



การผันแปรของอนุภาคแขวนลอยชีวภาพในบรรยากาศ
ณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

Variation of Ambient Bioaerosol at The King's Royally Initiated
Laem Phak Bia Environmental Research and Developmental
Project, Ban Laem District, Phetchaburi Province

ศิริพร สันติวรพงศ์^{1*} รุติมา รุ่งรัตนอุบล¹ สุรัตน์ บัวเลิศ¹ และ อริยา จินตามพร²

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมายเพื่อศึกษาการผันแปรของอนุภาคแขวนลอยชีวภาพในอากาศ บริเวณพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัด เพชรบุรี โดยศึกษาปัจจัยทางด้านสภาพภูมิอากาศและสภาพสิ่งแวดล้อม เก็บตัวอย่างอากาศ ด้วยเครื่อง Andersen six-stages impactor เป็นเวลา 10 นาที ที่ระดับความสูงจากพื้น 1 3 และ 7 เมตร จากการเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556 พบว่า ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ความสูง 1 เมตร พบความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศสูงที่สุด คือ $1,320.08 \pm 30$ CFU/m³ และพบความเข้มข้นเฉลี่ยเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศต่ำที่สุด ที่ความสูง 7 เมตร คือ 317.23 ± 50 CFU/m³ ซึ่งเป็นอิทธิพลมาจากความสูง ความเร็วลมและรังสีแสงอาทิตย์ในพื้นที่ นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่เป็นเชื้อราที่สำคัญได้แก่ *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp., และเชื้อแบคทีเรีย ขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่มีขนาด 2.1-3.3 μ m โดยเชื้อจุลินทรีย์เหล่านี้เป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปในอากาศ

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

²สาขาวิชาจุลชีววิทยาทางการแพทย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

*Corresponding Author; E-mail: mari33282@hotmail.com

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the variation of ambient bioaerosol at The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Developmental Project, Ban Laem District, Phetchaburi Province. The factors of climate and environmental conditions were focused. The air sample with six-stage viable Andersen cascade impactor for 10 minutes at 1, 3 and 7 meter height from aboveground was collected during December, 2013 January and February, 2014. The results showed that the averaged concentrations of microorganisms significantly different statistically. The highest averaged concentration of microorganisms at 1 meter above ground was $1,320.08 \pm 30$ CFU/m³ and the lowest averaged concentration at 7 meter above ground was 317.23 ± 50 CFU/m³. It was caused by height, wind speed and solar radiation in the area. In addition, the microorganisms found mainly fungi, including *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp., *Cladosporium* spp. and bacteria. The particle sizes of microorganisms were important found in sizes 2.1-3.3 μ m. The microorganisms were commonly found in the air.

คำสำคัญ: ธรรมชาติ ผันแปร อนุภาคแขวนลอยชีวภาพ

Keywords: Natural, Variation, Bioaerosol

บทนำ

อนุภาคแขวนลอยชีวภาพ (Bioaerosols) หมายถึง ละอองหรืออนุภาคของจุลินทรีย์ พืช หรือสัตว์ ที่ลอยอยู่ในอากาศ อนุภาคเหล่านี้เรียกว่า ผุ่นอินทรีย์ อาจประกอบด้วย แบคทีเรีย เชื้อรา (สปอร์และเส้นใยของเชื้อรา) ไวรัส สารพิษจากจุลินทรีย์ ละอองเกสร และเส้นใยพืช (Douwes et al., 2003) ขนาดอนุภาคแขวนลอยชีวภาพที่พบในอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1-100 μ m (Sanchez-Monedero, 2008) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเฉพาะในส่วนของจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ

โดยจุลินทรีย์ (Microorganism) คือ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจึงจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ เราสามารถพบจุลินทรีย์ได้ทุกสภาวะแวดล้อม แม้แต่ในสภาวะแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ไม่ได้ แต่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถ

ปรับตัวอาศัยอยู่ได้ แม้ว่าจุลินทรีย์ในอากาศสามารถพบได้ในเกือบทุกสภาวะแวดล้อมแต่ก็ไม่แสดงอันตรายต่อสุขภาพให้กับบุคคลที่สัมผัส (Giorgio et al., 1996) ซึ่งจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในอากาศไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ๆ เพราะอากาศมีสภาพแห้งและมีสารอาหารปริมาณน้อย ดังนั้น อากาศจึงไม่ใช่ถิ่นอาศัยที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์อากาศเป็นเพียงที่อยู่อาศัยชั่วคราว (Temporary habitat) ของจุลินทรีย์ ดังนั้นจุลินทรีย์จึงถูกพัดพาจากแหล่งอื่น ๆ เช่น แหล่งน้ำ พื้นดิน หรือกิจกรรมที่เกิดขึ้นในบริเวณโดยรอบ ซึ่งสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่พบจะแตกต่างกันตามลักษณะของพื้นที่และกิจกรรมในบริเวณที่เก็บตัวอย่างโดยอากาศเป็นตัวกลางที่สำคัญในการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ไปในสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

จุลินทรีย์มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอื่นไม่โดยตรงก็โดยทางอ้อม ในธรรมชาติจุลินทรีย์ทำหน้าที่

เป็นผู้ย่อยสลาย (Decomposer) ในระบบนิเวศโดย จุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์ออกมาย่อยสลายแร่ธาตุต่างๆ ในส่วนประกอบของสิ่งที่มีชีวิตทั้งซากพืชซากสัตว์ให้เป็นสารโมเลกุลเล็กจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ที่พืชจะนำไปใช้ได้ อีกแหล่งที่พบเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มาจากดิน ซึ่งดินเป็นแหล่งอาศัยของจุลินทรีย์มากมายหลายชนิด ประกอบด้วยแบคทีเรีย รา สาหร่าย โปรโตซัว และไวรัส จุลินทรีย์เหล่านี้จึงมีบทบาทสำคัญในการเกิดความอุดมสมบูรณ์ของดิน เชื้อจุลินทรีย์ในดินที่สำคัญได้แก่ *Pseudomonas* spp., *Rhizobium* spp., *Bacillus* spp., *Clostridium* spp., *Mucor* spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. เป็นต้น

จุลินทรีย์ในอากาศไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ แต่อากาศเป็นตัวกลางในการแพร่กระจายอนุภาคจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งเท่านั้น (วีรานูช, 2550) จุลินทรีย์ในอากาศที่มาจากแหล่งต่าง ๆ กัน จะอยู่ในอากาศได้นานเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหรือสภาวะแวดล้อมทางเคมีและทางกายภาพของบรรยากาศ (เบญจกรณ์, 2551) ในเรื่องของขนาดของอนุภาคหรือฝุ่นละออง สภาพอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด โดยเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีในอุณหภูมิช่วง 35-37 °C (กฤษณียา, 2548) นอกจากนี้ปริมาณฝุ่นจะมีความสัมพันธ์กับแบบแปรผันตามกับจำนวนของจุลินทรีย์ คือ ถ้าปริมาณฝุ่นมากปริมาณแบคทีเรียก็มาก แต่ถ้าปริมาณฝุ่นน้อยปริมาณแบคทีเรียก็จะน้อยตาม (Griffin, 2007)

ผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการวิจัยถึงการผันแปรของจุลินทรีย์แขวนลอยและขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศที่ระดับความสูงแตกต่างกัน ณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งเป็นตัวแทนของสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ โดยศึกษาปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ด้านอุณหภูมิ

ความสูง ช่วงเวลา ความเร็วลม และความชื้นของแสงอาทิตย์ รวมถึงลักษณะของพื้นที่ศึกษา โดยเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องมือเก็บตัวอย่างละอองชีวภาพแขวนลอยในอากาศมาตรฐาน ชนิด 6 ชั้น (Andersen six-stages impactor) ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อชนิดแข็ง Nutrient agar (NA) โดยตรง ซึ่งสามารถอธิบายขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศที่มีโอกาสเข้าถึงระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ (Environment Agency, 2004) ขั้นตอนการศึกษาทั้งหมดจะทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผันแปรของจุลินทรีย์แขวนลอย และขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ รวมถึงชนิดเชื้อจุลินทรีย์ที่พบ โดยความเข้มข้นและสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์แต่ละระดับความสูงแตกต่างกันตามลักษณะของปัจจัยทางธรรมชาติเหล่านี้

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

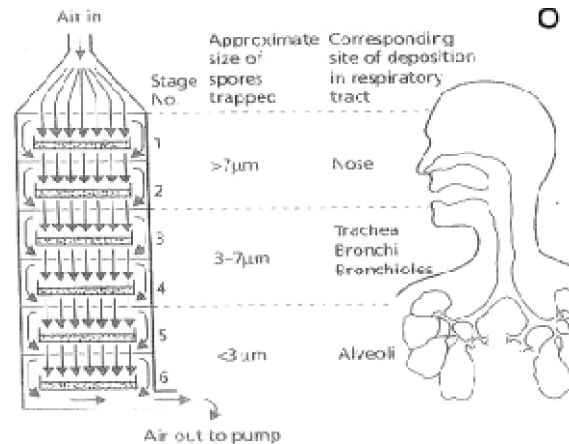
1. เพื่อศึกษาความแปรปรวนของอนุภาคแขวนลอยชีวภาพในอากาศโดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นและขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคแขวนลอยชีวภาพในอากาศกับปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. สถานที่ทำการวิจัยและเก็บตัวอย่าง

การทดลองเก็บตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์จากอากาศ ณ โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี 3 ระดับความสูง โดยดูจากลักษณะของพื้นที่ทำการวิจัย แบ่งได้ 3 ระดับความสูง คือ

- 1) จุดที่ 1 สูงจากพื้นดินประมาณ 1 เมตร
- 2) จุดที่ 2 สูงจากพื้นดินประมาณ 3 เมตร
- 3) จุดที่ 3 สูงจากพื้นดินประมาณ 7 เมตร



รูปที่ 1 แบบจำลองขนาดอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจมนุษย์ (ที่มา: Jim, 2000)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอากาศ

ในการเก็บตัวอย่างครั้งนี้ใช้เครื่อง Andersen six-stages impactor โดยมีช่วงขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 6 ขนาด คือ >7, 4.7-7.0, 3.3-4.7, 2.1-3.3, 1.1-2.1 และ 0.65-1.1 μm และเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความชื้น (Hygrometer) และความเร็วลมในอากาศ

3. การวางแผนการเก็บตัวอย่างวิธีการเก็บตัวอย่าง เชื้อจุลินทรีย์ในอากาศบริเวณ โครงการศึกษาวิจัย และพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

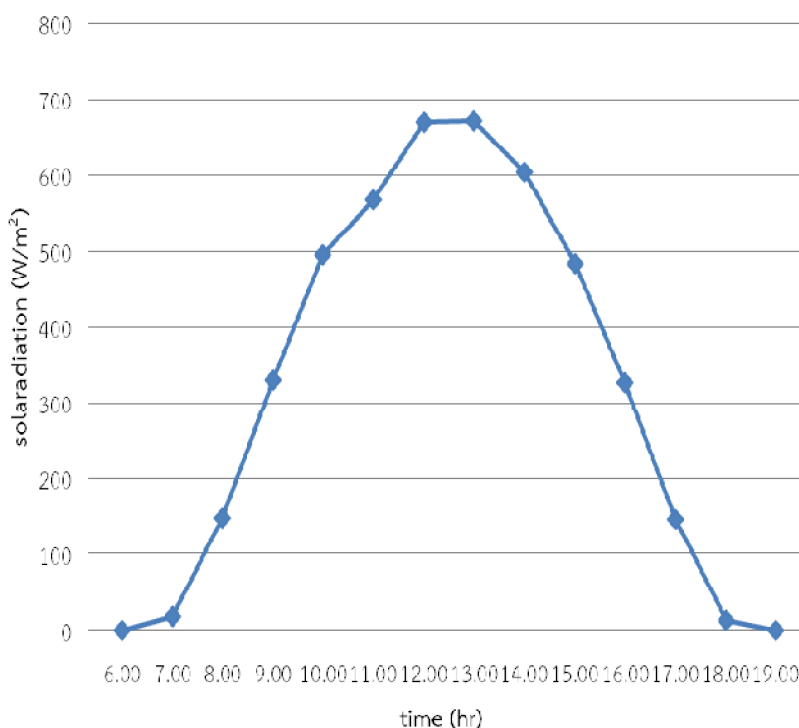
3.1 การวางแผนการเก็บตัวอย่าง

การเลือกช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างดูจาก ปัจจัยของรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์มีผล ต่อความอยู่รอดของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ โดย สามารถตรวจวัดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์สุทธิได้ตั้งแต่ เวลา 06.00 น. มีค่าเท่ากับ 20 W/m² และมีค่าเพิ่มขึ้น สูงสุดในเวลา 13.00 น. มีค่าเท่ากับ 672 W/m² สอดคล้องกับการศึกษาของ Pannop and Surat (2013) ที่ทำการตรวจวัดพลังงานรังสีแสงอาทิตย์ บริเวณโครงการแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจาก พระราชดำรินในช่วงฤดูร้อนซึ่งพบว่าพลังงานรังสี แสงอาทิตย์สุทธิมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวันเช่นกัน ดัง

แสดงในรูปที่ 2 ช่วงเวลาที่เหมาะสมจึงเป็นช่วง 8.00 13.00 และ 17.00 น. ตามการขึ้นลงของรังสีดวง อาทิตย์

3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างบริเวณเสาตรวจวัดคุณภาพ อากาศสถานที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนา สิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัด เพชรบุรี เก็บตัวอย่างระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 โดยดำเนินการ เก็บตัวอย่างตามระดับความสูง 3 จุด คือ ที่ระดับความ สูง 1 3 และ 7 เมตร โดยเก็บตัวอย่างพร้อมกันทุก ระดับความสูง ครอบคลุมพื้นที่ 1 เมตร ในแนวราบ ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 08:00-17:00 น. ด้วยเครื่อง Andersen six-stages impactor ลงบน อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar (NA) ด้วยปริมาตรดูด อากาศ 28.3 L/min เป็นเวลา 10 นาที บันทึกวัน เวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมระหว่างการ เก็บตัวอย่าง แล้วนำกลับมาบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24-72 ชั่วโมง ณ ห้องปฏิบัติการ คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย นับ จำนวนโคโลนีที่พบบนจานอาหารเพาะเชื้อจุลินทรีย์



รูปที่ 2 พลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดพื้นที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี เฉลี่ย 3 เดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์

3.3 การคำนวณปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ใน

อากาศ

จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่นับได้นำไปคำนวณกับปริมาตรอากาศที่ตรวจวัด หน่วย โคโลนีต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ (CFU/ m³) (Fang et al., 2007) ดังแสดงสมการ ต่อไปนี้

$$C \text{ (CFU/m}^3\text{)} = \frac{(P1+P2+P3+P4+P5+P6) \times 1,000}{t \text{ (min)} \times F \text{ (L/min)}}$$

โดย C คือ ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศในหน่วยโคโลนีต่อลูกบาศก์เมตรอากาศ

P1, P2, P3, P4, P5, และ P6 คือ จำนวนโคโลนีในขั้นที่ 1-6

t คือ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (นาที)

F คือ อัตราการดูดอากาศช่วงเก็บ

3.4 การจำแนกสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์

จากการศึกษาลักษณะสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์นั้นทำการจัดกลุ่มโดยเชื้อราสังเกตลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphological Characteristics) ลักษณะรูปร่างที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามวิธีของ Raper and Funnell (1965) และจากเอกสารของ David et al. (2007) ส่วนเชื้อแบคทีเรียสังเกตลักษณะโคโลนี ลักษณะรูปร่างที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ ตามเอกสารของนงลักษณ์และปรีชา (2552)

ผลการวิจัย

1. ปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศจากบริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

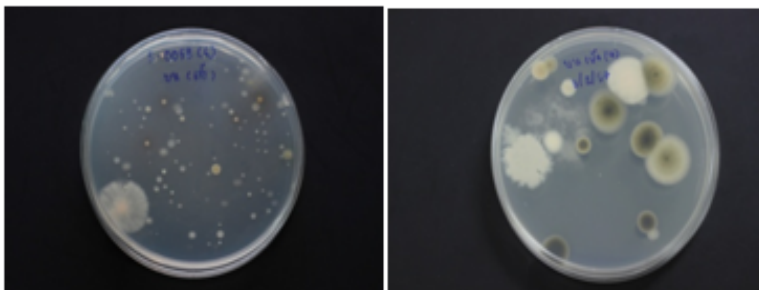
จากการเก็บตัวอย่างปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ในช่วงเวลา

8.00 - 17.00 น. ที่ 3 ระดับความสูง 1 3 และ 7 เมตร พบว่า ในช่วงเวลา 8.00 น. ที่ความสูง 1 เมตร มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ (Geometric mean: GM) สูงกว่าในช่วงเวลาและระดับความสูงอื่น $1,332.08 \pm 29.52 \text{ CFU/m}^3$ และพบปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุดในช่วงเวลา 13.00 น. ที่ความสูง 7 เมตร คือ $317.24 \pm 4.76 \text{ CFU/m}^3$ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ Colony forming units per cubic meter (CFU/m^3) ในแต่ละระดับความสูง

เวลา	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์ CFU/m^3			
		GM	GSD	Minimum	maximum
8.00 น.	1 เมตร	1332.08	29.52	1298	1349.82
	3 เมตร	1044.76	17.82	1024.73	1058.89
	7 เมตร	474.13	14.17	458.19	485.28
13.00 น.	1 เมตร	830.23	6.15	823.32	835.1
	3 เมตร	465.65	1.8	464.08	467.61
	7 เมตร	317.24	4.76	312.13	321.55
17.00 น.	1 เมตร	937.57	3.12	934.04	939.93
	3 เมตร	893.21	8.68	883.39	899.88
	7 เมตร	420.1	2.72	416.96	421.67
มาตรฐานคุณภาพอากาศนอกอาคาร				500 ^{a,c}	
				1000 ^b	

หมายเหตุ: GM (Geometric mean); GSD (Geometric standard deviation); ^a American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1989); ^b National Institute for Occupational safety and health (1987); ^c World Health Organization (2009)



รูปที่ 3 ตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์จากอากาศ

ตารางที่ 2 ปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์กับสภาพภูมิอากาศ Colony forming units per cubic meter (CFU/m³) ในแต่ละระดับความสูงเฉลี่ยในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

เวลา	จุดเก็บตัวอย่าง	ปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ CFU/ m ³				WS	RH	Temp	Net radiation
		GM	GSD	Minimum	Maximum	mps	%	°C	W/m ²
8.00 น.	1 เมตร	1,332.08	29.52	1,298.00	1,349.82	0	74.7	21.7	173.9
	3 เมตร	1044.76	17.82	1024.73	1058.89	1.6	74	21.9	
	7 เมตร	474.13	14.17	458.19	485.28	1.9	75	21.3	
13.00 น.	1 เมตร	830.23	6.15	823.32	835.10	0	64	32.3	671.3
	3 เมตร	465.65	1.80	464.08	467.61	1	64	29.3	
	7 เมตร	317.24	4.76	312.13	321.55	1.6	66.7	28.2	
17.00 น.	1 เมตร	937.57	3.12	934.04	939.93	0	66.7	29.8	180.2
	3 เมตร	893.21	8.68	883.39	899.88	1.9	67	27	
	7 เมตร	420.10	2.72	416.96	421.67	2.6	66.7	26.6	

หมายเหตุ: GM (Geometric mean), GSD (Geometric standard deviation); WS (Wind speed:หน่วย:เมตรต่อวินาที mps); RH (Relative Humidity: หน่วย:%); Temp (Temperature หน่วย:°C); Net radiation (หน่วย: W/m²)

2. ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมกับปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

การศึกษาจุลินทรีย์ในอากาศภายนอกอาคาร (Outdoor air) นั้นการเคลื่อนที่หรือการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ในอากาศภายนอกอาคารเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับขนาดของพื้นที่ การพัดพาของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเข้มของแสง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการรอดชีวิตและจำนวนของจุลินทรีย์ในอากาศภายนอกอาคารดังแสดงในตารางที่ 2

ซึ่งปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่สำคัญ คือ ระดับความสูงของพื้นที่เก็บตัวอย่าง และความเร็วลม ดังนี้

2.1 ความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์ตามระดับความสูง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับระดับความสูงของการเก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา คือ 8.00 13.00 และ 17.00 น. พบว่า มีความสัมพันธ์กัน เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นปริมาณความเข้มข้นของ

เชื้อจุลินทรีย์ที่พบจะมีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 ช่วงเวลา โดยที่ระดับความสูง 1 เมตร ในเวลา 8.00 น. พบความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์สูงสุด คือ 1,332.08±29.52 CFU/m³ และพบเชื้อจุลินทรีย์น้อยที่สุดที่ระดับความสูง 7 เมตร ในเวลา 13.00 น. คือ 317.24±17.28 CFU/m³ ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ที่เวลา 8.00 น. มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 1 รองลงมา คือ 17.00 และ 13.00 น. มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) มีค่าเท่ากับ 0.96 และ 0.83 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4

2.2 ความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับความเร็วลม

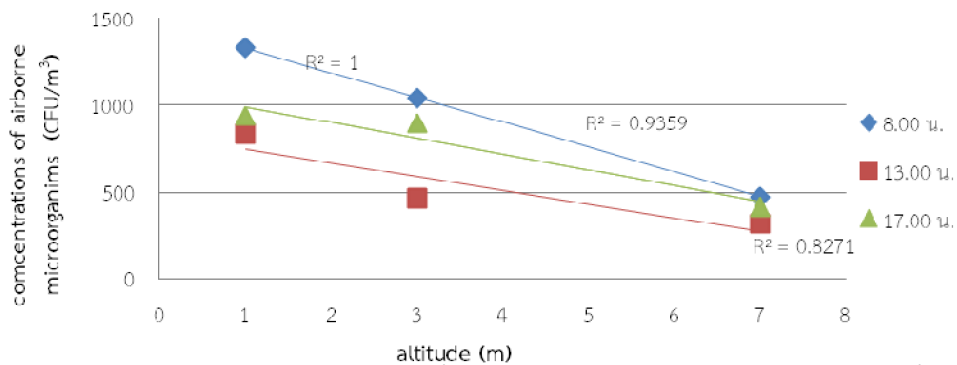
จากการศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลา คือ 8.00 13.00 และ 17.00 น. พบว่ามีความสัมพันธ์กัน เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

พบว่า ที่เวลา 17.00 น. มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.99 รองลงมา คือ 8.00 และ 13.00 น. มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.83 และ 0.71 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5

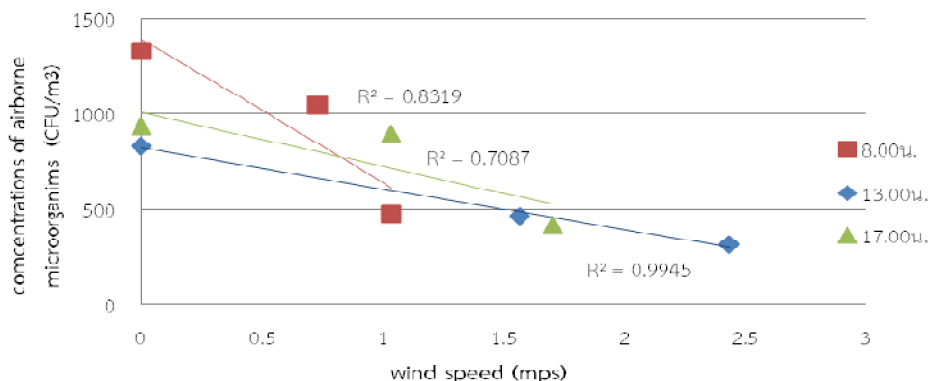
2.3 ความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับรังสีแสงอาทิตย์

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลาคือ 8.00 13.00 และ 17.00 น. ที่ระดับความสูง 10 เมตร พบว่า เมื่อความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเมื่อพิจารณา

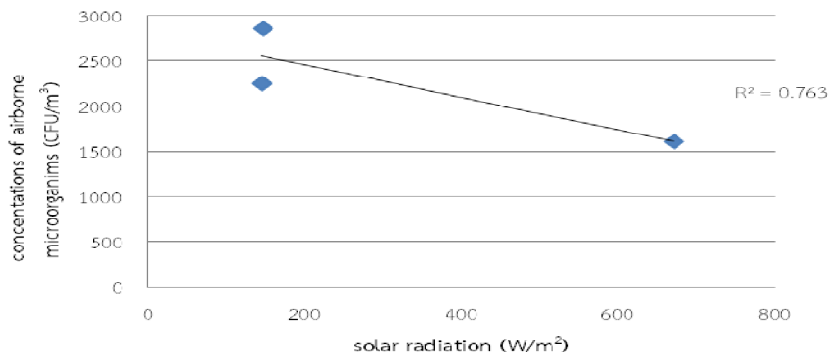
ความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.76 โดยในเวลา 8.00 น. พบความเข้มข้นของรังสีแสงอาทิตย์น้อยที่สุดวัดได้ 173.9 W/m^2 พบว่ามีความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์สูงสุด คือ $2,325.09 \text{ CFU/m}^3$ ช่วงเวลา 13.00 น. วัดค่าความเข้มข้นของรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด 671.34 W/m^2 กลับพบว่าค่าความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ต่ำที่สุด คือ $1,717.01 \text{ CFU/m}^3$ ที่เวลา 17.00 น. พบความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ 180.2 W/m^2 ความเข้มข้นเชื้อจุลินทรีย์ $2,073.81 \text{ CFU/m}^3$



รูปที่ 4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/m^3) กับระดับความสูง บริเวณพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 5 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/m^3) กับความเร็วลม

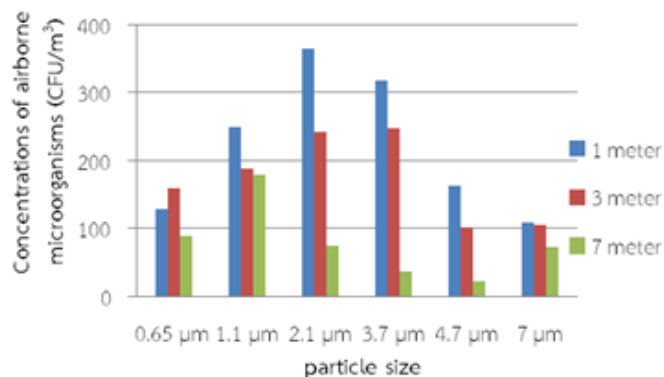


รูปที่ 6 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ระหว่างปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/m³) กับความเร็วลม

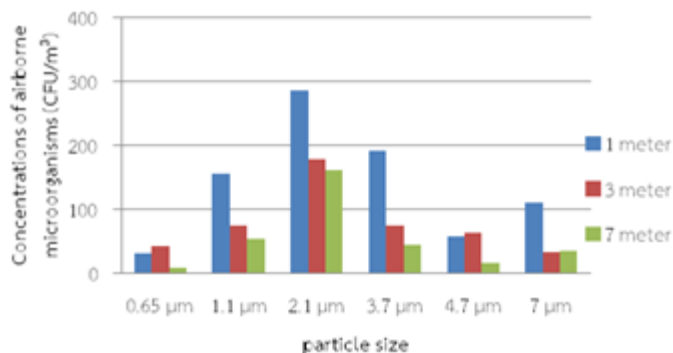
3. ขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง Andersen six-stages impactor สามารถแยกขนาดของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบได้ โดยมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน 6 ขนาด คือ ชั้นที่ 1 (> 7 μm) ชั้นที่ 2 (4.7-7.0 μm)

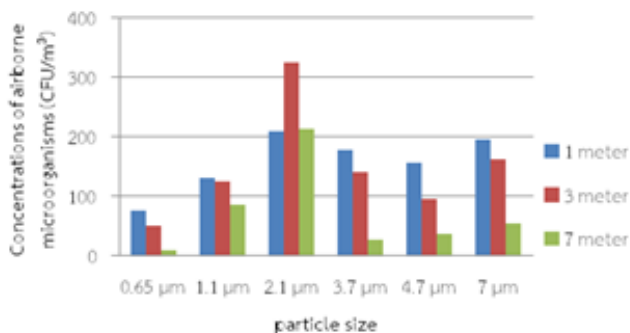
ชั้นที่ 3 (3.3-4.7 μm) ชั้นที่ 4 (2.1-3.3 μm) ชั้นที่ 5 (1.1-2.1 μm) และชั้นที่ 6 (0.65-1.1 μm) ที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ที่ความสูง 1 3 และ 7 เมตร ตามช่วงเวลา พบว่าขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดคืออนุภาคขนาด 2.1-3.3 μm



รูปที่ 7 ขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศเวลา 8.00 น.



รูปที่ 8 ขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศเวลา 13.00 น.



รูปที่ 9 ขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศช่วง 17.00 น.

ตารางที่ 3 ร้อยละการสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

เวลา	จุดเก็บตัวอย่าง	ขนาดอนุภาค (μm หน่วย:μm)					
		>7 μm		3-7 μm		<3 μm	
		CFU/m ³	ร้อยละการสะสม	CFU/m ³	ร้อยละการสะสม	CFU/m ³	ร้อยละการสะสม
8.00 น.	1 เมตร	273.18	20.51	682.37	51.23	389.87	29.27
	3 เมตร	207.30	19.84	489.60	46.86	349.04	33.41
	7 เมตร	95.41	20.12	111.11	23.43	267.61	56.44
13.00 น.	1 เมตร	167.26	20.15	476.48	57.39	186.49	58.79
	3 เมตร	96.58	20.74	252.45	54.22	116.61	25.04
	7 เมตร	49.47	15.59	205.34	64.73	62.43	19.68
17.00 น.	1 เมตร	348.25	37.14	386.34	41.21	202.98	21.65
	3 เมตร	255.59	28.62	465.25	52.09	173.14	19.38
	7 เมตร	89.12	21.21	237.93	56.64	93.05	22.15

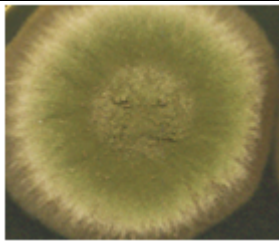
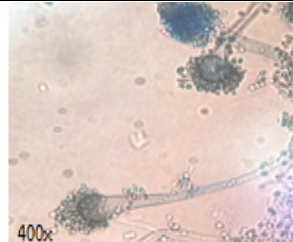
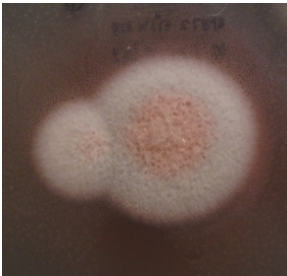
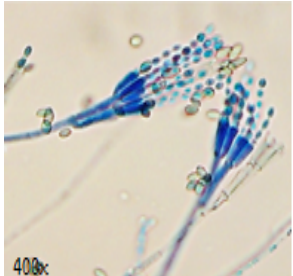
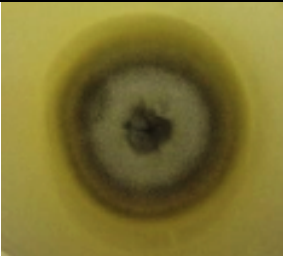
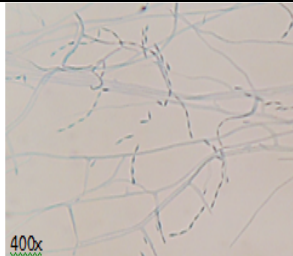
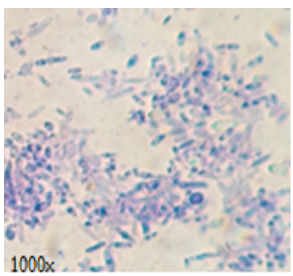
เมื่อศึกษาขนาดของอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงขนาด คือ >7, 3-7 และ <3 μm ตามแบบจำลองขนาดอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจมนุษย์ (รูปที่1) พบว่าขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 3-7 μm ซึ่งสามารถเข้าสู่ร่างกายส่วนของขั้วปอดได้ เมื่อแยกเป็นขนาดของอนุภาคเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในอากาศ พบว่าขนาดอนุภาคของเชื้อราส่วนใหญ่ที่พบ

อยู่ในช่วงขนาด 2.1-3.3 μm ส่วนเชื้อแบคทีเรียพบว่ามีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

4. สายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในพื้นที่

จากการศึกษาลักษณะสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์นั้น พบว่าสายพันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในพื้นที่เป็นกลุ่มของเชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย โดยมีลักษณะดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบ

เชื้อจุลินทรีย์ที่พบ	ลักษณะ	มหสังฐาน	รูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์
<i>Aspergillus</i> spp.	<u>มหสังฐาน</u> โคลนีสีเขียวเข้มหรือเขียวเหลืองเมื่อมีอายุประมาณ 3 วัน <u>จุลสังฐาน</u> เส้นสายราไม่มีสี แบบมีผนังกัน(hyaline septate hyphae) โคนิเดียกลมเรียงต่อกัน		
<i>Penicillium</i> spp.	<u>มหสังฐาน</u> โคลนีสีเขียว <u>จุลสังฐาน</u> เส้นสายราไม่มีสี แบบมีผนังกัน (hyaline septate hyphae) โคนิไดโอฟอร์ส่วนปลายแตกกิ่งก้านเป็นเส้นเดี่ยว และโคนิเดียรูปร่างรีต่อกันบริเวณปลายเรียงเดี่ยวคล้ายสายโซ่		
<i>Cladosporium</i> spp.	<u>มหสังฐาน</u> โคลนีสีเขียวเข้ม <u>จุลสังฐาน</u> เส้นสายราสีเข้ม มีผนังกัน (dermatitaceous fungi) โคนิเดียมีสีเข้ม รูปร่างรีเรียงต่อกันคล้ายสายโซ่		
Bacteria	<u>มหสังฐาน</u> โคลนีสีขาวเข้ม มันวาว <u>จุลสังฐาน</u> รูปร่างเป็นท่อน (rod shape) ขนาดเล็ก ย้อมติดสีแกรมบวก (Gram positive bacteria) ภายใต้กล้องกำลังขยาย 1000x เท่านั้นที่จะสามารถบ่งบอกรูปร่างของเซลล์ได้		

วิจารณ์ผลการวิจัย

1. ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

ปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศจากการเก็บตัวอย่างในอากาศระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ในช่วงเวลา 8.00-17.00 น. ที่ 3 ระดับความสูง 1 3 และ 7 เมตร พบว่า ในช่วงเวลา 8.00 น. ที่ความสูง 1 เมตร มีปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของเชื้อจุลินทรีย์สูงที่สุด คือ

$1,332.08 \pm 29.52 \text{ CFU/m}^3$ เพราะอยู่ใกล้กับแหล่งที่มาของเชื้อจุลินทรีย์นั่นคือพื้นดิน นอกจากนี้พื้นที่โครงการวิจัยและพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริแหลมผักเบี้ย จ.เพชรบุรี เป็นพื้นที่ธรรมชาติทำให้อากาศบริเวณที่มีการเพาะปลูกมีจุลินทรีย์มากกว่าอากาศบริเวณที่ไม่มีการเพาะปลูกและโคลนตม (บัญญัติ, 2534) ทำให้ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของ

เชื้อจุลินทรีย์ที่ระดับความสูง 1 เมตร สูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

2. ความสัมพันธ์ของปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมกับปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

2.1 ความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์ตามระดับความสูง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับความสูงของการเก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา คือ 8.00 13.00 และ 17.00 น. พบว่า มีความสัมพันธ์กัน เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบจะลดลงทั้ง 3 ช่วงเวลา เนื่องจากจุลินทรีย์ในอากาศส่วนใหญ่ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ๆ เพราะ อากาศมีสภาพแห้งและมีสารอาหารปริมาณน้อย ดังนั้นอากาศจึงไม่ใช่ถิ่นอาศัยที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ อากาศเป็นเพียงที่อยู่อาศัยชั่วคราว (Temporary habitat) ของจุลินทรีย์ที่ถูกพัดพามาจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำ ดิน และอากาศเป็นตัวกลางที่สำคัญในการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ไปในสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ดังนั้นระดับความสูงจึงมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบในพื้นที่นั้น

2.2 ความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์ความเร็วลม

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับความเร็วลมพบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น ปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบจะมีความเข้มข้นลดลงเนื่องจากฝุ่นละอองจะถูกเจือจางโดยลมที่พัดผ่านแหล่งกำเนิด ซึ่งการเจือจางนี้เกิดจากอากาศที่ไม่มีฝุ่นละอองหรือมีฝุ่นละอองน้อยเคลื่อนที่เข้ามา ทำให้บริเวณที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองมากมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง (วงศ์พันธ์และคณะ, 2543) ซึ่งในธรรมชาติเชื้อจุลินทรีย์จะเกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่นละออง ดังนั้นเมื่อฝุ่นละอองถูกเจือจางโดยลมความ

เข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะลดลงด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัย Giorgio et al. (1996) ทำการศึกษาจุลินทรีย์ประจำถิ่นที่มีในอากาศของเมือง Marseilles ในเขตเมืองและเขตพื้นที่ธรรมชาติที่เกาะ Porquerolles ประเทศฝรั่งเศส ผลการศึกษาพบว่าในเขตเมือง Marseilles เชื้อจุลินทรีย์มีความแปรปรวนมาก โดยปริมาณความเข้มข้นของเชื้อราในอากาศจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความเร็วลมในพื้นที่ศึกษา

2.3 ความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับรังสีแสงอาทิตย์

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของเชื้อจุลินทรีย์กับความเข้มข้นรังสีแสงอาทิตย์บริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา คือ 8.00 13.00 และ 17.00 น. พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ลดลงเมื่อความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ถึงแม้แสงสว่างจะจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้บางชนิด เช่น กรีนซัลเฟอร์แบคทีเรีย (Green sulfur bacteria) และเพอเพิลซัลเฟอร์ (Purple sulfur bacteria) แต่แบคทีเรียส่วนใหญ่จะไม่ต้องแสงจากการทดลองใช้แผ่นกรองแสงสีต่าง ๆ พบว่าแสงสีแดง ส้ม เหลือง ไม่ทำอันตรายต่อแบคทีเรีย แต่แสงสีฟ้าม่วงมีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และพบว่ารังสีอัลตราไวโอเลตมีผลในการทำลายแบคทีเรีย (นางลักษณ์และปรีชา, 2552) รังสีอัลตราไวโอเลตประเภท UV-B ที่ส่องลงมายังผิวโลกที่มีความยาวคลื่นสั้นทำให้มีพลังงานมากกว่า UV-A ด้วยพลังงานที่มากกว่าจะส่งผลกระทบต่อสารชีวโมเลกุลของสิ่งมีชีวิตบนโลกได้ เช่น สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดความผิดปกติในระดับดีเอ็นเอก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังในมนุษย์ได้ หรือเรียก UV-B ที่ก่อให้เกิดมะเร็งนี้ว่า Erythema UV นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นผู้ผลิตขั้นต้นจำพวกแพลงก์ตอนพืชและแบคทีเรียได้ด้วย (Anita, 2001 และ Fariborz, 2004)

โดยการดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในสารประกอบนิวคลีโอโปรตีน ทำให้เกิดการเชื่อมต่อนะหว่างไทมิน 1 คู่ มีผลทำให้การอ่านรหัสพันธุกรรมผิดพลาด จึงมีผลทำให้จุลินทรีย์ตายได้ซึ่งรังสีอัลตราไวโอเล็ตเกิดจากดวงอาทิตย์ จากการเก็บตัวอย่างตามปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์จึงพบว่าในช่วง 13.00 น. เป็นช่วงที่มีปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์สูงปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่พบจึงน้อยกว่าช่วงเวลา 8.00 และ 17.00 น. ที่มีความเข้มของแสงต่ำกว่า

3. ขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ

จากการศึกษาพบว่าขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบมากที่สุดคืออนุภาคขนาด 2.1-3.3 μm เนื่องจากในบรรยากาศจุลินทรีย์จะเกาะอยู่กับพื้นผิวของอนุภาคฝุ่นละออง ฝุ่นละอองขนาดเล็กและเบาจะสามารถลอยลอยอยู่ในอากาศได้นาน และไปได้ไกล จากผลการทดลองพบว่าแบคทีเรียที่ติดไปกับฝุ่นละอองสามารถพบได้ในทะเลห่างจากฝั่งออกไปเป็นระยะทางหลายร้อยกิโลเมตร และพบได้ในบรรยากาศที่มีความสูงนับเป็นพันเมตร จากการถูกกระแสลมพัดพาไป (ภุชฌิยา, 2548) ดังนั้นขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบจึงขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นในพื้นที่ด้วย

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการผันแปรของจุลินทรีย์ในอากาศโดยศึกษาปัจจัยของสภาพอากาศพบว่า ปัจจัยทางธรรมชาติที่มีผลต่อปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศ ณ พื้นที่โครงการวิจัยและพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริแหลมผักเบี้ย จ.เพชรบุรี ที่สำคัญได้แก่ระดับความสูง ความเร็วลม และความเข้มของแสง เมื่อระดับความสูง ความเร็วลม และความเข้มของแสงเพิ่มสูงขึ้นปริมาณความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบจะลดลงซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95 เนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในอากาศไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ๆ เพราะอากาศมีสภาพแห้งและมีสารอาหารปริมาณน้อย ดังนั้นอากาศจึงไม่ใช่ถิ่นอาศัยที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ อากาศเป็นเพียงที่อยู่อาศัยชั่วคราว (Temporary habitat) ของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในอากาศจะถูกพัดพาจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำ ดิน และอากาศเป็นตัวกลางที่สำคัญในการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ไปในสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ซึ่งจัดว่าไม่ใช่จุลินทรีย์ประจำถิ่น สำหรับจุลินทรีย์ที่พบในอากาศมักเป็นพวกที่ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี เช่น สปอร์รา รวมทั้งแบคทีเรียบางชนิด โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้ ดังนั้นเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นปริมาณของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะลดลงเนื่องจากอยู่ไกลจากแหล่งกำเนิดนั่นคือพื้นดินบริเวณพื้นที่เก็บตัวอย่างและเมื่อศึกษาขนาดของอนุภาคจุลินทรีย์ในอากาศ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงขนาด คือ >7 , $3-7$ และ <3 μm ตามแบบจำลองขนาดอนุภาคที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจมนุษย์ พบว่าขนาดอนุภาคของเชื้อจุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง $3-7$ μm ที่สามารถเข้าสู่ร่างกายส่วนของขั้วปอด เมื่อแยกเป็นขนาดของอนุภาคเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียในอากาศ พบว่าขนาดอนุภาคของเชื้อราส่วนใหญ่ที่พบอยู่ในช่วงขนาด 2.1-3.3 μm ส่วนเชื้อแบคทีเรียพบว่ามีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน โดยชนิดของจุลินทรีย์ที่พบมากในอากาศ คือ แบคทีเรียแกรมบวกรูปกลมและรูปท่อน และจุลินทรีย์ที่พบได้น้อยในอากาศ คือ ยีสต์ สาหร่าย และโปรโตซัว (พินิจ, 2553) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่อยู่ในดินมีบทบาทสำคัญในกระบวนการนิเวศโดยช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ในธรรมชาติ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ
ที่ให้คำแนะนำในการเขียนบทความภาษาอังกฤษใน
งานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- ภุชณียา ศังขจันทานนท์. (2548) ชนิดและปริมาณของเชื้อ
แบคทีเรียและเชื้อราที่ก่อโรคในโรงพยาบาลและ
การเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องมือเก็บ
ตัวอย่างจุลินทรีย์ในอากาศ.วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต สาขาวิชานามัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และ ปรีชา สุวรรณพินิจ. (2552). จุล
ชีววิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 131.
- บัญญัติ สุขศรีงาม. (2534) จุลชีววิทยาทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 3.
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอ.เอ.พรินต์ติ้ง เฮ้าส์. หน้า
103.
- เบญจภรณ์ ประภักดี. (2551) จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่
2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มิสเตอร์ก๊อปปี้. หน้า 97.
- พินิจ กล้าคลองตัน. (2553) การแพร่กระจายเชื้อ
Pseudomonas aeruginosa ในสถานพยาบาล:
กรณีศึกษาโรงพยาบาลนภลัย จังหวัด
สมุทรสงคราม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ นิตยา มาผล และ ชีระ เกรอต. (2543).
มลภาวะทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 58.
- วีรานุช หลาง (2551). จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1 .
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- American Conference of Governmental Industrial
Hygienist. (1989). Guidelines for the
assessment bioaerosols in the indoor
environment. Cincinnati, USA.
- Anita, G.J., E.W., Helbling, M.K. de Boer and Villafane,
V.E. (2001). Patterns of DNA damage and
photoinhibition in temperate South-Atlantic

picophytoplankton exposed to solar
ultraviolet radiation. Journal of
Photochemistry and Photobiology B:
Biology. 62: 9-18.

- Ellis, D., David, S., Alexiou, H., Handke, R. and Bartley,
R. (2007). Descriptions of Medical Fungi.
Nexus: South Australia. pp. 45-119.
- Douwes, J., Dubbeld, H. and Van, Zwieter, (2003).
Bioaerosol health effects and exposure
assessment: Progress and prospects. Annals
of Occupational Hygiene 47(3): 187-200.
- Environment Agency. (2004). Monitoring of particulate
matter in ambient air around waste facilities.
Technical Guidance Document (Monitoring)
M17. R&D Project :1-323.
- Fang, X.Z., Ouyang, Z., Zheng, H., Wang, X. and Hu, L.
(2007). Culturable airborne bacteria in
outdoor environments in Beijing, China.
Microbial Ecology 54: 487-496.
- Fariborz, T. (2004). Ultraviolet and ionizing radiation
for microorganism inactivation. Water
Research 38: 3940-3948.
- Giorgio, C., Krempff, A., Guiraud, H., Binder, P., Tiret, C.
and Dumenil, G. (1996) Atmospheric
pollution by airborne microorganisms in the
city of Marseilles. Appl. Envir. Microbiol. 30:
155-160.
- Griffin, W.D. (2007). Airborne desert dust and
aeromicrobiology over the Turkish
Mediterranean coastline. Atmospheric
Environment 41: 4050-4062.
- Jim, D. (2000). The microbial world : airborne
microorganism. Retrieved September 12,
2013 from [http://archive.bio.ed.ac.uk/
jdeacon/microbes/airborne](http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/microbes/airborne). for 30
December 2013.

- National Institute for Occupational safety and health. (1987). Guidance for indoor air quality investigation. Cincinnati, USA.
- Pannop, L. and Bualert, S. (2013). Variation of radiation and solar spectrum in Thailand. International Journal of Environmental Science and Development. 4: 107-110.
- Raper, B. K. and Fennell, D. I. (1965). The Genus *Aspergillus*. Baltimore: The Williams and Wilkins company.
- Sanchez Monedero, M.A. (2008). Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. Water Research 42(14): p. 3739-3744.
- World Health Organization. (2009). WHO guidelines for indoor air quality dampness and mold. Publication WHO regional office for Europe.

