หลักการตรวจวัดจุลินทรีย์ในอากาศสำหรับงานด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม

Principles of Measurement of Airborne Microorganisms for Environmental Health

ศราวุฒิ แสงคำ
Sarawut Sangkham

สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเฉลิมกาญจนา
Occupational Health and safety Major, Faculty of Public Health, Chalermkanchana University

บทนำ

บรรยากาศเป็นองค์ประกอบหนึ่งของธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช อีกทั้งยังทำหน้าที่ป้องกัน และขจัดสารมลพิษที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศทั้งที่มาจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และกิจกรรมมนุษย์ โดยเฉพาะพื้นที่อุตสาหกรรม และชุมชนเมืองขนาดใหญ่ถือเป็นแหล่งหนึ่งที่สำคัญต่อการแพร่กระจายฝุ่น และก๊าซพิษสู่บรรยากาศ นอกจากนั้นภายในมลพิษดังกล่าวยังมีอนุภาคแขวนลอยชีวภาพเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย และสามารถอยู่ได้ทั้งที่เป็นลักษณะของแข็งและเหลว และจุลินทรีย์หรือละอองชีวภาพจึงเป็นปัญหามลพิษอากาศทางชีววิทยาที่สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ โดยเฉพาะโรคระบบทางเดินหายใจ ติดเชื้อ และภูมิแพ้ เป็นต้น โดยเฉพาะการเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมและกิจกรรมของมนุษย์ในปัจจุบันจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้เกิดความบั่นทอนต่อคุณภาพชีวิต และความเป็นอยู่ทั้งภายใน และนอกอาคารได้ เพราะฉะนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรให้ความสำคัญในการเฝ้าระวังละอองชีวภาพแขวนลอยในอากาศเพื่อให้ทราบความเข้มข้นที่ถูกต้องชัดเจน เพื่อนำไปสู่การศึกษาถึงความสัมพันธ์กับอาการเจ็บป่วยของประชาชน

การศึกษาจุลินทรีย์ในอากาศจำเป็นต้องมีเครื่องมือการเก็บตัวอย่างอากาศที่ได้มาตรฐานและเป็นสากลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือสูงสำหรับนำมาตรวจวัดชนิดและความเข้มข้นเชื้อราที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร ซึ่งวิธีการตรวจวัดจุลินทรีย์ในอากาศมีข้อดี-ข้อเสีย แตกต่างกัน ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่าข้อมูลดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้สนใจหรือต้องการศึกษาในงานวิจัยด้านจุลินทรีย์ในอากาศ

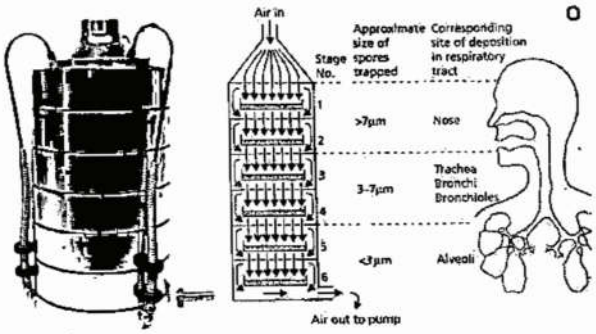
บทความนี้เป็นการรวบรวมความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือและหลักการตรวจวัดจุลินทรีย์ในอากาศ รวมทั้งข้อดีและข้อเสียจากหนังสือ เอกสาร วารสารวิจัย เว็บไซต์ และนำเสนอข้อมูลวิธีการตรวจวัดที่เป็นมาตรฐานสากลและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศไว้ ดังนี้

1.เทคนิค Active impaction onto agar ประกอบด้วย 2 เครื่องมือ คือ

1.1 การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศ แบบ Andersen sampler

การเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศแบบ Impaction อาศัยหลักการดูดอากาศผ่านลงไปบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งโดยตรง ซึ่งจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในอากาศจะตกลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็ง โดยอุปกรณ์ที่ใช้แบ่งเป็นแบบชั้นเดียวที่ไม่แยกขนาดอนุภาค (Single stage sieve sampler) และแบบหลายชั้นที่สามารถแยกขนาดของอนุภาคได้ (Stacked sieves sampler) จะมีลักษณะเป็นชั้น 6 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีรูพรุนขนาดแตกต่างกัน และเรียงขนาดของรูพรุนในแต่ละชั้นจากขนาดใหญ่ในชั้นแรก คือ 1.81 มิลลิเมตร ไปจนถึงขนาดเล็กในชั้นที่ 6 คือ 0.25 มิลลิเมตร โดยเครื่องมือถูกออกแบบอัตราการดูดอากาศไว้ที่ 28.3 ลิตรต่อนาที โดยเครื่องมือชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Andersen ตั้งแต่ในปี ค.ศ. 1950s จึงนิยมเรียกว่า “Andersen six-stages impactor” หลักการเก็บตัวอย่างอากาศจะถูกดูดเข้า Sampling port ผ่านชั้นขนาดต่างๆ ที่วางจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งในแต่ละชั้นโดยอนุภาคจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในอากาศจะถูกแยกขนาดตามขนาดของรูพรุนในแต่ละชั้น จึงสามารถนำมาใช้ในการศึกษาจุลินทรีย์ในอากาศตาม

ขนาดที่ต้องการได้ (เบญจภรณ์ ประภักดี, 2550 ; ศราวุฒิ แสง คำ, 2557)



ภาพที่ 1 เครื่องเก็บละอองชีวภาพแขวนลอย "Andersen six-stages impactor"
(Jim, 2000; ศราวุฒิ และพรพรรณ, 2557)

ข้อดี สามารถเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งได้โดยตรง ไม่ล่าช้าระหว่างการเก็บตัวอย่าง และนำไปบ่มเชื้อได้ทันที สามารถบอกถึงการตกสะสมของอนุภาคในระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ได้ ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และใช้เป็นวิธีการตรวจวัดมาตรฐานทางละอองชีวภาพแขวนลอยในอากาศ เครื่องมือมีความคงทน แข็งแรง เหมาะสำหรับใช้งานตรวจวัดภาคสนามได้ สะดวก รวดเร็ว และทำความสะอาดได้ง่าย

ข้อเสีย การตรวจวัดจุลินทรีย์หรือเชื้อราที่มีเจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละชนิดอาจมีการเจริญซ้อนทับกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดการนับเป็นโคโลนีที่ผิดได้ รวมถึงอัตราการดูดอากาศอาจส่งผลให้จุลินทรีย์บางชนิดตายไป และเกิดการสูญเสียน้ำระหว่าเก็บตัวอย่าง ซึ่ง Xu และคณะ (2013) แนะนำให้แก้ไขโดยใช้ Mineral oil layer ประมาณ 100 μL เทลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อก่อนนำไปเก็บจุลินทรีย์ หรืออนุภาคแขวนลอยชีวภาพ และข้อเสียอีกอย่างคือเวลาในการเก็บตัวอย่างมีจำกัดเพียง 30 นาที หากต้องการเก็บตัวอย่างเป็นเวลานานต้องเปลี่ยนจานเพาะเชื้อเป็นชุดที่สองและในบริเวณสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนจุลินทรีย์สูง ประมาณ 10^7– 10^{10} CFU/m^3 อาจต้องใช้ตัวกรองอากาศร่วมด้วยและอาจต้องเก็บตัวอย่างเพียงไม่กี่วินาที เพราะเมื่อบ่มเชื้อแล้วเสร็จจึงจะสามารถนับโคโลนีได้ชัดเจนและต้องไม่เกิด 300 โคโลนีต่อเพลท ซึ่งเทคนิคนี้นิยมใช้สำหรับตรวจวัด และเฝ้าระวังจุลินทรีย์ก่อโรคในอากาศทั้งภายในและภายนอกอาคาร อย่างแพร่หลายในยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย สำหรับประเทศไทยยังเข้าถึงเครื่องมือชนิดนี้ไม่มากนัก

ตารางที่ 1 แสดงค่า Cutoff diameter ของเครื่องแอนเดอร์เซนอิมแพคเตอร์ ชนิด 6 ชั้น

ชั้นที่	ช่วงขนาดอนุภาคที่กักเก็บได้ (μm)	Cutoff size, Dp50 (μm)
1	>7	7.1
2	4.7-7.0	4.7
3	3.3-4.7	3.3
4	2.1-3.3	2.1
5	1.1-2.1	1.1
6	0.65-1.1	0.65

ที่มา: Pastuszka, Iwasiewicz, & Bragoszewska, (2013)

1.2 การเก็บตัวอย่างเชื้อราหรือจุลินทรีย์ในอากาศแบบ Slit sampler

เป็นเครื่องมือชนิดแรกที่ใช้เก็บจุลินทรีย์ในอากาศ โดยอาศัยปริมาตรอากาศให้เคลื่อนที่ผ่าน Narrow slit แต่ละ slit อย่างรวดเร็ว ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง โดย Slit หรือจานเพาะเชื้อจะหมุนด้วยอัตราการดูดอากาศ 30 ลิตรต่อนาที (สำหรับ 1 slit) และ 700 ลิตรต่อนาที (สำหรับ 4 slit)

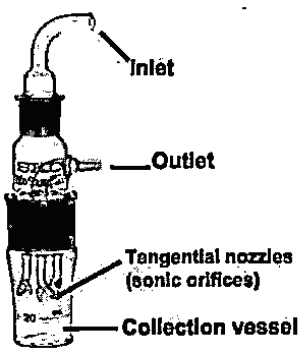
ข้อดี สะดวก รวดเร็ว ใช้ง่าย สามารถเก็บจุลินทรีย์หรือเชื้อราลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งได้โดยตรง ไม่ล่าช้าระหว่างการเก็บตัวอย่างไปบ่มเชื้อทำให้สูญเสียจุลินทรีย์ที่มีชีวิตน้อยมาก

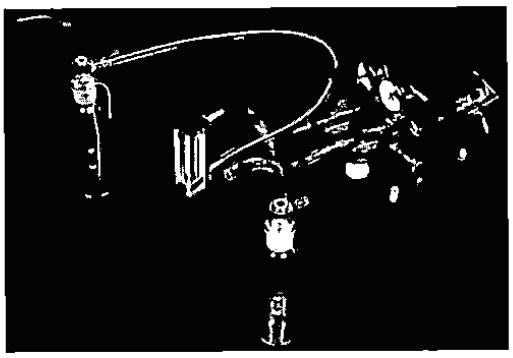
ข้อเสีย จุลินทรีย์และเชื้อราแขวนลอยในอากาศที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งเฉพาะไม่สามารถบอกถึงการกระจายขนาดขนาดอนุภาคได้เหมือนกับเครื่อง Andersen six-stages impactor และมีโอกาสเกิดการสูญเสียความชื้นถ้าเก็บตัวอย่างมากว่า 1 ชั่วโมง

2. การเก็บจุลินทรีย์ในอากาศแบบลงในของเหลว (Impingement into liquid) วิธีนี้อาศัยหลักการดูดอากาศที่คาดว่ามีจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ลงในของเหลว (Buffer) หรืออาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (Broth) มักนิยมเรียกอุปกรณ์นี้อย่างแพร่หลายว่า "Liquid impinger" ซึ่งสามารถดูดอากาศด้วยอัตราไม่เกิน 12.5 ลิตรต่อนาที ลงไปในสารละลายหรืออาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่มีปริมาตร ประมาณ 20 มิลลิลิตร และใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง ประมาณ 20 นาที โดยอนุภาคแขวนลอยในอากาศจะถูกกักเก็บในสารละลาย จากนั้นนำสารละลายในขวดที่มีเชื้อจุลินทรีย์นำไปเพาะเลี้ยงลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งแล้วนำไปบ่มเพื่อนับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ที่เจริญในอาหารเลี้ยงเชื้อ

ข้อดี ไม่เกิดปัญหาในการเก็บตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากๆ เนื่องจากเก็บตัวอย่างลงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว เชื้อจุลินทรีย์ที่เก็บได้มีโอกาสรอดชีวิตได้ดีกว่าการเก็บตัวอย่างแบบลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งโดยตรง วิธีนี้ไม่มีข้อจำกัดต่อการนับจำนวนจุลินทรีย์ เนื่องจากจะทำการคำนวณแบบ Serial dilution ทำให้ช่วงความเข้มข้นที่คำนวณกลับต่อปริมาตรได้ และเป็นเทคนิคที่ใช้อย่างแพร่หลาย

ข้อเสีย ลักษณะของเครื่องมือชนิดนี้ทำจากแก้วอาจทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย ในกรณีที่มีอัตราการดูดอากาศสูงอาจทำให้เซลล์จุลินทรีย์แตกหัก (Fragment) และสูญเสียจุลินทรีย์ที่มีชีวิตได้ ในกรณีที่สภาพอากาศที่อุ่นหรือร้อนจะทำให้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเกิดการระเหยได้ง่าย ดังนั้น เครื่องมือชนิดนี้อาจเหมาะสำหรับเก็บจุลินทรีย์ในอากาศในฤดูหนาว ห้องเย็นหรือห้องแช่แข็ง เป็นต้น





ภาพที่ 2 ตัวอย่างอุปกรณ์ Liquid impinger สำหรับเก็บตัวอย่างละอองชีวภาพแขวนลอยที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมงลงในสารละลายหรืออาหารเลี้ยงเชื้อเหลว (U.S. Department of Health and Human Services, 2005; SKC, 2012)

3. การเก็บตัวอย่างเชื้อราและจุลินทรีย์ในอากาศด้วยวิธีการกรอง (Filtration) วิธีการเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศชนิดนี้นิยมใช้สำหรับการเก็บตัวอย่างสปอร์ของเชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดผ่านลงบนเยื่อกรอง (Membrane filter) โดยการนำแผ่นเยื่อกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 หรือ 47 มิลลิเมตร ใส่ลงในตลับพลาสติก หรือ Personal filter sampler ซึ่งอัตราการดูดอากาศขึ้นอยู่กับวัสดุ และขนาดที่ใช้กรองโดยทั่วไปการดูดอากาศจะผ่านเยื่อกรองด้วยอัตราเร็ว 1-4 ลิตรต่อนาที สำหรับเก็บตัวอย่างกับตัวบุคคล (Personal sampling) แต่ถ้าใช้เก็บตัวอย่างแบบตั้งพื้นจะใช้แบตตารี่เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสำหรับดูดอากาศด้วยอัตรา 100 ลิตรต่อนาที โดยอากาศที่มีเชื้อราปะปนอยู่จะตกอยู่บนแผ่นเยื่อกรอง จากนั้นนำไปศึกษาเชิงปริมาณ โดยนำเยื่อกรองมาตรวจนับจำนวนสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบใช้แสงและฟูออเรสเซนส์หรือนำแผ่นเยื่อกรองมาล้างเอาจุลินทรีย์ที่ติดบนแผ่นเยื่อกรองออกด้วยสารละลายบัฟเฟอร์

และนำไปเพาะเลี้ยงลงในอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งแล้วนำไปบ่มเพาะเชื้อ และนับจำนวนโคโลนี ปัจจุบันเทคนิคนี้ได้รับการยอมรับอย่างมากสำหรับเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบผนังเซลล์หรือสารพิษจากจุลินทรีย์ เช่น Endotoxin, ipopolysaccharide และ glucans (ng/m-3) เป็นต้น

ข้อดี ใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากแบตตารี่ขนาดเล็กไม่จำเป็นต้องใช้กระแสฟ้าหลัก เครื่องมือนี้สามารถพกพาได้ อีกทั้งยังเหมาะสำหรับใช้ในการศึกษาภาคสนามได้อย่างสะดวกและง่าย มีประสิทธิภาพในการตรวจนับจำนวนเชื้อราและจุลินทรีย์ที่มีชีวิตทั้งหมดและศึกษาขนาดรูปร่างและขนาดอนุภาคได้

ข้อเสีย การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีนี้จะต้องแยกขนาดของอนุภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์เท่านั้น โดยการเก็บตัวอย่างลงบนพื้นผิวกระดาษกรองต้องใช้ช่วงเวลาที่กว้างอาจเป็นสาเหตุทำให้เชื้อราและจุลินทรีย์ที่มีชีวิตเกิดการสูญเสียน้ำ โดยเฉพาะ Vegetative cells และอัตราดูดอากาศที่สูงยังสามารถเป็นอันตรายต่อเซลล์เมื่อตกลงบนกระดาษกรองได้

4. การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศด้วยวิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifugation) วิธีการนี้อาศัยหลักการดูดอากาศให้หมุนวนหรือหมุนเหวี่ยงในขวดรูปกรวย เพื่อช่วยเพิ่มแรงดึงดูดให้อนุภาคเชื้อจุลินทรีย์แขวนลอยในอากาศตกลงได้เร็วขึ้น ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้เรียกว่า ไซโคลน (Cyclone) เป็นวิธีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคของฝุ่นละอองในอากาศได้อีกด้วย

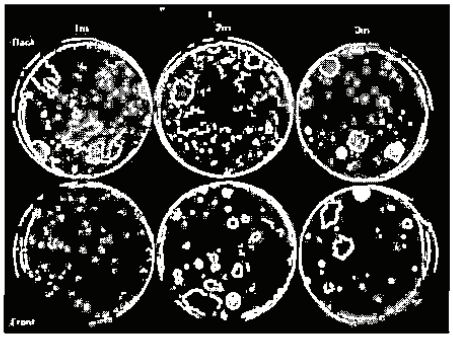
ข้อดี ไซโคลนกับละอองเปียกจากสเปรย์จะเพิ่มความชุ่มชื้นระหว่างเก็บตัวอย่างช่วยทำให้เชื้อจุลินทรีย์ยังคงมีชีวิตอยู่ได้เป็นเวลานาน และสามารถเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่องได้ โดยจะสามารถเก็บอนุภาคทุกขนาด และสามารถระบุถึงปริมาณความเข้มข้นได้

ข้อเสีย ลักษณะของเครื่องมือนี้ทำมากจากแก้วอาจทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย และเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียแกรมลบที่จะตายไประหว่างเก็บตัวอย่าง ประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ (Environment agency, 2004) ประสิทธิภาพของเครื่องมือชนิดนี้จะมีความผันแปรไปตามระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างลงในของเหลวซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเกิดการระเหยเกิดการสูญเสียเป็นสาเหตุให้ของเหลวจะไหลหมุนวนและล้นออกบริเวณไซโคลนหากต้องการลดปัญหาดังกล่าวควรเก็บตัวอย่างเฉพาะที่ต้องการศึกษาลงในของเหลวเท่านั้น

5. การเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศด้วยแรงดึงดูดของโลก (Open plate) วิธีการเก็บตัวอย่างเชื้อราและจุลินทรีย์จากอากาศชนิดนี้ อาศัยหลักแรงดึงดูดของโลก (Gravitation) ด้วยการเปิดฝาจานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งให้มีการสัมผัสกับอากาศในช่วงระยะเวลาหนึ่งหรือตามระยะเวลาที่ผู้ต้องการศึกษากำหนดในการเก็บตัวอย่าง โดยทั่วไปจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในอากาศจะตกลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแข็งที่เหมาะสมต่อกลุ่มจุลินทรีย์ที่ต้องการศึกษาวิธีนี้มีลักษณะคล้ายกับวิธี Impaction เพียงแต่ไม่มีเครื่องปั๊มอากาศ ซึ่งจาการศึกษาของ กฤษณียา ศังขจันทรานนท์ (2548) พบว่า 8พบว่า การศึกษาจุลินทรีย์ในอากาศด้วยวิธี Open plate ต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บในอากาศนานถึง ชั่ว 2โมง และต้องมีจำนวน plate มากพอจึงจะครอบคลุมจำนวน ชนิด และปริมาณที่ใกล้เคียงกับการเก็บตัวอย่างแบบ Andersen Impactor ซึ่งนิยมใช้สำหรับเป็นการศึกษาปริมาณของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อโรคนำร่องในโรงพยาบาล มหาวิทยาลัย โรงเรียน สำนักงาน โรงงาน และบ้านเรือน เป็นต้น

ข้อดี ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีเทคนิคพิเศษ สามารถเตรียมอุปกรณ์สำหรับศึกษาได้ง่าย สะดวก และมีค่าใช้จ่ายในการศึกษาที่ถูก เหมาะสำหรับงานวิจัยที่ต้องการศึกษาเพียงชนิดและลักษณะทางสัณฐานวิทยาทั่วไปของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

ข้อเสีย ไม่สามารถบอกจำนวนจุลินทรีย์ต่อปริมาตรอากาศตัวอย่างที่เก็บได้ (Non quantitative method)

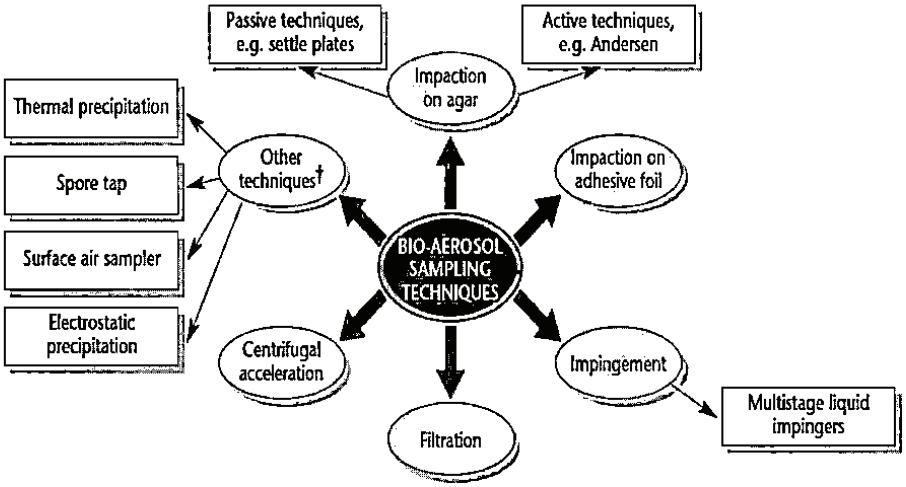


ภาพที่ 3 การเก็บตัวอย่างแบบ Settle plates (Bowling et al., 2009)

ตารางที่ 2 เทคนิคที่เหมาะสมสำหรับเก็บตัวอย่างทางละอองชีวภาพแขวนลอยในอากาศ

วิธีการ (Method)	ตรวจวัด (Measurements)
Impaction onto agar	Viable counts, potential pathogens
Impingement into liquid	Viable counts, potential pathogens
Filtration	Total viable, potential pathogens, cellular wall components
Centrifugal acceleration	Viable counts, potential pathogens

(Environment agency, 2004)



ภาพที่ 3 วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเก็บตัวอย่างละอองชีวภาพในอากาศ (Environment agency, 2004)

สรุป

การศึกษาจุลินทรีย์ในอากาศจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือการเก็บตัวอย่างอากาศที่มาตรฐานสากลเพื่อให้ข้อมูลที่มีความถูกต้อง แม่นยำ น่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ เพื่อนำมาตรวจวัดชนิดและความเข้มข้นเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศ ทั้งนี้สำหรับเครื่องการตรวจวัดจำนวนจุลินทรีย์ในอากาศมีหลากหลายดังกล่าวไว้ข้างต้นมีข้อดี-ข้อเสีย แตกต่างกันออกไป โดยที่การเลือกเครื่องมือนั้นขึ้นอยู่กับผู้ทำการวิจัยว่ามีวัตถุประสงค์ต้องศึกษาอะไรเป็นสำคัญ จากประสบการณ์โดยผู้เขียน และเคยทำการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาเชื้อราในอากาศขอแนะนำให้ใช้เครื่องเก็บจุลินทรีย์หรือเชื้อราในอากาศชนิดมาตรฐาน 6 ชั้น (Andersen six-stages impactor) เนื่องจากสามารถอธิบายความเข้มข้น และขนาดอนุภาค ชนิดของจุลินทรีย์ และยังบ่งชี้ถึงโอกาสที่ละอองชีวภาพจะสะสมและฝังตัวในระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ในส่วนต่างๆ ได้ (Environment Agency, 2004) แต่ก็มีข้อจำกัดในด้านของเวลาคือเครื่องมือชนิดนี้ถ้าพื้นที่ศึกษามีความเข้มข้นจุลินทรีย์หรือละอองชีวภาพสูงควรต้องทำการศึกษาเปรียบเทียบระยะเวลาที่เหมาะสมก่อนเก็บตัวอย่างจริง (Pilot study) เพื่อให้สามารถนับจำนวนโคโลนีได้อย่างถูกต้องตามหลักการทางจุลชีววิทยา หากไม่มีหรือไม่สามารถหาเครื่องมือดังกล่าวได้แนะนำให้ศึกษาด้วยวิธี Open plate ด้วยระยะเวลาในการเก็บในอากาศ ประมาณ 2-3 ชั่วโมง และต้องมีจำนวน plate มากพอจึงจะครอบคลุมทั้งชนิดและปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ใกล้เคียงกับเครื่อง Andersen Impactor จึงจะสามารถทดแทนกันได้ (กฤษณียา ศังขจันทรานนท์, 2548) วิธีนี้จะไม่สามารถคำนวณให้อยู่ในรูปของความเข้มข้นต่อลูกบาศก์เมตรอากาศได้ แต่จะคำนวณให้อยู่ในรูปความเข้มข้นต่อพื้นที่ตารางฟุต (CFU/ft^2) แทน ดังนั้นเหมาะสำหรับการศึกษาจุลินทรีย์ในอากาศภายในอาคารที่ทราบขนาดพื้นที่ห้องแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

ชุลีวัลย์ ธัญญศิรินนท์, พิพัฒน์ ศรีเบญจลักษณ์, & ภารดี ช่วยบำรุง. (2551). **การเปรียบเทียบเครื่องมือเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศระหว่าง Andersen Impactor ชนิด 6 ชั้น และชนิดชั้นเดียว.** (N6) วารสารวิจัย มข., 13 (1), 45-54.

เบญจภรณ์ ประภักดี. (2550). **จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม.** นครปฐม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ศราวุฒิ แสงคำ. (2557). **ความเข้มข้นและขนาดอนุภาคของเชื้อราในอากาศบริเวณสถานที่ฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น.** วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศราวุฒิ แสงคำ & พรพรรณ สกุลคู. (2557). ความเข้มข้นและขนาดอนุภาคของเชื้อราในอากาศบริเวณ สถานที่ฝังกลบมูลฝอยเทศบาลนครขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น. ใน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น 50 ปี มข. กับการอุทิศเพื่อสังคม. **การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 15** (หน้า 1329-1339). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Bowling, F.L., Stickings, D.S., Edwards-Jones, V., Armstrong, D.G., Boulton, A.JM., (2009). **Hydrodebridement of wounds: effectiveness in reducing wound bacterial contamination and potential for air bacterial contamination.** Journal of Foot and Ankle Research, 2, 1-8.

Environment Agency. (2004). **Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities.** Technical Guidance Document (Monitoring) M17. Bristol, UK: University of Luton Bristol.

Jim, D. (2000). The **microbial world : airborne microorganism.** Retrieved September 12, 2014 from http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/microbes/airborne.htm

Pastuszka, J.S., Iwasiewicz, P., & Bragoszewska, E. (2013). **Preliminary testing of a new bioaerosols sampler developments for the measurements of low and medium concentration levels.** Environment Protection Engineering, 39(1), 129-138.

SKC. (2012). **BioSampler For 8-hour Sampling of Bioaerosols into Liquid.** Retrieved February 20, 2015 from http://www.skcinc.com/prod/225-9594.asp.

U.S. Department of Health and Human Services. (2005). **Procedures for the recovery of legionella from the environment.** Atlanta, GA: Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention (CDC).

Xu, Z., Wei, K., Wu, Y., Shen, F., Chen, Q., Li, M., et al. (2013). **Enhancing bioaerosol sampling by Andersen impactors using mineral-oil-spread agar plate.** PLoS ONE, 8(2), e56896.