอน	6	1	5	17 %
มหาวิทยาลัย แห่งที่ 2	การเรียนการสอน	6	3	3	50 %
มหาวิทยาลัย แห่งที่ 3	การเรียนการสอน	11	8	3	73 %
มหาวิทยาลัย แห่งที่ 4	การเรียนการสอน	4	3	1	75 %
มหาวิทยาลัย แห่งที่ 5	การเรียนการสอน	12	10	2	83 %
มหาวิทยาลัย แห่งที่ 6	การเรียนการสอน	3	3	0	100 %
โรงพยาบาล แห่งที่ 1	การวิจัย และทดลอง	5	3	2	60 %
โรงพยาบาล แห่งที่ 2	การวิจัย และทดลอง	8	7	1	88 %
ห้องปฏิบัติการ แห่งที่ 1	การวิจัย และทดลอง	9	9	0	100 %
ห้องปฏิบัติการ แห่งที่ 2	การวิจัย และทดลอง	14	14	0	100 %
<b>จำนวนรวม</b>		<b>78</b>	<b>61</b>	<b>17</b>	<b>78%</b>

## สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการสำรวจสถานะและความพร้อมของผู้ชีวนิรภัย คลาส II ในห้องปฏิบัติการของสถานศึกษาและหน่วยงานที่มีการวิจัยและทดลองกับเชื้อจุลชีพก่อโรคในประเทศไทย โดยดำเนินการสำรวจทั้งหมด 10 หน่วยงาน แบ่งเป็น มหาวิทยาลัย 6 แห่ง โรงพยาบาล 2 แห่ง และห้องปฏิบัติการของศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการ 2 แห่ง ผลการสำรวจพบว่า ห้องปฏิบัติการของศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการทั้ง 2 แห่ง ซึ่งมีประวัติการตรวจสภาพการใช้งานผู้ชีวนิรภัยเป็นประจำทุกปี แม้ว่าผู้ส่วนใหญ่จะมีอายุการใช้งานเกิน 10 ปีขึ้นไป พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การตรวจตู้ผ่าน 100%

ในด้านของโรงพยาบาลทั้ง 2 แห่ง มีประวัติการตรวจสภาพการใช้งานผู้ชีวนิรภัยเป็นประจำทุกปีเช่นกัน แต่ผลการตรวจตู้ผ่าน ในโรงพยาบาลแห่งที่ 1 และแห่งที่ 2 พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การตรวจตู้ผ่าน 60% และ 88% ตามลำดับ โดยตู้ที่ผลการตรวจไม่ผ่านจะมีอายุการใช้งาน 10 ปีขึ้นไป นอกจากนี้จากการสอบถามข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของผู้วิจัย คาดว่า สาเหตุที่การบำรุงรักษาผู้ชีวนิรภัยในโรงพยาบาลทั้ง 2 แห่ง ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เกี่ยวข้องกับการบริหารงานพัสดุตามระเบียบของโรงพยาบาลเอง เนื่องจากการขออนุมัติงบประมาณในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมืออุปกรณ์การแพทย์ของโรงพยาบาล จะต้องมีการดำเนินการตามหลักเกณฑ์และระเบียบหลายขั้นตอน และหลายครั้งที่ไม่ได้รับการอนุมัติ หรือลดค่าใช้จ่ายลง ทำให้ไม่เพียงพอกับการซ่อมบำรุงผู้ชีวนิรภัยที่ต้องได้รับการเปลี่ยนแผ่น HEPA filter

สำหรับผลการสำรวจในมหาวิทยาลัยทั้ง 6 แห่ง พบว่า ผู้ชีวนิรภัยไม่ได้รับการตรวจสภาพการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ พบประวัติการตรวจสภาพเป็นครั้งคราว ภายหลังจากการซ่อมบำรุงและเปลี่ยนอะไหล่เสร็จเรียบร้อยแล้วเท่านั้น เมื่อผู้วิจัยได้ทำการสำรวจสถานะและความพร้อมของผู้ชีวนิรภัยในห้องปฏิบัติการของแต่ละมหาวิทยาลัย พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การตรวจตู้ผ่าน 17%, 50%, 73%, 75%, 83% และ 100% ตามลำดับ โดยตู้ที่ผลการตรวจ ไม่ผ่านเกือบทั้งหมดจะมีอายุการใช้งาน 10 ปีขึ้นไป ยกเว้น ผู้ชีวนิรภัยตู้เดียวจากมหาวิทยาลัยแห่งที่ 1 พบว่าตรวจไม่ผ่านเนื่องจากการรั่วของ HEPA filter ทั้งที่มีอายุการใช้งานเพียง 1 ปีเท่านั้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ของผู้วิจัย คาดว่า ผู้ชีวนิรภัยมีการรั่วตั้งแต่ในการติดตั้งครั้งแรก เนื่องจากโดยปรกติแล้ว HEPA filter ในผู้ชีวนิรภัยจะมีอายุการใช้งานหลายปี กว่าที่แผ่นกรองจะมีการเสื่อมสภาพจนประสิทธิภาพลดลง

นอกจากนี้จากการค้นคว้าข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของผู้วิจัย คาดว่าสาเหตุที่การบำรุงรักษาผู้ชีวนิรภัยของมหาวิทยาลัยในมหาวิทยาลัยแห่งที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์การตรวจตู้ผ่านที่ต่ำกว่ามหาวิทยาลัยแห่งอื่นๆ เป็นอย่างมาก เนื่องจากมหาวิทยาลัยแห่งที่ 1 เป็นมหาวิทยาลัยแห่งเดียวจากทั้ง 6 แห่ง ที่การเรียนการสอน ไม่เน้นไปในด้านสายวิทยาศาสตร์สุขภาพ เช่น คณะแพทยศาสตร์ วิทยาลัยการแพทย์ หรือเทคนิคการแพทย์ เป็นต้น จึงไม่มีการทำงานกับเชื้อจุลชีพที่มีความเสี่ยงในการ

ก่อโรค จึงมีความเป็นไปได้ที่อาจมีผลต่อการกำหนดนโยบาย หลักเกณฑ์ และการบริหารจัดการ กิจกรรมด้านการควบคุมความปลอดภัยทางชีวภาพ ตามพระราชบัญญัติเชื้อโรคและพิษจากสัตว์ ไม่ได้เข้มงวดเหมือนมหาวิทยาลัยแห่งอื่นที่มีคณะวิชาด้านสายวิทยาศาสตร์สุขภาพซึ่งต้องมีการดำเนินงานกับเชื้อจุลชีพก่อโรค

จากการสำรวจสถานะและความพร้อมของผู้ชีวนิรภัย คลาส II ในห้องปฏิบัติการของ สถานศึกษาและหน่วยงานต่างๆ นั้น ทางผู้วิจัยได้แบ่งเกณฑ์การแปลผลข้อมูลออกเป็นหลายปัจจัย ดังนี้

ตารางที่ 16 อายุใช้งาน กับผลตรวจ

อายุการใช้งาน	ผลตรวจ		หมายเหตุ
	ผ่าน (ตัว)	ไม่ผ่าน (ตัว)	
ไม่เกิน 10 ปี	18	1	
มากกว่า 10 ปี	43	16	

จากตารางที่ 16 จะเห็นว่า ผู้ชีวนิรภัยที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 10 ปี จากการสำรวจจำนวน 19 ตัว มีเพียง 1 ตัว ที่ไม่ผ่านการตรวจเนื่องจากการรั่วของ HEPA filter และผู้ชีวนิรภัยที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 10 ปี จากการสำรวจจำนวน 59 ตัว มีจำนวนถึง 16 ตัว ที่ไม่ผ่านการตรวจเนื่องมีปัญหา ความเร็วลมผิดปกติ และการรั่วของ HEPA filter

ตารางที่ 17 จุดประสงค์หลักการใช้งานผู้ กับผลตรวจ

จุดประสงค์หลักการใช้งานผู้	ผลตรวจ		หมายเหตุ
	ผ่าน (ตัว)	ไม่ผ่าน (ตัว)	
การเรียนการสอน	28	14	
การวิจัย และทดลอง	33	3	

จากตารางที่ 17 จะเห็นว่า ผู้ชีวนิรภัยที่มีจุดประสงค์หลักการใช้งานในด้านการเรียนการสอน มีผู้ใช้งานผู้เป็นจำนวนมาก ซึ่งก็คือ ผู้ชีวนิรภัยในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัยทั้ง 6 แห่ง จากการสำรวจจำนวน 42 ตัว มีจำนวนถึง 14 ตัวที่ไม่ผ่านการตรวจ ส่วนผู้ชีวนิรภัยที่มีจุดประสงค์หลักในการวิจัย และทดลอง มีผู้ใช้งานผู้ไม่เกิน 10 คน ซึ่งก็คือ ผู้ชีวนิรภัยในโรงพยาบาลและห้องปฏิบัติการของ ศูนย์ความร่วมมือทางวิชาการ จากการสำรวจจำนวน 36 ตัว มีจำนวนเพียง 3 ตัวที่ไม่ผ่านการตรวจ

การมีผู้ใช้งานเป็นจำนวนมาก หมายถึง ชั่วโมงการทำงานของผู้ชีวนิรภัยที่มากขึ้นด้วย ย่อมทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของพัดลม (blower) ของตู้ลดลงตามชั่วโมงการใช้งาน ทำให้พบปัญหา



ความเร็วลมผิดปกติได้ อีกทั้งประสิทธิภาพการกรองของ HEPA filter ที่ต้องทำหน้าที่กรองอากาศเป็นเวลานาน ย่อมเสื่อมสภาพลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 18 ความถี่ในการสอบเทียบ กับผลตรวจ

ความถี่	ผลตรวจ		หมายเหตุ
	ผ่าน (ตู้)	ไม่ผ่าน (ตู้)	
ตรวจครั้งแรก	32	16	
ตรวจประจำทุกปี	29	1	

จากตารางที่ 18 จะเห็นได้ว่า ความถี่ในการตรวจสอบสภาพตู้ชีวนิรภัย มีผลกับความพร้อมของตู้ชีวนิรภัยเป็นอย่างมาก ตู้ชีวนิรภัยที่ได้รับการตรวจสอบสภาพการใช้งานเป็นประจำทุกปี จากการสำรวจจำนวน 30 ตู้ พบว่ามีจำนวน 29 ตู้ที่ผ่านมาตรฐาน โดยตู้ที่ไม่ผ่านมาตรฐานนั้น พบปัญหาการรั่วของ HEPA filter และปัญหาการวัดความเร็วอากาศปลอยลง (downflow) ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย > 20% ในบางตำแหน่งที่วัด ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ HEPA filter เริ่มอุดตันในช่วง 1 ปีที่ตู้ถูกใช้งานหลังจากตรวจสอบสภาพ ส่วนตู้ชีวนิรภัยที่ไม่ได้รับการตรวจสอบสภาพการใช้งานโดยสม่ำเสมอ จากการสำรวจจำนวน 48 ตู้ มีจำนวนถึง 16 ตู้ ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน โดยแบ่งสาเหตุที่ตู้ชีวนิรภัยไม่ผ่านการตรวจสอบสภาพการใช้งาน ออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ตรวจไม่ผ่านโดยมีสาเหตุจากความเร็วลมผิดปกติเท่านั้น จำนวน 3 ตู้ กลุ่มที่ตรวจไม่ผ่านโดยมีสาเหตุจากการรั่วของ HEPA filter เท่านั้น จำนวน 6 ตู้ และกลุ่มที่ตรวจไม่ผ่านโดยมีสาเหตุทั้งความเร็วลมผิดปกติและมีการรั่วของ HEPA filter จำนวน 7 ตู้

โดยปกติ ในการตรวจสอบสภาพของตู้ชีวนิรภัยด้วยทีมงานของผู้วิจัย ถ้าหากพบว่าความเร็วลมของตู้ชีวนิรภัยไม่ผ่านค่ามาตรฐานทั่วไปของความเร็วลมของตู้ ทางทีมงานของผู้วิจัยจะช่วยปรับระดับความเร็วลมของตู้ให้ใหม่ ให้ผ่านค่ามาตรฐานเพื่อพร้อมใช้งานและผลการตรวจเป็น “ผ่าน” แต่ถ้าสาเหตุการตรวจไม่ผ่านเกิดจากการรั่วของ HEPA filter และทางทีมงานของผู้วิจัยไม่สามารถอุดรอยรั่วด้วยซิลิโคน (silicon) ได้ ผลการตรวจจะเป็น “ไม่ผ่าน” เนื่องจากต้องให้บริษัทที่ประกอบกิจการจำหน่าย HEPA filter ให้ทำการเปลี่ยน HEPA filter ใหม่ในภายหลังเสียก่อน นอกจากนี้มีตู้ชีวนิรภัยหลายรุ่น ที่การตั้งค่าระดับความเร็วลมของตู้มีข้อจำกัด เช่น ต้องใช้รหัส (password) ของตู้ชีวนิรภัยแต่ละยี่ห้อ หรือจำเป็นต้องเชื่อมต่อแผงวงจรของตู้ชีวนิรภัยเข้ากับแล็ปท็อปของบริษัทตัวแทนจำหน่ายเท่านั้น เป็นต้น ทำให้จำนวนตู้ชีวนิรภัยที่ตรวจไม่ผ่าน โดยมีสาเหตุจากความเร็วลมผิดปกติเท่านั้น จำนวน 3 ตู้ ที่ทีมงานผู้วิจัยไม่สามารถปรับระดับความเร็วลมให้ผ่านค่ามาตรฐานทั่วไปได้

จากผลการสำรวจที่ได้จากการศึกษานี้ พบว่ามีเพียงมหาวิทยาลัย 2 แห่งที่มีจำนวนตู้ชีวนิรภัย คลาส II ไม่ผ่านมาตรฐานมากกว่าร้อยละ 50 คิดเป็นร้อยละ 20 จากจำนวนหน่วยงานที่สำรวจ

ทั้งหมด 10 แห่ง สอดคล้องกับรายงานของ Whistler, Kaewpan, and Blacksell (2016) ถึงมาตรฐานของผู้ชีวนิรภัยที่มีการใช้งานในห้องปฏิบัติการความปลอดภัยทางชีวภาพระดับที่ (Biosafety level; BSL) 2 และ 3 จากประเทศในเขตพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2556 - 2558 โดยพบว่าจำนวนของผู้ชีวนิรภัยที่ผ่านมาตรฐานของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 60 ( $n = 47$ ) และมีแนวโน้มของตัวเลขที่สูงขึ้นในอนาคต ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในผู้ชีวนิรภัยที่ไม่ได้มาตรฐานคือ การรั่วของ HEPA filter ที่พบทั้งในการศึกษานี้และจากรายงานของ Whistler และคณะ

จากการสอบถามสถานศึกษาและหน่วยงานที่มีปัญหาผู้ชีวนิรภัยไม่ผ่านมาตรฐานเกินร้อยละ 50 คือ การขาดงบประมาณสำหรับดำเนินการเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง แนวทางการแก้ปัญหาที่เสนอโดย Ghosh, Voigt, Wynne, and Nelson (2019) คือการสร้างบุคลากรผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัดผู้ชีวนิรภัย (in-house biological safety cabinet certificated officer) ที่ได้รับการขึ้นทะเบียนมาตรฐานประจำหน่วยงาน อาจเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับหน่วยงานที่มีการใช้ผู้ชีวนิรภัยในการทำงานเป็นจำนวนมาก นอกจากการสร้างผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัดมาตรฐานของผู้ชีวนิรภัยแล้ว ความรู้ความเข้าใจ ของบุคลากรในภาคส่วนอื่นก็มีความสำคัญ ดังเช่น ในกรณีที่พบในมหาวิทยาลัยที่ 1 ซึ่งพบการรั่วของ HEPA filter ในตู้ที่มีการใช้งานมาเพียงแค่ 1 ปี สันนิษฐานได้ว่าอาจมาจากการติดตั้งผู้ชีวนิรภัยที่ไม่ได้มาตรฐาน Whistler et al. (2016) รายงานว่าสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการติดตั้งโดยบุคลากรที่ไม่ได้ผ่านการฝึกอบรมมาก่อน ทำให้การติดตั้งไม่เป็นไปตามขั้นตอนที่ถูกต้อง รวมถึงผู้ใช้งานที่ไม่มีความรู้ความเข้าใจถึงมาตรฐานของผู้ชีวนิรภัย นอกจากนี้ผลการสำรวจการใช้ผู้ชีวนิรภัยในการทำงานกับเชื้อจุลชีพก่อโรคของห้องปฏิบัติการด้านการแพทย์ ในประเทศปากีสถานจากหน่วยงานทั้งหมด 30 แห่ง พบว่าร้อยละ 10 ของผู้ตอบแบบสำรวจ “ไม่ใช่” ผู้ชีวนิรภัยในการทำงานกับเชื้อจุลชีพที่มีความเสี่ยงตั้งแต่ระดับ 2 ขึ้นไป และมีร้อยละ 30 ที่ใช้ผู้ชีวนิรภัยเป็นบางครั้ง บ่งชี้ถึงความเข้าใจและการให้ความสำคัญถึงความปลอดภัยทางชีวภาพในหน่วยงาน (Arfin Qasmi, Pirzada, Ghani, & Mohsin, 2020) ด้วยเหตุนี้การอบรมทั้งด้านความรู้และปฏิบัติการเป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยให้บุคลากรมีความเข้าใจ และผู้เชี่ยวชาญมากขึ้นต่อการทำงาน จะช่วยสร้างสภาพแวดล้อมและการตระหนักในการทำงานตามกฎ ระเบียบ และขั้นตอน เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและสภาพแวดล้อม ((Miring'u et al., 2017) และ (Arfin Qasmi et al., 2020))

ผู้ชีวนิรภัยที่มีการใช้งานในปัจจุบันมีทั้งหมด 3 คลาส สำหรับการทำงานกับ SAR-CoV-2 ในช่วงการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ที่ผ่านมานั้น World Health Organization (WHO) แนะนำให้ปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการความปลอดภัยทางชีวภาพระดับ 2 (Biosafety level 2; BSL-2) ซึ่งต้องทำงานในตู้ชีวนิรภัย คลาส II สำหรับงานที่ไม่มีการเพิ่มจำนวนเชื้อไวรัส และ BSL-3 หรือการทำงานในตู้ชีวนิรภัย คลาส III (World Health Organization, 2021) สำหรับงานที่ต้องมีการเพิ่มจำนวน

ไวรัส การตรวจวินิจฉัยผู้ป่วยติดเชื้อ หรือการพัฒนาวัคซีนเพื่อป้องกันการติดเชื้อ จำเป็นต้องทำงานในตู้ชีวนิรภัย คลาส II ซึ่ง Pawar et al. (2021) แนะนำว่าควรเป็นคลาส II รุ่น B2 จึงจะมั่นใจถึงการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อขณะปฏิบัติงานได้ร้อยละ 100 ตู้ชีวนิรภัยที่เหมาะสมกับการทำงานกับ SAR-CoV-2 จะต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานที่แนะนำว่ารองรับการทำงานได้ ได้แก่ American Standard NSF 49, European Standard EN12469, Australian Standard AS 2252, และ Japanese Standard JIS K 38000 (Pawar et al., 2021) ซึ่งควรจะต้องเป็นตู้ที่มีการตรวจวัดเป็นประจำทุกปี นอกจากนี้ตู้ชีวนิรภัยที่มีการตรวจสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผู้ปฏิบัติงานจะต้องดำเนินงานตามขั้นตอนของมาตรฐานอย่างเคร่งครัดอีกด้วย มาตรฐานการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ที่ครอบคลุมถึงการใช้ในการทำงานกับ SAR-CoV-2 คือ ISO 15189:2012 ข้อ 4 และ 5 (Mok et al., 2021) เมื่อพิจารณาผลการสำรวจจากการศึกษานี้ พบว่ามีตู้ชีวนิรภัยที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจำนวน 61 ตู้ จากจำนวนตู้ที่สำรวจทั้งหมด 78 ตู้ คิดเป็นร้อยละ 78 ทั้งนี้จากทั้งหมด 78 ตู้ มีจำนวนตู้ที่มีการตรวจมาตรฐานประจำปีเพียง 30 ตู้ คิดเป็นร้อยละ 38 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด 29 ตู้ (ร้อยละ 97) ซึ่งเป็นจำนวนไม่ถึงครึ่งหนึ่งของจำนวนตู้ชีวนิรภัยที่ทำการสำรวจในการศึกษานี้ จากข้อมูลดังกล่าวอาจเป็นแนวทางสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ประโยชน์ในการกำหนดนโยบาย และการวางแผนเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือกับโรคอุบัติใหม่จากภาวะโลกร้อน ดังเช่น โรคโควิด-19 ที่ผ่านมา



## บทที่ 5

ประสิทธิภาพการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ในการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization)

ภายในตู้ชีวนิรภัย คลาส II

รายละเอียดของตู้ชีวนิรภัย การใช้งาน และตำแหน่งที่ตั้ง

การศึกษาประสิทธิภาพของการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet) ในการทำให้ปราศจากเชื้อ (sterilization) ภายในตู้ชีวนิรภัยต่ออัตราการลดการปนเปื้อน (contamination) ในชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ ได้ทำการทดสอบในตู้ชีวนิรภัย 4 ตู้ ซึ่งมีรายละเอียดของตำแหน่งที่ตั้งของตู้ดังต่อไปนี้

1. ตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 1 ยี่ห้อ ESCO รุ่น LA2-6A1 ประจำอยู่ที่ห้อง 1813 อาคารวิทย์ 1 อยู่ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการเรียนการสอนในงานด้าน cell culture มีอายุใช้งาน >10 ปี



รูปที่ 16 แสดงตำแหน่งของตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 1

2. ตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 2 ยี่ห้อ Scanlaf รุ่น MARS 1200 ประจำอยู่ที่ห้อง 1814 อาคารวิทย์ 1 อยู่ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ ใช้ในการเรียนการสอนในงานด้าน microbiology มีอายุใช้งาน 6 ปี ได้รับการเปลี่ยน HEPA filter ใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2563



รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งของตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 2

3. ตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 3 ยี่ห้อ ESCO รุ่น LA2-6A1 ประจำอยู่ที่ห้อง 1719 อาคารวิทย์ 1 อยู่ในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง ใช้ในการเรียนการสอนในงานด้าน microbiology มีอายุใช้งาน >10 ปี ได้รับการเปลี่ยน HEPA filter ใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2563



รูปที่ 18 แสดงตำแหน่งของตู้ชีวนิรภัย ตู้หมายเลข 3

4. ตู้ชีวนิรภัยหมายเลข 4 ยี่ห้อ EHRET รุ่น V-190 ประจำอยู่ที่ห้อง 1812 อาคารวิทย์ 1 อยู่ในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง ใช้ในการเรียนการสอนในงานด้าน microbiology มีอายุใช้งาน >10 ปี ได้รับการเปลี่ยน HEPA filter ใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2563





รูปที่ 19 แสดงตำแหน่งของตู้ชีวนิรภัย ตู้หมายเลข 4

โดยตู้ชีวนิรภัยทั้ง 4 ตู้ ได้ผ่านการตรวจรับรองตามมาตรฐานสากล โดยอ้างอิงมาตรฐานในการสอบเทียบตามวิธีการที่ระบุไว้ในคู่มือการใช้งานของตู้ชีวนิรภัยแต่ละรุ่น เรียบร้อยแล้ว ดังรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 19 ยี่ห้อตู้ชีวนิรภัย สภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง และสถานะการตรวจรับรอง

ห้องที่	ยี่ห้อ, รุ่น	สภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง	สถานะการตรวจรับรอง
1813	ESCO, LA2-6A1	ห้องแอร์ปรับอากาศ	ตรวจรับรอง “ผ่าน” โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ประจำจากศูนย์ความร่วมมือไทย-สหรัฐฯ ด้านสาธารณสุข
1814	Scanlaf, Mars 1200		ตรวจรับรอง “ผ่าน” ตามมาตรฐาน โดยเจ้าหน้าที่ จากบริษัทที่
1719	ESCO, LA2-6A1	ห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง	ดำเนินการนำเข้าและจัดจำหน่าย HEPA filter และให้บริการสอบเทียบตู้ชีวนิรภัย
1812	EHRET, V-190		



**ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแสงอัลตราไวโอเล็ตต่อการลดการปนเปื้อนของ  
ผลิตภัณฑ์ภายในตู้ชีวนิรภัย**

ในการทดสอบประสิทธิภาพของแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ติดตั้งในตู้ชีวนิรภัยต่อการลดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่ทำงานภายในตู้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การศึกษาการปนเปื้อนของแบคทีเรียบนผลิตภัณฑ์ ด้วยอาหาร plate count agar (PCA)

ผลจากการศึกษาพบการปนเปื้อนของแบคทีเรียบนชิ้นงาน สามารถสรุปได้ในตารางที่ 20

**ตารางที่ 20** จำนวนโคโลนีที่พบการปนเปื้อนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ในตู้ชีวนิรภัยที่ทำการทดสอบ

จำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (โคโลนี)										
Position	Condition	Air-conditioned room				Window-ventilated room				Total
		BSC no. 1 (1813)		BSC no. 2 (1814)		BSC No. 3 (1719)		BSC no. 4 (1812)		
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	
1	UV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Non	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	UV	0	1	0	0	0	0	1	0	2
	Non	0	0	0	0	0	0	1	0	1
3	UV	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Non	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	UV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Non	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	UV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Non	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Total	UV	0	1	0	0	0	0	2	0	3
	Non	0	0	0	0	0	0	2	0	2

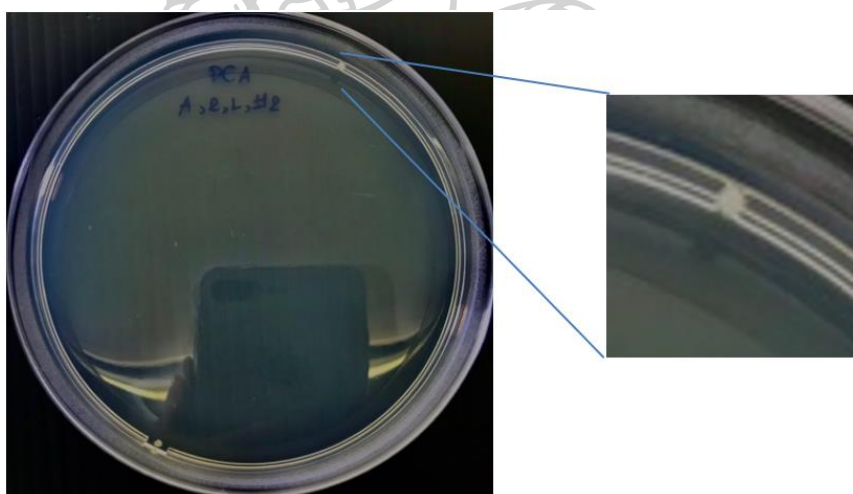
หมายเหตุ UV : UV-C and ethanol disinfection; total contamination = 3 colonies

Non : Ethanol disinfection; total contamination = 2 colonies

จากตารางที่ 20 พบว่ามีการปนเปื้อนของแบคทีเรียบนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 5 เพลท จากทั้งหมด 80 เพลท คิดเป็น 6.25% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำให้ปราศจากเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตตามด้วยการเช็ดพื้นผิวภายในตู้ด้วย 70% ethanol มีการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ 3 เพลท จากทั้งหมด 40 เพลท (จากการทดสอบทั้งหมด 2 ซ้ำ) คิดเป็น 7.5% ซึ่งมีอัตราปนเปื้อนที่สูงกว่า การเช็ดด้วย 70% ethanol เพียงอย่างเดียว ที่พบการปนเปื้อน 2 เพลทจาก 40 เพลท (จากการทดสอบทั้งหมด 2 ซ้ำ) คิดเป็น 5%

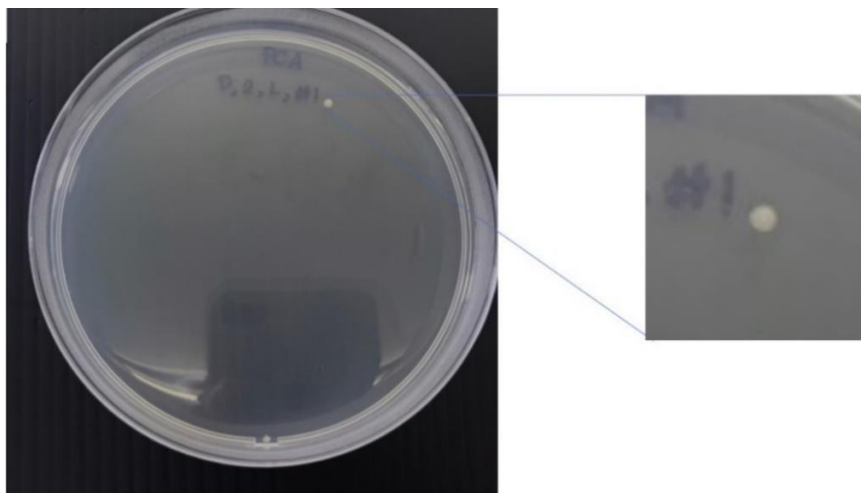
แบคทีเรียที่พบการปนเปื้อนบนอาหาร PCA มีลักษณะที่แตกต่างกัน สันนิษฐานได้ว่าเป็นเชื้อชนิดต่างกัน และมีตำแหน่งโคโลนีบนอาหารที่แตกต่างกัน ดังนี้

- อาหาร PCA จาก ห้อง 1813 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรดดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จากการทดลองซ้ำที่ 2 พบโคโลนีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร สีขาวขอมไม่เรียบ หนูนเล็กน้อย ลักษณะแข็งและแห้ง (รูปที่ 20)



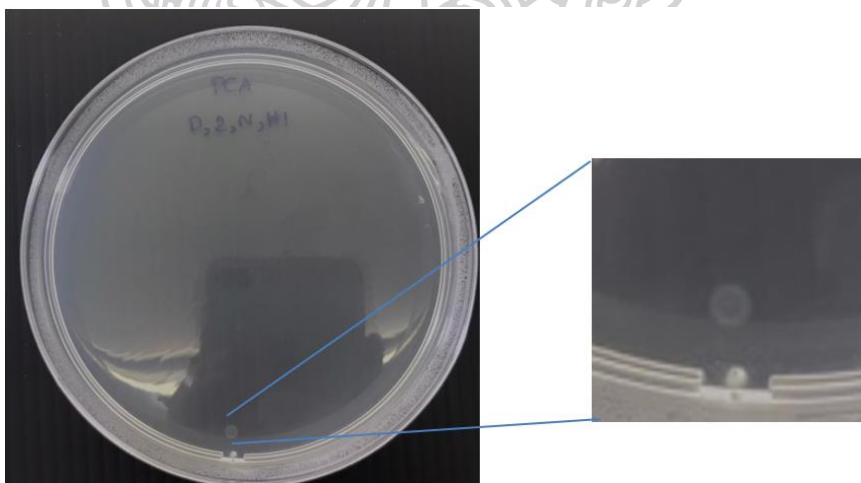
รูปที่ 20 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PCA จากตู้ชีววิทยาคلاس II ห้อง 1813 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 2

- อาหาร PCA จาก ห้อง 1812 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรดดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จากการทดลองซ้ำที่ 1 พบโคโลนีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตร ลักษณะวงกลม มีสีครีมเกือบเหลือง และมีขอบเรียบ ลักษณะเป็นมันวาว (รูปที่ 21)



รูปที่ 21 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PCA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1812 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 1

- อาหาร PCA จาก ห้อง 1812 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น จากการทดลองซ้ำที่ 1 พบโคโลนีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร สีขาวโปร่งใส ขอบเรียบขอบขาวเด่น และบริเวณโคโลนีจางคล้าย ring (รูปที่ 22)



รูปที่ 22 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PCA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1812 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 1

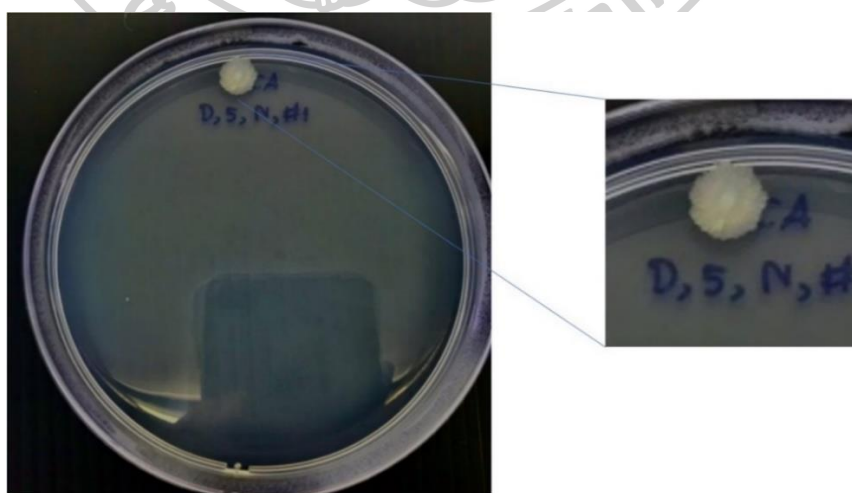
- อาหาร PCA จาก ห้อง 1812 วางเพลทที่ตำแหน่ง 3 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จาก

การทดลองซ้ำที่ 1 พบโคโลนีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 x 1.1 เซนติเมตร สีขาวขบไม่เรียบ ไม่มีรูปแบบ ลักษณะเป็นมันวาว (รูปที่ 23)



รูปที่ 23 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PCA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1812 ตำแหน่งที่ 3 การทดลองซ้ำที่ 1

- อาหาร PCA จาก ห้อง 1812 วางเพลทที่ตำแหน่ง 5 (โปรดดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น จากการทดลองซ้ำที่ 1 พบโคโลนีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เซนติเมตร สีขาวขบไม่เรียบคล้ายกลีบดอกไม้ ลักษณะนูนเล็กน้อย (รูปที่ 24)



รูปที่ 24 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PCA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1812 ตำแหน่งที่ 5 การทดลองซ้ำที่ 1

2. การศึกษาการปนเปื้อนของราบนผลิตภัณ์ต์ ด้วยอาหาร potato dextrose agar (PDA)

ผลจากการศึกษาพบการปนเปื้อนของราบนชิ้นงาน สามารถสรุปได้ในตารางที่ 21

**ตารางที่ 21** จำนวนโคโลนีที่พบการปนเปื้อนบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ในตู้ชีวนิรภัยที่ทำการทดสอบ

จำนวนโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (โคโลนี)										
Position	Condition	Air-conditioned room				Window-ventilated room				Total
		BSC no. 1 (1813)		BSC no. 2 (1814)		BSC No. 3 (1719)		BSC no. 4 (1812)		
		ซ้้า 1	ซ้้า 2	ซ้้า 1	ซ้้า 2	ซ้้า 1	ซ้้า 2	ซ้้า 1	ซ้้า 2	
1	UV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Non	0	1	0	0	0	0	0	0	1
2	UV	0	3	1	0	0	1	0	0	5
	Non	1	1	0	0	0	0	0	0	2
3	UV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Non	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	UV	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Non	0	0	0	1	0	0	0	0	1
5	UV	0	1	0	1	0	0	0	0	2
	Non	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	UV	0	4	1	1	0	1	0	0	7
	Non	1	2	0	1	0	0	0	0	4

หมายเหตุ UV : UV-C and ethanol disinfection; total contamination = 7 colonies

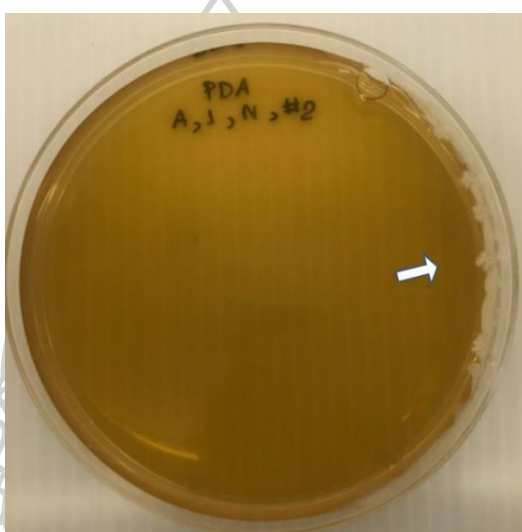
Non : Ethanol disinfection; total contamination = 4 colonies

จากตารางที่ 21 พบว่ามีการปนเปื้อนของราบนผลิตภัณ์ต์ทั้งหมด 9 เพลท (จำนวน 11 โคโลนี) จากทั้งหมด 80 เพลท คิดเป็น 11.25% เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำให้ปราศจากเชื้อด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ตตามด้วยการเช็ดพื้นผิวภายในตู้ด้วย 70% ethanol มีการปนเปื้อนของผลิตภัณ์ต์ 5 เพลท จากทั้งหมด 40 เพลท (จากการทดสอบทั้งหมด 2 ซ้้า) คิดเป็น 12.5% ซึ่งมีอัตรา

ปนเปื้อนที่สูงกว่า การเช็ดด้วย 70% ethanol เพียงอย่างเดียว ที่พบการปนเปื้อน 4 เพลทจาก 40 เพลท (จากการทดสอบทั้งหมด 2 ซ้ำ) คิดเป็น 10%

เชื้อราที่พบการปนเปื้อนบนอาหาร PDA มีลักษณะที่แตกต่างกัน สันนิษฐานได้ว่าเป็นเชื้อชนิดต่างกัน และมีตำแหน่งโคโลนียบนอาหารที่แตกต่างกัน ดังนี้

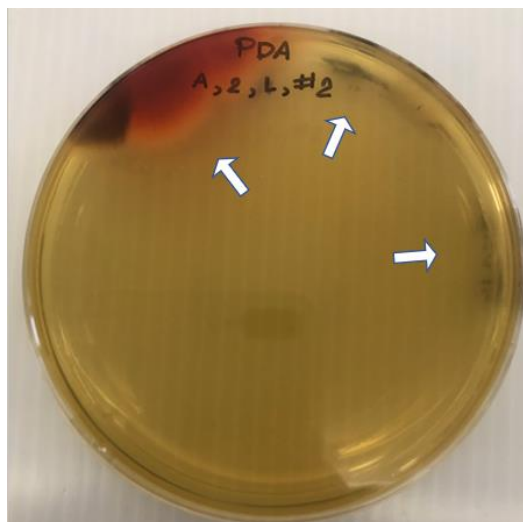
- อาหาร PDA จาก ห้อง 1813 วางเพลทที่ตำแหน่ง 1 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น จากการทดลองซ้ำที่ 2 พบเส้นใยสีขาวอมเขียว แผ่ลามตามแนวขอบเพลท (รูปที่ 25)



รูปที่ 25 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1813 ตำแหน่งที่ 1 การทดลองซ้ำที่ 2

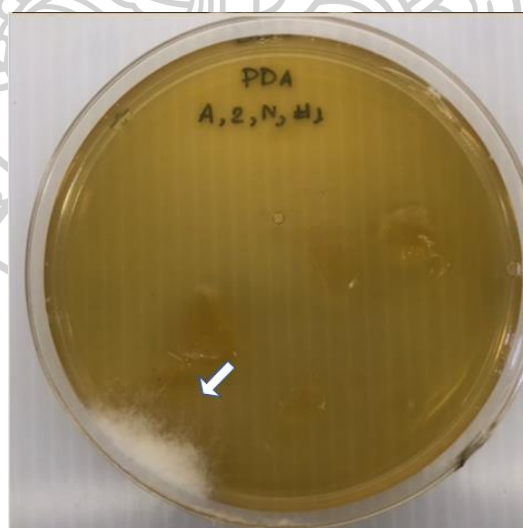
- อาหาร PDA จาก ห้อง 1813 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จากการทดลองซ้ำที่ 2 พบการปนเปื้อน ลักษณะเส้นใยตรงกลางสีดำ ขอบสีขาว จำนวน 2 โคโลนี และลักษณะเส้นใยสีแดงบนเส้นใยสีขาว จำนวน 1 โคโลนี ตามบริเวณขอบเพลท (รูปที่ 26)





รูปที่ 26 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1813 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 2

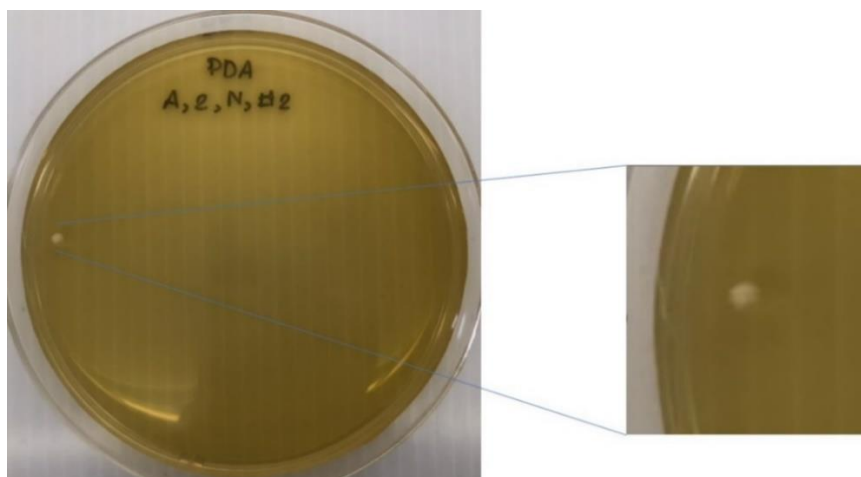
- อาหาร PDA จาก ห้อง 1813 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรดดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น จากการทดลองซ้ำที่ 1 พบเส้นใยสีขาวฟูฟ่อง บริเวณขอบเพลท (รูปที่ 27)



รูปที่ 27 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1813 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 1

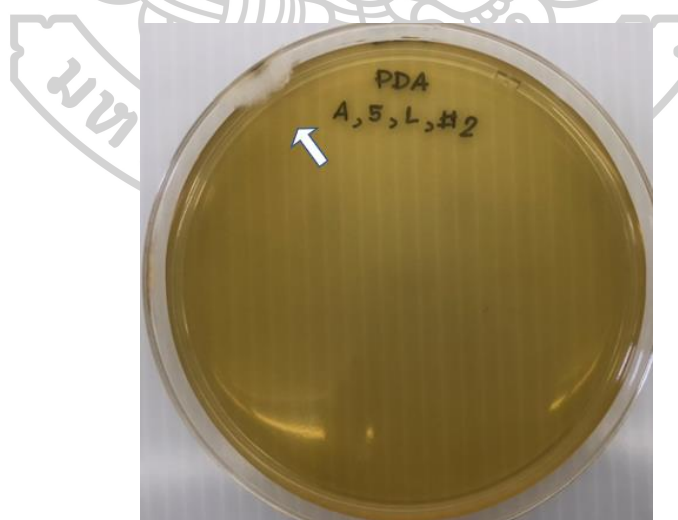
- อาหาร PDA จาก ห้อง 1813 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรดดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น จากการทดลองซ้ำที่

2 พบโคโลนีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร ลักษณะวงกลม มีสีครีมเกือบเหลือง ขอบเรียบ ลักษณะนูน เป็นมันวาว (รูปที่ 28)



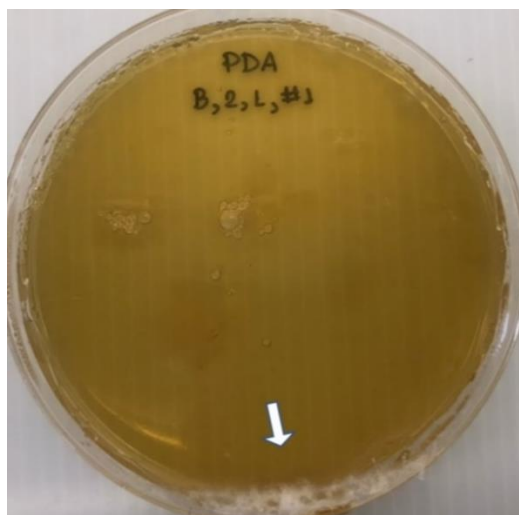
รูปที่ 28 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1813 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 2

- อาหาร PDA จาก ห้อง 1813 วางเพลทที่ตำแหน่ง 5 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จากการทดลองซ้ำที่ 2 พบเส้นใยสีขาวฟูฟ่อง บริเวณขอบเพลท (รูปที่ 29)



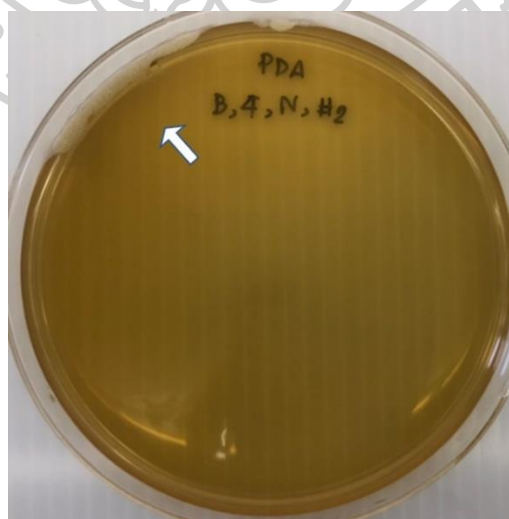
รูปที่ 29 ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1813 ตำแหน่งที่ 5 การทดลองซ้ำที่ 2

- อาหาร PDA จาก ห้อง 1814 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จากการทดลองซ้ำที่ 1 พบเส้นใยสีขาวฟูฟ่อง บริเวณขอบเพลท (รูปที่ 30)



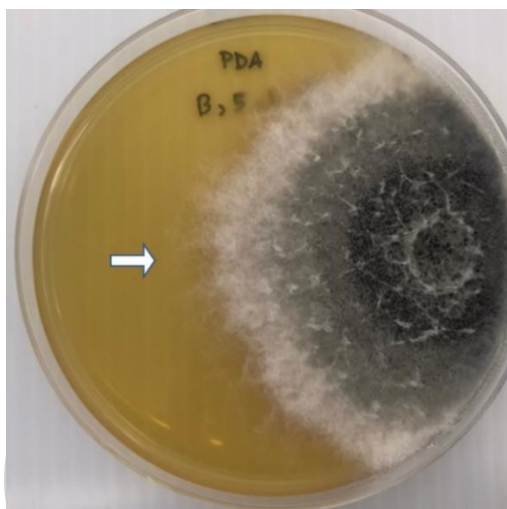
**รูปที่ 30** ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีววิทยาคلاس II ห้อง 1814 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 1

- อาหาร PDA จาก ห้อง 1814 วางเพลทที่ตำแหน่ง 4 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น จากการทดลองซ้ำที่ 2 พบเส้นใยสีขาว ลักษณะเป็นขุยๆ ยาวตามขอบเพลท (รูปที่ 31)



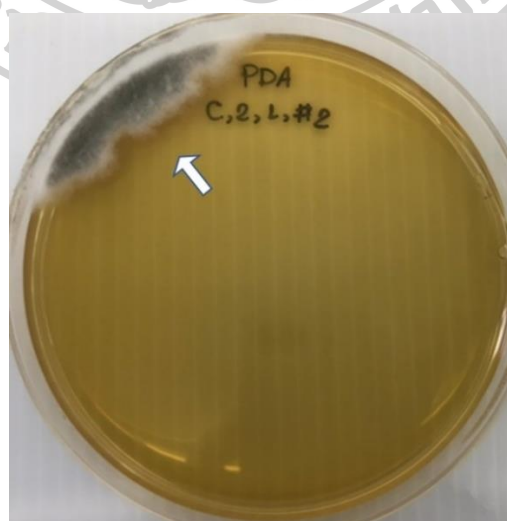
**รูปที่ 31** ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีววิทยาคلاس II ห้อง 1814 ตำแหน่งที่ 4 การทดลองซ้ำที่ 2

- อาหาร PDA จาก ห้อง 1814 วางเพลทที่ตำแหน่ง 5 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จากการทดลองซ้ำที่ 2 พบโคโลนี ลักษณะเป็นเส้นใยตรงกลางสีดำ ขอบสีขาว แผ่กระจาย รัศมีโคโลนี 5.0 เซนติเมตร (รูปที่ 32)



**รูปที่ 32** ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1814 ตำแหน่งที่ 5 การทดลองซ้ำที่ 2

- อาหาร PDA จาก ห้อง 1812 วางเพลทที่ตำแหน่ง 2 (โปรตดูรายละเอียดในรูปที่ 15 ในบทที่ 3 วิธีการทดลอง) ใช้วิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol จากการทดลองซ้ำที่ 2 พบเส้นใยตรงกลางสีดำ ขอบสีขาว แผ่กระจายตามขอบเพลท (รูปที่ 33)



**รูปที่ 33** ลักษณะโคโลนีที่เจริญบนอาหาร PDA จากตู้ชีวนิรภัยคลาส II ห้อง 1812 ตำแหน่งที่ 2 การทดลองซ้ำที่ 2

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแสงอัลตราไวโอเล็ต ต่อการลดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ภายในตู้ชีวนิรภัย สรุปได้ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 22** ร้อยละของอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่พบการปนเปื้อน เปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต และไม่ใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต

Disinfection condition	จำนวนเพลทที่ตรวจ	อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (เพลท)		
		ไม่พบการปนเปื้อน	พบการปนเปื้อน	% ปนเปื้อน
แสงอัลตราไวโอเล็ต และ 70% ethanol	40	37	3	7.5 %
70% ethanol เท่านั้น	40	38	2	5.0 %

จากตารางที่ 22 หลังจากการบ่มอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าอาหารเลี้ยงเชื้อในตู้ชีวนิรภัยที่ทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเล็ตและ 70% ethanol พบจำนวนเพลทที่มีการปนเปื้อนจำนวน 3 เพลท ส่วนอาหารเลี้ยงเชื้อในตู้ชีวนิรภัยที่ทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น พบจำนวนเพลทที่มีการปนเปื้อนจำนวน 2 เพลท

โดยที่อาหารเลี้ยงเชื้อที่ปนเปื้อนทั้งหมด พบการปนเปื้อนเพียง 1 โคโลนี มีลักษณะสีขาวเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 0.1 – 0.2 เซนติเมตร จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM, Armonk, New York; เวอร์ชัน 21) พบว่าความแตกต่างเพียงเพลทเดียวที่พบการปนเปื้อนในอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA เป็นความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติของจำนวนเพลท ที่ระดับ  $P \leq 0.05$

ตารางที่ 23 ร้อยละของอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่พบการปนเปื้อน เปรียบเทียบระหว่างวิธีการทำให้ปราศจากเชื้อโดยใช้แสงอัลตราไวโอเลต และไม่ใช้แสงอัลตราไวโอเลต

Disinfection condition	จำนวนเพลทที่ตรวจ	อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (เพลท)		
		ไม่พบการปนเปื้อน	พบการปนเปื้อน	% ปนเปื้อน
แสงอัลตราไวโอเลต และ 70% ethanol	40	35	5	12.5 %
70% ethanol เท่านั้น	40	36	4	10.0 %

จากตารางที่ 23 ภายหลังจากการบ่มอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จะเห็นได้ว่า อาหารเลี้ยงเชื้อในตู้ชีวนิรภัยที่ทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเลตและ 70% ethanol พบจำนวนเพลทที่มีการปนเปื้อนจำนวน 5 เพลท ส่วนอาหารเลี้ยงเชื้อในตู้ชีวนิรภัยที่ทำให้ปราศจากเชื้อโดย 70% ethanol เท่านั้น พบจำนวนเพลทที่มีการปนเปื้อนจำนวน 4 เพลท

เมื่อพิจารณาถึงจำนวนโคโลนีที่พบการเจริญบนอาหาร พบจำนวนสูงสุดคือ 3 โคโลนี บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ในตู้ชีวนิรภัยที่ทำให้ปราศจากเชื้อโดยแสงอัลตราไวโอเลตและ 70% ethanol ในขณะที่อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่ปนเปื้อนอีก 8 เพลท พบเพียงโคโลนีเดียว นอกจากนี้ขนาดโคโลนีที่เล็กที่สุดคือ ประมาณ 0.3 เซนติเมตร ส่วนขนาดโคโลนีที่ใหญ่ที่สุดคือ 5.0 เซนติเมตร จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM, Armonk, New York; เวอร์ชัน 21) พบว่าความแตกต่างเพียงเพลทเดียวที่พบการปนเปื้อนในอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เป็นความแตกต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติของจำนวนเพลท ที่ระดับ  $P \leq 0.05$



ตารางที่ 24 จำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อที่พบการปนเปื้อน และตำแหน่งการวางเพลทในตู้ชีววิทย์

หมายเลขตู้	อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA และ PDA ที่พบการปนเปื้อน (เพลท)										Total
	ตำแหน่งที่ 1		ตำแหน่งที่ 2		ตำแหน่งที่ 3		ตำแหน่งที่ 4		ตำแหน่งที่ 5		
	PCA	PDA	PCA	PDA	PCA	PDA	PCA	PDA	PCA	PDA	
ตู้หมายเลข 1	0	1	1	3	0	0	0	0	0	1	6
ตู้หมายเลข 2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	3
ตู้หมายเลข 3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
ตู้หมายเลข 4	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0	4
Total	0	1	3	5	1	0	0	1	1	2	14

จากตารางที่ 24 จะเห็นว่า ตำแหน่งวางอาหารเลี้ยงเชื้อในตู้ชีววิทย์ที่พบการปนเปื้อนจำนวนมากที่สุด คือ ตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านหลังทางด้านขวาของตู้ชีววิทย์ โดยพบการปนเปื้อนจากอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA จำนวน 3 เพลท และพบการปนเปื้อนจากอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA จำนวน 5 เพลท ซึ่งคาดว่า การปนเปื้อนจำนวนมากในตำแหน่งดังกล่าว อาจเนื่องมาจากเป็นตำแหน่งด้านในสุด จึงทำให้ผู้ใช้งานตู้ชีววิทย์เช็ดทำความสะอาดด้วย 70% ethanol ได้ยาก อย่างไรก็ตาม ควรทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อการสรุปผลที่แน่นอน

ตารางที่ 25 จำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อที่พบการปนเปื้อน จากตู้ชีววิทย์ที่ติดตั้งอยู่ในห้องแอร์ปรับอากาศ กับห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง

Condition		จำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ปนเปื้อน (เพลท)	
		PCA	PDA
BSCs in air conditioned-rooms	ตู้หมายเลข 1	1	5
	ตู้หมายเลข 2	0	3
BSCs in window ventilated-rooms	ตู้หมายเลข 3	0	1
	ตู้หมายเลข 4	4	0

จากตารางที่ 25 เมื่อเปรียบเทียบการปนเปื้อนของอาหารเลี้ยงเชื้อระหว่างการวางเพลทในตู้ชีวนิรภัยที่ติดตั้งอยู่ในห้องแอร์ปรับอากาศกับตู้ชีวนิรภัยที่ติดตั้งอยู่ในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง พบว่าจำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA จากตู้ชีวนิรภัยที่ติดตั้งในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง มีจำนวนเพลทอาหารปนเปื้อนมากกว่าอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA จากตู้ในห้องแอร์ปรับอากาศ ในทางตรงกันข้าม จำนวนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA จากตู้ชีวนิรภัยที่ติดตั้งในห้องแอร์ปรับอากาศ มีจำนวนเพลทอาหารปนเปื้อนมากกว่าอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA จากตู้ในห้องที่มีการระบายอากาศด้วยการเปิดปิดประตูและหน้าต่าง

จากผลการทดลองที่ได้จากการศึกษานี้ พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น งานวิจัยของ Burgener et al. (2018) ได้กล่าวไว้ว่า "ไม่มีความจำเป็นต้องใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตสำหรับการทำให้ตู้ชีวนิรภัยปลอดเชื้อหากมีเทคนิคการปฏิบัติงานที่ปลอดเชื้อซึ่งใช้สารฆ่าเชื้อที่เหมาะสมสำหรับตู้ชีวนิรภัย งานวิจัยของ Ashley et al. (2020) ก็ได้มีการรายงานไว้ว่า แสงยูวี และ 70% ไอโซโพลพิวแอลกอฮอล์มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลชีพที่เปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกัน ซึ่งได้ระบุเพิ่มเติมว่า เป็นเพียงการลดจำนวนจุลชีพบนพื้นผิวของโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ชำนาญการทางทันตกรรม ไม่ได้ฆ่าเชื้อจุลชีพได้ทั้งหมด และแนะนำว่าควรพิจารณาตามความเหมาะสมในการใช้แสงยูวี และ 70% ไอโซโพลพิวแอลกอฮอล์ สำหรับการฆ่าเชื้อจุลชีพ

อย่างไรก็ตามมีการเสนอแนะถึงประโยชน์ของการใช้แสงยูวีเพื่อฆ่าเชื้อโรคในตู้ชีวนิรภัย ตัวอย่างเช่น ความจำเป็นในการใช้หน้ากากอนามัยชนิด N95 ขึ้น เนื่องจากการขาดแคลนในสถานการณ์การระบาดของโควิด-19 ก็มีการใช้แสงยูวีในตู้ชีวนิรภัยมาใช้เพื่อฆ่าเชื้อบนพื้นผิวหน้ากอกได้ (Weaver et al., 2021) ข้อดีของการใช้รังสีอัลตราไวโอเล็ตในการฆ่าเชื้อ คือ ใช้เวลาไม่นาน ไม่ทำลายเส้นใยและพื้นผิววัสดุ และไม่ทิ้งสารตกค้าง ซึ่งจากการทดลองของ (Ontiveros et al., 2021) ได้ประเมินผลกระทบของการใช้แสงยูวีต่อประสิทธิภาพการกรองอากาศและความเสียหายที่มีต่อสายรัดหน้ากอกอนามัยชนิด N95 ผลลัพธ์ที่ได้บ่งชี้ว่า หน้ากอกอนามัยชนิด N95 ที่ทดสอบ อาจจะสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำ (reused) ได้ถึงสิบครั้ง โดยส่งผลกระทบอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อประสิทธิภาพของหน้ากอก

นอกจากการนำแสงยูวีมาใช้ในห้องปฏิบัติการวิจัย เพื่อฆ่าเชื้อจุลชีพและกำจัดไวรัสได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว งานวิจัยของ Meechan and Wilson (2006) ยังศึกษาพบว่า แสงยูวีความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร นับว่าเป็นยาฆ่าเชื้อในอุดมคติของการป้องกันการปนเปื้อนข้ามตัวอย่าง (cross contamination) ในตัวอย่างสำหรับตรวจหาเชื้อก่อโรคด้วยเทคนิคปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส (Polymerase Chain Reaction : PCR)

## รายการอ้างอิง

Al-Dahhan, W. H. et. al. (2016). Laboratory biological safety cabinet (BSC) explosion.

**Karbala International Journal of Modern Science** 2 (4): 276-279.

doi:<https://doi.org/10.1016/j.kijoms.2016.11.001>

Arfin Qasmi, S. et. al. (2020). Survey on proper and safe use of biological safety cabinets (BSCs) in research, bio-medical and animal laboratories in Karachi, Pakistan a cross sectional study. **Journal of Biosafety and Biosecurity** 2 (2): 77-80.

doi:10.1016/j.jobb.2020.10.003

Ashley et. al. (2020). **To UV or not to UV, We Asked the Question!**. [Online]. Retrieved February 2, 2023, from <https://soschargingolutions.com/sos-blog/to-uv-or-not-to-uv>

Burgener, J. (2006). Position Paper on the Use of Ultraviolet Lights in Biological Safety Cabinets. **Applied Biosafety**. 11: 228-230. doi:10.1177/153567600601100410

Burgener, J., Lilly, E. and Company. (2018). **Ultraviolet Radiation: Risks and Benefits**. [Online]. Retrieved February 2, 2023, from <https://www.news-medical.net/whitepaper/20181112/Ultraviolet-Radiation-Risks-and-Benefits.aspx>

CDC/NIH. (2000). **Primary Containment for Biohazards: Selection, Installation and Use of Biological Safety Cabinets**. Jonathan Y. Richmond (Ed.).

Dondelinger, R. (2013). Biological Safety Cabinets. **Biomedical Instrumentation & Technology**. 47 (4): 333-338. doi:doi:10.2345/0899-8205-47.4.333

Environment, Health and Safety, Cornell University. (n.d.). **Things to avoid when using a BSC**. [Online]. Retrieved February 6, 2023, from <https://ehs.cornell.edu/research-safety/biosafety-biosecurity/biological-safety-manuals-and-other-documents/biological/biological-safety-cabinets#Things+to+avoid+when+using+a+BSC>

- Ghosh, S. et. al. (2019). Developing an In-House Biological Safety Cabinet Certification Program at the University of North Dakota. **Applied Biosafety** 24 (3): 153-160. doi:10.1177/1535676019859787
- Hakim, S. T. et. al. (2012). Knowledge and Awareness of Routine Biosafety Measures and Proper Waste Disposal Practices Among Healthcare Workers in Karachi, Pakistan. **Applied Biosafety** 17 (4): 208-212.
- Kruse, R. H., Puckett, W. H. and Richardson, J. H. (1991). Biological safety cabinetry. **Clinical Microbiology Reviews** 4: 207-241. doi:10.1128/CMR.4.2.207
- Meechan, P. J. and Wilson, C. (2006). Use of ultraviolet lights in biological safety cabinets: A contrarian view. **Applied Biosafety** 11 (4): 222-227.
- Miring'u, G. et al. (2017). Knowledge and Practices Regarding Usage of Biological Safety Cabinets. **Applied Biosafety** 22 (1): 38-43. doi:10.1177/1535676016685790
- Mok, D. et. al.. (2021). Implementation of Class II biological safety cabinet good maintenance practice: protective countermeasures against SARS CoV 2 for ISO 15189:2012 accredited medical laboratories. **New Zealand Journal of Medical Laboratory Science** 75 (1).
- Mourya D. T. et. al. (2014). Establishment of biosafety level-3 (BSL-3) laboratory: Important criteria to consider while designing, constructing, commissioning & operating the facility in Indian setting. **Indian Journal of Medical Research**. 140 (2): 171-183.
- Ontiveros, C. C. et. al. (2021). Assessing the impact of multiple ultraviolet disinfection cycles on N95 filtering facepiece respirator integrity. **Scientific Reports** 11 (1). doi:10.1038/s41598-021-91706-1

- Pawar, S. D. et. al. (2021). Selection and application of biological safety cabinets in diagnostic and research laboratories with special emphasis on COVID-19. **Review of Scientific Instruments** 92 (8): 081401. doi:10.1063/5.0047716
- Peng, H., Bilal, M. and Iqbal, HMN. (2018). Improved biosafety and biosecurity measures and/or strategies to tackle laboratory-acquired infections and related risks. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 15 (2697): 1-13.
- Weaver, D.T. et. al. (2021). UV decontamination of personal protective equipment with idle laboratory biosafety cabinets during the COVID-19 pandemic. **PLoS One** 16 (7): e0241734. doi:10.1371/journal.pone.0241734
- Whistler, T., Kaewpan, A. and Blacksell, S.D. (2016). A Biological Safety Cabinet Certification Program: Experiences in Southeast Asia. **Journal of ABSA International** 21 (3): 121-127. doi:10.1177/1535676016661769
- World Health Organization. (2021). **Laboratory biosafety guidance related to coronavirus disease (COVID-19): Interim guidance**. [Online]. Retrieved October 10, 2022, from <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-WPE-GIH-2021.1>
- กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2564). **คำแนะนำในการทำความสะอาด ทำลายและฆ่าเชื้อโรคในสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)**. นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- ฉันทยาภรณ์ ไวยโกศา. (2563). **การใช้งานตู้ชีวนิรภัย (Biological Safety Cabinet)**. สงขลา: ห้องปฏิบัติการวิจัยกลาง ศูนย์วิจัยการแพทย์ปรีเวรต.
- บุญช่วย เอี่ยมโกศลภ. (2557). **ตู้ชีวนิรภัย: การใช้งานและการตรวจสอบประสิทธิภาพ**. วารสารเทคนิคการแพทย์, 1.
- ผกากรอง วนไพศาล. (2563). **การฆ่าเชื้อด้วยรังสียูวีซี (UVC)**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

พิทักษ์ คิมนารักษ์. (2558). การแพร่กระจายของเชื้อราในอากาศภายในห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์: กรณีศึกษา ห้องปฏิบัติการเทคนิคการแพทย์ โรงพยาบาลนครปฐม จังหวัดนครปฐม. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข, (2561). บทบาทภารกิจ หน่วยประสานงานโครงการความร่วมมือระหว่างกระทรวงสาธารณสุขกับศูนย์ความร่วมมือไทย-สหรัฐฯ (MOPH-TUC Coordinating Unit, Co-Unit). [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 6 กุมภาพันธ์ 2566. จาก [http://tuc-counit.moph.go.th/?page\\_id=534](http://tuc-counit.moph.go.th/?page_id=534)

สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราชนชัย. (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.

สุธินันท์ บุญส่งแท้. (2553). คู่มือความปลอดภัยทางชีวภาพสำหรับห้องปฏิบัติการ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 30 ตุลาคม 2563. จาก [http://admin.pha.nu.ac.th/backoffice/php\\_form/uploads/files/lab/BiosafetyNU.pdf](http://admin.pha.nu.ac.th/backoffice/php_form/uploads/files/lab/BiosafetyNU.pdf)







## ภาคผนวก ก

## การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

## อาหารเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย

## 1. Plate count agar (PCA)

PCA	23.5	กรัม
-----	------	------

น้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ	1,000	มิลลิลิตร
-----------------------	-------	-----------

ละลายส่วนประกอบในน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ทำให้ปลอดเชื้อ โดยนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/sq. in) อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วปล่อยให้เย็นลงประมาณ 50 องศาเซลเซียส เทอาหารลงบน plate ที่ sterile แล้ว plate ละประมาณ 20 มิลลิลิตร โดยทำในตู้ปลอดเชื้อ ทิ้งไว้ให้เย็น

## 2. Potato dextrose agar (PDA)

PDA	39.0	กรัม
-----	------	------

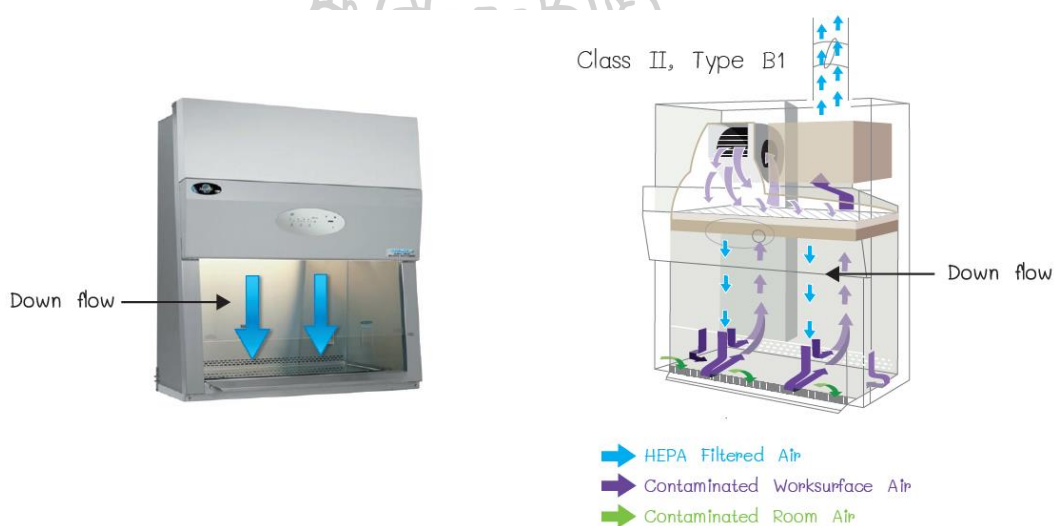
น้ำกลั่นให้ปริมาตรครบ	1,000	มิลลิลิตร
-----------------------	-------	-----------

ละลายส่วนประกอบในน้ำกลั่น ผสมให้เข้ากัน ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร ทำให้ปลอดเชื้อ โดยนึ่งด้วยหม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave) ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (lb/sq. in) อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วปล่อยให้เย็นลงประมาณ 50 องศาเซลเซียส เทอาหารลงบน plate ที่ sterile แล้ว plate ละประมาณ 20 มิลลิลิตร โดยทำในตู้ปลอดเชื้อ ทิ้งไว้ให้เย็น

## ภาคผนวก ข

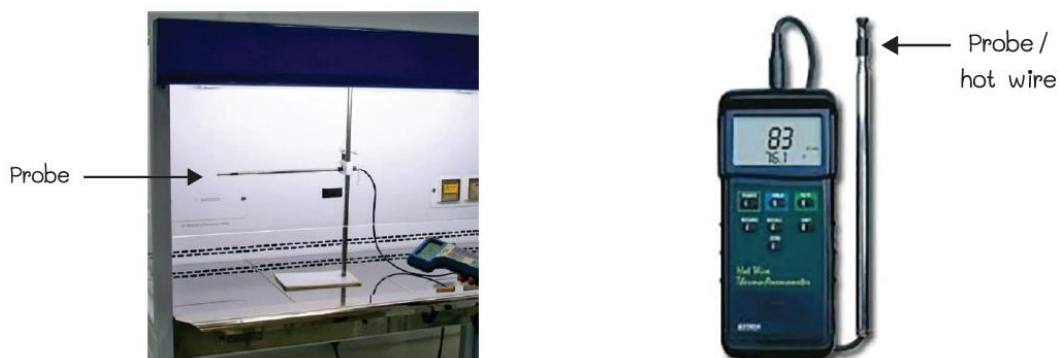
### การตรวจสอบการทำงานของตู้ชีวนิรภัย (Certification)

1. **Downflow velocity test** เป็นการวัดความเร็วลม ที่ไหลเวียนลงไปยังพื้นที่ทำงานในตู้
  - 1.1 อุปกรณ์ที่ใช้มี Thermal Anemometer ที่ผ่านมาตรฐานการสอบเทียบ พร้อมขาตั้งและอุปกรณ์ยึดจับ (clamp) สำหรับ probe
  - 1.2 วัดความเร็วลม ณ จุดต่างๆ ไม่ห่างกันเกิน 6 นิ้ว โดยทำตารางการวัด (grid) ให้ครอบคลุมพื้นที่
  - 1.3 วาง probe ณ ความสูงที่ 4 นิ้ว จากระยะขอบล่างของกระจก
  - 1.4 Downflow test มีวิธีตรวจรับรองเพียงวิธีเดียว



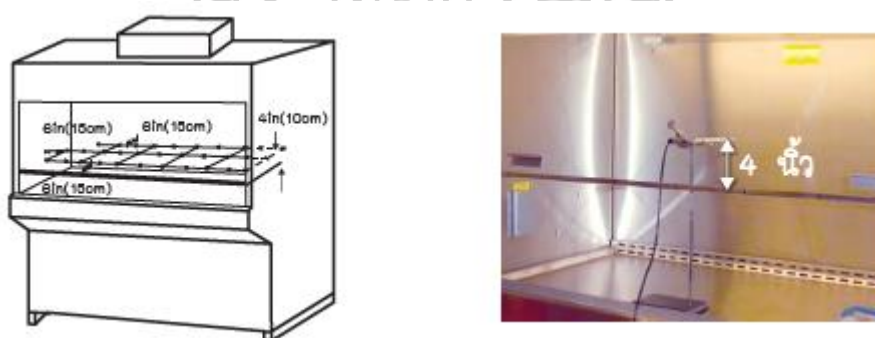
รูปที่ 34 (รูปผนวก ข.1) ทิศทางการไหลของ Downflow

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 43.



รูปที่ 35 (รูปผนวก ข.2) การติดตั้งอุปกรณ์ air velocity meter และ probe ใช้วัดความเร็วลม  
ภายในตู้

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่าง  
ถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 43.



รูปที่ 36 (รูปผนวก ข.3) การสร้าง Grid ครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน และระยะการวาง probe ขณะวัด  
downflow

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่าง  
ถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 43.

## 2. Inflow velocity test วัดความเร็วลมที่เข้ามาบริเวณด้านหน้าตู้

- 2.1 ใช้ DIM with hood วางครอบช่องเปิดด้านหน้าตู้ชีวนิรภัย และปิดโดยรอบด้วยเทปกาว  
ให้แน่น ไม่ให้มีช่องลม
- 2.2 อ่านค่า 5 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย
- 2.3 คำนวณ (Volumetric flow rate, Q) = (Air velocity, V x Cross sectional area, A)

$$Q = V \times A$$



รูปที่ 37 (รูปผนวก ข.4) ทิศทางการไหลของ Inflow

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวอนามัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 44.



รูปที่ 38 (รูปผนวก ข.5) การวางอุปกรณ์ Dim with hood ครอบช่องหน้าต่างด้านหน้าตู้

3. HEPA filter leak test เป็นการตรวจสอบความสมบูรณ์ของ HEPA filter ของตู้ โดยใช้สารเคมีที่มีลักษณะเป็น Aerosol ได้แก่ PAO ฉีดเข้าไปภายในตู้ชีวนิรภัยด้วยเครื่อง Aerosol generator และใช้เครื่อง Aerosol photometer วัดปริมาณ Aerosol ที่ผ่าน filter ออกมาอีกด้านหนึ่ง ถ้าวัดได้เกินมาตรฐานแสดงว่ามีการรั่วเกิดขึ้น



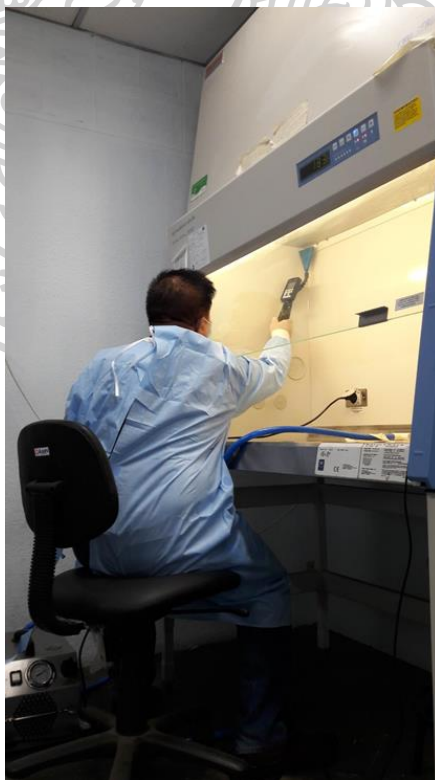
Aerosol photometer



Aerosol generator

รูปที่ 39 (รูปผนวก ข.6) อุปกรณ์ใช้ในการตรวจ HEPA leak test

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 46.



รูปที่ 40 (รูปผนวก ข.7) การใช้อุปกรณ์ Aerosol photometer ในการตรวจหารอยรั่วของแผ่นกรอง

HEPA



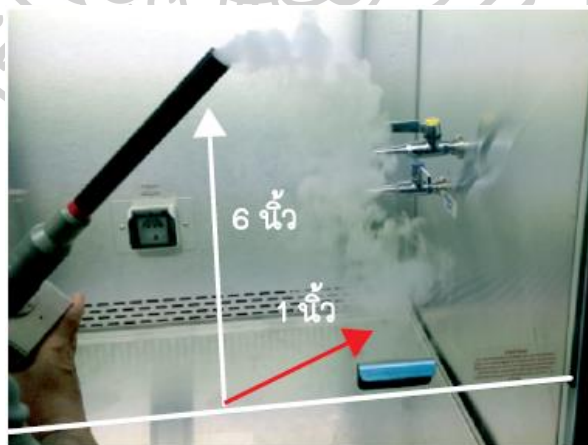
#### 4. Airflow smoke patterns test เป็นการตรวจสอบทิศทางการไหลของลม

- ดูทิศทางการไหลของลมผ่านไปยังพื้นที่ทำงาน ไม่ย้อนกลับ (Downward test) ฟันควัน ในตำแหน่งตรงกลางพื้นที่ทำงาน สูงจากระยะขอบล่างของกระจก 4 นิ้ว จากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของตู้



รูปที่ 41 (รูปผนวก ข.8) Smoke test จุดที่ 1 ดูทิศทางการไหลของลมผ่านไปยังพื้นที่ทำงาน  
ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่าง  
ถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 45.

- ดูว่าการไหลของลมภายในตู้ เล็ดลอดออกไปข้างนอกตู้หรือไม่ (View screen retention test) โดยฟันควันที่สูงจากระยะขอบล่างของกระจก 6 นิ้ว และอยู่หลังกระจก 1 นิ้ว จากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของตู้



รูปที่ 42 (รูปผนวก ข.9) Smoke test จุดที่ 2 ดูการไหลของลมภายในตู้ ว่าไม่เล็ดลอดออกไปข้าง  
นอกตู้

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่าง  
ถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 45.

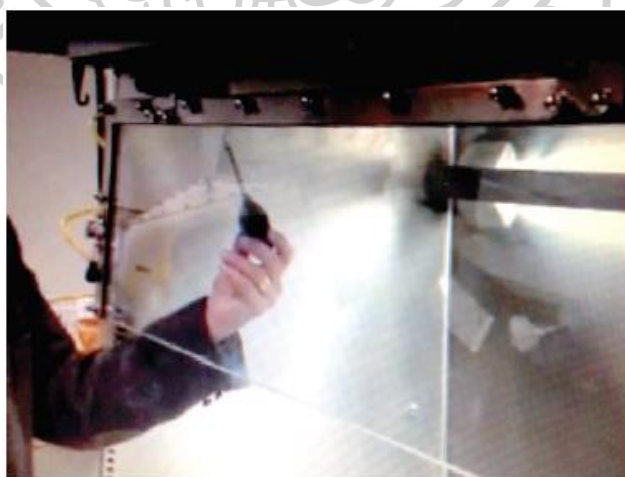
- คู่มือการทดสอบการไหลของลมเป็นลักษณะไหลเข้าตู้ (inflow) ที่ขอบตู้ด้านหน้าเส็ดลอดเข้าไปในพื้นที่ทำงานหรือไม่ (Work opening edge retention test) ฟันควันโดยรอบ ระยะห่างจากช่องเปิดด้านหน้าตู้ 1.5 นิ้ว



รูปผนวก ข.10 Smoke test จุดที่ 3 คู่มือการไหลของลมผ่านเข้าตู้ ว่าไม่เส็ดลอดเข้าไปในพื้นที่ทำงาน

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 45.

- คู่มือการไหลของอากาศที่ตำแหน่งรอยต่อ ย้อนออกไปข้างนอกตู้หรือไม่ (Work opening edge retention test) โดยฟันควันบริเวณขอบทางด้านใน ระยะห่าง 2 นิ้ว โดยรอบกระจกด้านหน้า



รูปผนวก ข.11 Smoke test จุดที่ 4 คู่มือการไหลออกนอกตู้ และบริเวณรอยต่อของตู้

ที่มา : สุขใจ ผลอำไพสถิตย์ และอรอนงค์ รัชตราเซนชัย (2557). คู่มือการใช้ตู้ชีวนิรภัยอย่างถูกต้องปลอดภัย. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ : หน้า 46.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อภิวัฒน์ ลาภอำนวยทรัพย์
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม พ.ศ. 2555 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาจุลชีววิทยาบัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัด นครปฐม
ผลงานตีพิมพ์	Lapamnouyup, A., Ganjanasiripong, P., Kaewpan, A. and Chuen- im, T. (2022). Comparative study of product contamination rates in class II biological safety cabinets with and without ultraviolet light disinfection. Science, Engineering and Health Studies 16 (22030004): doi: <a href="https://doi.org/10.14456/sehs.2022.13">https://doi.org/10.14456/sehs.2022.13</a>

