



มหาวิทยาลัยฟาฏอนี ร่วมกับ เครือข่ายความร่วมมือ  
มหาวิทยาลัยนเรศวรราชชนครินทร์ และมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

# Proceedings

## การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6

### เรื่อง

สร้างสรรคงานวิจัยเพื่อขับเคลื่อนประเทศ  
สู่ความมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืนในยุค

# Thailand 4.0

(วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตรนวัตกรรม)

18 ตุลาคม 2017

ณ อาคารเรียนรวมเฉลิมพระเกียรติ

มหาวิทยาลัยฟาฏอนี



## การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความชุ่มชื้นของอังสตรอมที่ภาคกลางสำหรับประเทศไทย และประเทศฟิลิปปินส์

รุสมาตี สะบูติง<sup>1</sup>, สมกรณ์ ชัยวารากรณ์<sup>1</sup>, นิฮายาตี ตือราแม<sup>1</sup> และ ศศิธร กลิ่นแย้ม<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความชุ่มชื้นของอังสตรอมที่นครปฐมในประเทศไทย กรุงเทพมหานคร และมหาวิทยาลัยมาเบลล์ของประเทศฟิลิปปินส์ ในกรณีรายวัน และรายวันเฉลี่ยต่อเดือน โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จากเครื่องชั้นโฟโตมิเตอร์ ที่ทำการวัดที่สถานีวัด 3 แห่ง คือศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคกลาง จังหวัดนครปฐม ( $13.82^{\circ}\text{N}$   $100.04^{\circ}\text{E}$ ) กรุงเทพมหานคร ( $14.64^{\circ}\text{N}$   $121.08^{\circ}\text{E}$ ) และมหาวิทยาลัยมาเบลล์ ( $6.50^{\circ}\text{N}$   $124.84^{\circ}\text{E}$ ) จากนั้นได้นำข้อมูลจำนวน 9 ปี มาทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ความชุ่มชื้นของอังสตรอม ผลที่ได้พบว่า  $\beta$  ของนครปฐม จะมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง และมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน ส่วนสถานีมะนิลา และมหาวิทยาลัยมาเบลล์ ค่าค่อนข้างต่ำ รวมทั้งค่อนข้างคงที่ตลอดปี

เนื่องจากจำนวนสถานีวัดฝุ่นละอองในประเทศไทย และฟิลิปปินส์ยังมีจำนวนน้อย ผู้วิจัยจึงเสนอแนะว่าควรเพิ่มจำนวนสถานีวัดฝุ่นละอองเพื่อให้ได้ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความชุ่มชื้นของอังสตรอมครอบคลุมพื้นที่กว้างขวางขึ้น

**คำสำคัญ:** ฝุ่นละออง สภาพความชุ่มชื้น ค่าสัมประสิทธิ์ความชุ่มชื้นของอังสตรอม

## Study of Angstrom Turbidity at Southern of Thailand and Philippines

Rusmadee Sabooding<sup>1</sup> Sommkorn Chaiwarakorn<sup>1</sup> Nihayatee Deramae<sup>1</sup>  
and Sasithorn Klinyeam

<sup>1</sup> Physics, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala

### Abstract

In this work, angstrom turbidity coefficient at songkhla for thailand manila and marbel university of philippines. In the case daily and monthly average  $\beta$ . The investigation was based the solar spectrum from sunphotometers measured at 3 location: nakhon pathom ( $13.82^{\circ}\text{N } 100.04^{\circ}\text{E}$ ) manila ( $14.64^{\circ}\text{N } 121.08^{\circ}\text{E}$ ) and marbel university ( $6.50^{\circ}\text{N } 124.84^{\circ}\text{E}$ ). The spectral data for the period 9 year from these measurements was angstrom turbidity coefficient. for nakhon pathom,  $\beta$  exhibit strong seasonal variations, with high values occurring in the dry season and low values during the wet season. these angstrom turbidity coefficient is different from those of manila and marbel university.

As the number of aerosol monitoring station in thailand and philippines are still very limited, it is suggested that number of the stations be increased in order to obtain more spatial coverage of information on angstrom turbidity coefficient.

**Keyword:** Aerosol, Turbidity, Angstrom turbidity coefficient



## บทนำ (Introduction)

สภาพความขุ่นมัว (turbidity) เป็นสมบัติเชิงทัศนศาสตร์ (optical property) ที่สำคัญของบรรยากาศซึ่งเป็นผลมาจากฝุ่นละออง (aerosol) ที่กระจายอยู่ในบรรยากาศนั้น และสามารถบอกได้ด้วยสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของบรรยากาศ (turbidity coefficient) ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจะถูกลดทอนโดยกระบวนการต่างๆ ของบรรยากาศดูดกลืน (absorb) และกระเจิง (scatter) ทำให้รังสีตรง (direct radiation) มาถึงพื้นผิวโลกมีความเข้มลดลงโดยองค์ประกอบหลักของบรรยากาศที่ดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ ได้แก่ โอโซน ไอน้ำ และฝุ่นละออง ส่วนการกระเจิงจะเกิดจากโมเลกุลของอากาศทุกชนิด ได้แก่ ไอน้ำ และฝุ่นละออง ในการคำนวณความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงผิวโลก เราจำเป็นต้องรู้ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศที่รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามา โดยทั่วไปโอโซนจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นระบบตามละติจูดและฤดูกาล โดยมีข้อมูลจากการศึกษาต่างๆ ค่อนข้างมาก (Robinson, 1966) สำหรับปริมาณไอน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิศาสตร์ และสภาพอากาศ แต่ยังคงสามารถคำนวณได้โดยข้อมูลภาคพื้นดินต่างๆ ที่มีวัดทั่วไป เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature) เป็นต้น

กรณีของฝุ่นละอองนับเป็นองค์ประกอบของบรรยากาศที่หาปริมาณและสมบัติได้ยากที่สุด ทั้งนี้เพราะฝุ่นละอองมีหลายชนิดทั้งที่เกิดตามธรรมชาติ และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาและพื้นที่ อีกทั้งการตรวจวัดที่ละเอียดถูกต้องทำได้ยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง จากการศึกษาของ Nunez (1998) พบว่าฝุ่นละอองมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงได้สูงถึง 19 %

การปรากฏของฝุ่นละอองในบรรยากาศทำให้อากาศขุ่นมัว (turbid) โดยทั่วไปสภาพความขุ่นมัวของบรรยากาศ (atmospheric turbidity) เป็นผลมาจากความหนาแน่น ขนาด และชนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ถึงแม้ว่าสภาพความขุ่นมัวมีความสัมพันธ์กับปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ซึ่งสามารถบอกในรูปของจำนวนอนุภาคของฝุ่นละอองต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร แต่การบอกปริมาณในลักษณะดังกล่าวไม่สะดวกในการนำมาใช้งานด้านรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้น จึงได้มีการสร้างดัชนีสภาพขุ่นมัวของบรรยากาศขึ้นโดยดัชนีที่นิยมใช้ในงานด้านรังสีดวงอาทิตย์ คือสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม Angstrom turbidity coefficient  $\beta$  (Angstrom, 1929)

โดยทั่วไปสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม ( $\beta$ ) จะแปรค่าอยู่ในช่วง 0.0-0.5 บรรยากาศที่มีสภาพความขุ่นมัวสูงจะมีค่า  $\beta$  มากค่า  $\beta$  นี้สามารถนำไปคำนวณการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองได้โดยตรง ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม ( $\beta$ ) นี้โดยทั่วไปจะหาได้จากการวัดโดยใช้เครื่อง Sun photometer ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอที่ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม ( $\beta$ ) ในบริเวณภาคกลางสำหรับประเทศไทย และประเทศฟิลิปปินส์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะนำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมในบริเวณจังหวัดนครปฐมสำหรับประเทศไทย มะนิลา และมหาวิทยาลัยมาเบลล์ของประเทศฟิลิปปินส์ เพื่อให้ทราบธรรมชาติของฝุ่นละอองในบริเวณนี้ต่อไป

## วัตถุประสงค์การวิจัย (Objective)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมในบรรยากาศของนครปฐมสำหรับประเทศไทย มะนิลา และมหาวิทยาลัยมาเบลล์สำหรับประเทศฟิลิปปินส์



## เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

### ความหมายฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (aerosol) หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ มีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติส่วนใหญ่ ได้แก่ ฝุ่นละอองที่มาจากเปลือกโลก (crustal aerosol) และฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากน้ำทะเล (maritime aerosol)

### แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

แหล่งที่มาของฝุ่นละอองในอากาศจากการรายงานของ SCEP (The Study of Critical Environment problems) ได้จำแนกแหล่งที่มาของฝุ่นละอองไว้ 3 แหล่ง ได้แก่

1) แหล่งทั่วไปตามธรรมชาติ ได้แก่

1.1) จากพายุฝุ่นและจากบริเวณทะเลทราย ขนาดของอนุภาคจะมีรัศมีมากกว่า 0.3 ไมครอน



ภาพที่ 1 พายุฝุ่น

1.2) จากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลของก๊าซ (Photochemical gas reactions) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างก๊าซโอโซนในธรรมชาติ และสารไฮโดรคาร์บอนเป็นผลทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดเล็กๆ ซึ่งรัศมีน้อยกว่า 0.2 ไมครอน

1.3) จากการระเบิดของภูเขาไฟ ซึ่งจะพ่นทั้งฝุ่นละอองและก๊าซ



ภาพที่ 2 ลาวาปะทุจากภูเขาไฟ

2) ละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากแหล่งมหาสมุทร ละอองพวกนี้เกิดขึ้นจากละอองของน้ำทะเลที่แพร่กระจายในบรรยากาศแล้วเกิดการระเหยกลายเป็นอนุภาคของเกลือ (Oceanic salt) อนุภาคพวกนี้จะมีรัศมีมากกว่า 0.3 ไมครอน



ภาพที่ 3 ละอองของเกลือ

3) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการกระทำของมนุษย์ (Man-made aerosols) คือ  
3.1) การคมนาคมขนส่ง ฝุ่นละอองที่เกิดจากการจราจร



ภาพที่ 4 ฝุ่นละอองจากการจราจร

3.2) การก่อสร้างหลายชนิด มักมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้าง ซึ่งทำให้เกิดฝุ่นละอองได้โดยง่าย เช่น อาคารสิ่งก่อสร้าง การปรับปรุงสาธารณูปโภค การก่อสร้างอาคารสูงทำให้ฝุ่นละอองของปูนซีเมนต์ถูกลมพัดออกมาจากอาคารการรื้อถอนทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น



ภาพที่ 5 งานรื้อถอนอาคาร

3.3) โรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการผลิตที่มีฝุ่นละอองออกมา เช่น การปั่นฝ้าย การเจียรโลหะ การเคลื่อนย้ายวัสดุดิบ เป็นต้น



ภาพที่ 6 ควันจากโรงงานอุตสาหกรรม

## การเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองในช่วงเวลาที่อยู่ในบรรยากาศ

เมื่อฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากแหล่งกำเนิดขึ้นสู่บรรยากาศโดยทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างและจำนวนอนุภาค ซึ่งบางครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้วย ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

### 1) การเชื่อมติดกัน (coagulation)

เป็นกระบวนการที่ฝุ่นละอองซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) มาชนกันและเชื่อมติดกันเป็นอนุภาคเดียว กระบวนการนี้จะทำให้อนุภาคขนาดเล็กลดจำนวนลงและมีอนุภาคขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปกระบวนการเชื่อมติดกันนี้จะเกิดขึ้นจากอนุภาคขนาดเล็กเท่านั้น

### 2) การกลั่นตัวของไอสารบนอนุภาคของฝุ่นละออง (heterogeneous condensation)

ไอสารดังกล่าวอาจเป็นไอน้ำหรือไอของสารอื่นๆ กระบวนการนี้เกิดจากไอสารในบรรยากาศกลั่นตัวที่ผิวอนุภาคของฝุ่นละอองจะทำให้อนุภาคของแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสมดุล กล่าวคือเมื่อถึงจุดสมดุลอัตราการกลั่นตัวจะเท่ากับอัตราการระเหย โดยทั่วไปอัตราการโตขึ้นของอนุภาคของแข็งเนื่องจากการกลั่นตัวจะถูกควบคุมด้วยอัตราการชนระหว่างอนุภาคของไอสารกับอนุภาคของฝุ่นละออง Hoppel และคณะ (1994) ได้ศึกษากระบวนการดังกล่าวที่เกิดขึ้นกับฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากน้ำทะเลและพบว่าขนาดของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นจาก  $0.005 \mu\text{m}$  เป็น  $0.02 \mu\text{m}$  ในช่วงระยะเวลาประมาณ 1.4 วัน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองโดยกระบวนการกลั่นตัวของไอสารบนอนุภาคของแข็งเกิดขึ้นมากกว่าการเชื่อมติดกันประมาณ 10 เท่า

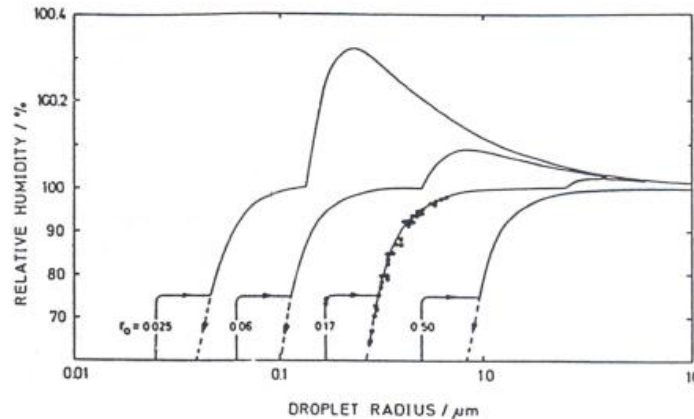
### 3) การเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน

เป็นกระบวนการที่ฝุ่นละอองทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในบรรยากาศทำให้เกิดเป็นสารใหม่ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) ที่ละลายอยู่ในละอองน้ำจากทะเล ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดเร็วขึ้นเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นไอออนของธาตุหนัก เช่น ไอออนของเหล็ก และแมงกานีส เป็นต้น กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำให้กำมะถันที่อยู่ในละอองน้ำทะเลลดลง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้มีมวลเพิ่มขึ้นและร่วงหล่นลงสู่พื้นได้เร็วขึ้น

### 4) การโตขึ้นของอนุภาคฝุ่นละอองเนื่องมาจากความชื้นในบรรยากาศ

เนื่องจากฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคของแข็งมักเป็นสารที่สามารถดูดและคายความชื้นได้ ดังนั้นฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ดูดกลืนความชื้นเข้าไปจะมีมวลเพิ่มขึ้นขณะที่ฝุ่นละอองที่คายความชื้นจะมีมวลลดลง การดูดและคายความชื้นจะขึ้นกับชนิดของฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของบรรยากาศ Warneck (1988) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดของฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคโซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ค่าต่างๆ ผลที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 7 จากกราฟจะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นและการลดลงของขนาดของอนุภาคจะไม่ย้อนรอยเดิม แต่มีลักษณะเป็น hysteresis cycles ซึ่งเป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปของสารที่ดูดและคายความชื้นได้ (hygroscopic material)





ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาค NaCl ที่ความชื้นต่างๆ โดยเส้นทึบแสดงการเพิ่มขึ้นของขนาดของอนุภาคเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น และเส้นประแสดงการลดลงของขนาดของอนุภาคเมื่อความชื้นลดลง

#### 5) กระบวนการดูดกลืนก๊าซของเมฆ

โดยทั่วไปเมฆประกอบด้วยละอองน้ำเล็กๆ ซึ่งสามารถดูดกลืนก๊าซต่างๆได้ เมื่อดูดกลืนก๊าซบางชนิดเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโอโซน จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารบางชนิดที่ละลาย อยู่ในละอองน้ำ เหล่านั้นกลายเป็นอนุภาคของแข็งได้ Langner และคณะ (1992) ได้ทำการศึกษาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในบรรยากาศและพบว่าเพียง 14% เท่านั้นที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจน กลายเป็น  $H_2SO_4$  ส่วนอีกครึ่งหนึ่งของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกนำออกไปจากบรรยากาศโดยการร่วงหล่นสู่พื้น (dry deposition) และส่วนที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในละอองน้ำเล็กๆ ที่ประกอบเป็นเมฆ

#### กระบวนการที่ฝุ่นละอองหายไปจากบรรยากาศ (removal mechanisms)

ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ มีการปลดปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศและระหว่างที่อยู่ในบรรยากาศ จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและจำนวนด้วยกระบวนการต่างๆ หลังจากนั้นจะหายไปจากบรรยากาศด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

##### 1) การร่วงหล่นลงสู่พื้นโดยไม่เกี่ยวข้องกับการกลั่นตัว (dry deposition)

กระบวนการนี้เกิดจากการที่ฝุ่นละอองถูกแรงโน้มถ่วงดึงดูดให้ตกลงสู่พื้นผิวโลกโดยไม่มีการควบแน่นเข้ามาเกี่ยวข้อง กระบวนการดังกล่าวจะขึ้นกับเงื่อนไขทางด้านอุณหพลศาสตร์ของพื้นผิวโลก (surface roughness) คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของอนุภาคฝุ่นละออง โดยทั่วไปจะวัดอัตราการร่วงหล่นในรูปฟลักซ์ของอนุภาคต่อความเข้มข้นของอนุภาคใกล้พื้นผิวโลก โดยอัตราการร่วงหล่นจะถูกควบคุมโดยแรงโน้มถ่วงและความปั่นป่วน (turbulent) ของบรรยากาศ การร่วงหล่นโดยอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า  $1 \mu m$  ที่ความเร็วลมเป็นศูนย์จะสามารถคำนวณความเร็วสุดท้าย (terminal velocity)

##### 2) การร่วงหล่นลงสู่พื้นโดยเกี่ยวข้องกับการกลั่นตัว (wet deposition)

กระบวนการนี้เป็นกรณีลดจำนวนฝุ่นละอองในบรรยากาศเนื่องจากการกลั่นตัว ของเมฆกลายเป็นฝนตกลงพื้นผิวโลก โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กระบวนการที่เกิดภายในเมฆ (in-cloud process) และกระบวนการที่เกิดขึ้นใต้เมฆ (below-cloud process) กระบวนการที่เกิดภายในเมฆเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำบนฝุ่นละออง จนมีขนาดใหญ่กลายเป็นฝนตกลงสู่พื้นผิวโลก กระบวนการนี้เกิด

ขึ้นกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า  $0.1 \mu\text{m}$  โดยจะเกิดขึ้น กับอนุภาคขนาดใหญ่ก่อน หลังจากนั้นจะเกิดกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กโดยทั่วไปอัตราการกลั่นตัวจะช้าลงเมื่อหยดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น กรณีกระบวนการที่เกิดได้เมฆจะเกิดขึ้นเมื่อเมฆกลั่นตัวเป็นฝน โดยฝุ่นละอองที่อยู่ในแนวทางการเคลื่อนที่ของเม็ดฝนก็จะถูกจับโดยฝนและร่วงหล่นลงสู่พื้นผิวโลก กระบวนการนี้เกิดขึ้นมากกับอนุภาคที่มีขนาดโตกว่า  $2 \mu\text{m}$  แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดในช่วง  $0.1-2 \mu\text{m}$  จะได้รับผลจากกระบวนการที่เกิดได้เมฆเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นกระบวนการดังกล่าวจึงเป็นผลที่สำคัญต่อฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Angstrom (1961) ได้ทำการศึกษาวิธีคำนวณค่าและเสนอให้ใช้  $\beta$  เป็นดัชนีชี้ระดับความขุ่นมัวของบรรยากาศ (atmospheric turbidity) และได้เสนอวิธีการหาค่า  $\beta$  โดยการวัดความเข้มรังสีตรงที่ความยาวคลื่น 2 ค่า คือ  $x_1$  และ  $x_2$  เมื่อ  $x_1$  และ  $x_2$  เป็นความยาวคลื่นที่ไม่มีการดูดกลืนโดยไอน้ำ และก๊าซอื่นๆ

Angstrom (1964) เสนอให้ทำการวัดโดยใช้ไพราโนมิเตอร์ซึ่งมีแผ่นกรองแสง (filter) ช่วย จากนั้น Angstrom ได้ใช้วิธีการดังกล่าวทำการศึกษาค่า  $\beta$  และ  $\alpha$  ของเมือง Postdam ประเทศเยอรมัน

Volz (1995) ได้ทำการตรวจวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น  $1 \mu\text{m}$  โดยสามารถคำนวณค่า  $\beta$  ได้โดยตรง ซึ่งไม่มีค่า  $\alpha$  มาเกี่ยวข้องและเรียกอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในการอ่านค่า  $\beta$  ว่า Volz Sunphotometer ได้มีการใช้อุปกรณ์ดังกล่าวหาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวที่เมืองต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา อาทิเช่น Albuquerque, Apalachicola, Miami, New York, Washington เป็นต้น

Mani และคณะ (1973) ได้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้ Angstrom pyrliometer ซึ่งติดตั้งแผ่นกรองแสงได้จากการตรวจวัดที่เมืองต่าง ๆ ในประเทศอินเดีย ได้แก่ เมือง Delhi และ Poona พบว่าการเพิ่มขึ้นของค่า  $\beta$  อันเป็นผลมาจากการพัฒนาอุตสาหกรรม ในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา

Katz และคณะ (1982) ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดรังสีตรงที่เมือง Momtfafer ประเทศฝรั่งเศส และได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของออสเตรอมในเดือนต่างๆ

Abdelrahman และคณะ (1988) ได้ทำการตรวจวัดหาค่า  $\beta$  โดยใช้ข้อมูลความเข้มรังสีตรงที่ได้จากการวัดเครื่อง pyrliometer ที่ติดตั้งแผ่นกรองแสง บริเวณทะเลทรายของเมือง Dhahran ประเทศซาอุดีอาระเบีย ผลจากการศึกษาพบว่าค่า  $\beta$  ที่ได้จะค่อยข้างสูงเมื่อเทียบกับค่า  $\beta$  ที่ได้จากเมืองต่างๆ ในยุโรป เนื่องจากอิทธิพลของฝุ่นละอองจากทะเลทราย

Exell (1977) Asian Institute of Technology ได้ทำการหาค่าสภาพความขุ่นมัวของบรรยากาศโดยใช้ค่า  $\beta$  เป็นดัชนีที่ความขุ่นมัวที่เชียงใหม่และกรุงเทพมหานคร จากนั้นนำค่า  $\beta$  ที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลทัศนวิสัย

### วิธีดำเนินการวิจัย (Research Methodology)

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
  - ประชากร คือ ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของออสเตรอม
  - กลุ่มตัวอย่าง คือ ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของออสเตรอมภาคกลางของประเทศไทย และประเทศฟิลิปปินส์



## 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องชั้นโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดสเปกตรัมของแสง ได้หลายช่วงความยาวคลื่น โดยเครื่องที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องรุ่น CE-318 ที่ใช้ในเครือข่าย AERONET (Aerosol Robotic NETwork) ขององค์การนาซา (NASA) คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องชั้นโฟโตมิเตอร์มีดังต่อไปนี้

- วัดสเปกตรัมแสงได้ 8 ความยาวคลื่น ได้แก่ 340 nm, 380 nm, 440 nm, 500 nm, 670 nm, 870 nm, 940 nm และ 1020 nm และทำการวัดสามครั้งต่อหนึ่งรอบ

- แต่ละความยาวคลื่นมี Bandwidth ประมาณ 10 nm

- ประกอบด้วยหัววัด และ collimator 2 ชุด คือ sun ซึ่งวัดสเปกตรัมจากดวงอาทิตย์ 8 ความยาวคลื่น และ sky จะวัด sky irradiance 4 ความยาวคลื่น คลื่น ได้แก่ 440 nm, 670 nm, 870 nm และ 1020 nm

- สามารถทำการวัดได้หลายรูปแบบ (Scenario) จึงทำการวัดได้ทั้งค่าความลึกเชิงแสง และคุณสมบัติที่ได้จากการกระเจิงอื่นๆ

- วัดค่าสเปกตรัม และ irradiance ในหน่วยของจำนวนนับต่อเวลา (count/s)

- มี sensor หาดำแหน่งดวงอาทิตย์แบบ 4 quadrant ที่มีความแม่นยำระดับ 0.1 องศา เมื่อมุมของ collimator ห่างจากดวงอาทิตย์ไม่เกิน 6 องศา

- มี Scenario ที่หลากหลาย และง่ายต่อการใช้งาน เช่น GOSUN ให้หาดำแหน่ง และทิศทางการวางที่เหมาะสมที่สุด

- มีระบบตรวจจับเมฆ (เพิ่มโดยองค์การนาซา)

- มีระบบหยุดทำงานในกรณีที่ฝนตก โดยใช้ wet sensor และระบบสั่งหยุดจากสเปกตรัมที่มีความเข้มน้อยกว่า 50 count/s

- ใช้สายโทรศัพท์ในการเชื่อมโยงส่วนต่างๆ ทำให้สามารถเพิ่มความยาว และออกแบบระบบให้ยืดหยุ่นขึ้นได้

- ใช้แบตเตอรี่ 2 ชุด คือ ชุดสำหรับ control box ขนาดความต่างศักย์ 6V และสำหรับ robot ขนาดความต่างศักย์ 12V

- สามารถประจุแบตเตอรี่ทั้งสองได้จากเซลล์สุริยะกำลังสูง หรือหม้อแปลงไฟฟ้า จึงทำให้ระบบพลังงานหล่อเลี้ยงมีความยืดหยุ่นสูง และไม่จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าจากที่อื่นๆ

- มีขนาดกะทัดรัด และน้ำหนักเบา

## 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นข้อมูลเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอองสตรอมที่ได้จากเครื่อง sunphotometer ของจังหวัดนครปฐม ประเทศไทย (ระหว่าง ค.ศ.2009-2017) กรุงเทพมหานคร และมหาวิทยาลัยมาเบลล์ ประเทศฟิลิปปินส์ (ระหว่าง ค.ศ.2009-2017)

## 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

- ผู้วิจัยได้วิเคราะห์โดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอองสตรอมในรายวัน และรายเดือน

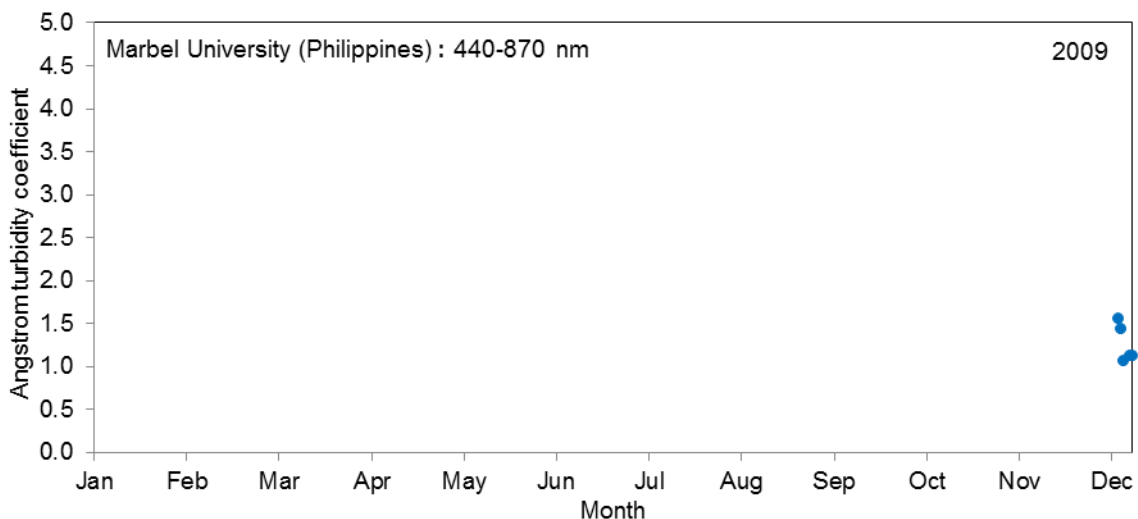


- ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้อมูลของฟิลิปปีนส์ของประเทศไทย มะนิลา และมหาวิทยาลัยมาเบลล์ในประเทศฟิลิปปีนส์

### ผลการวิจัย (Results)

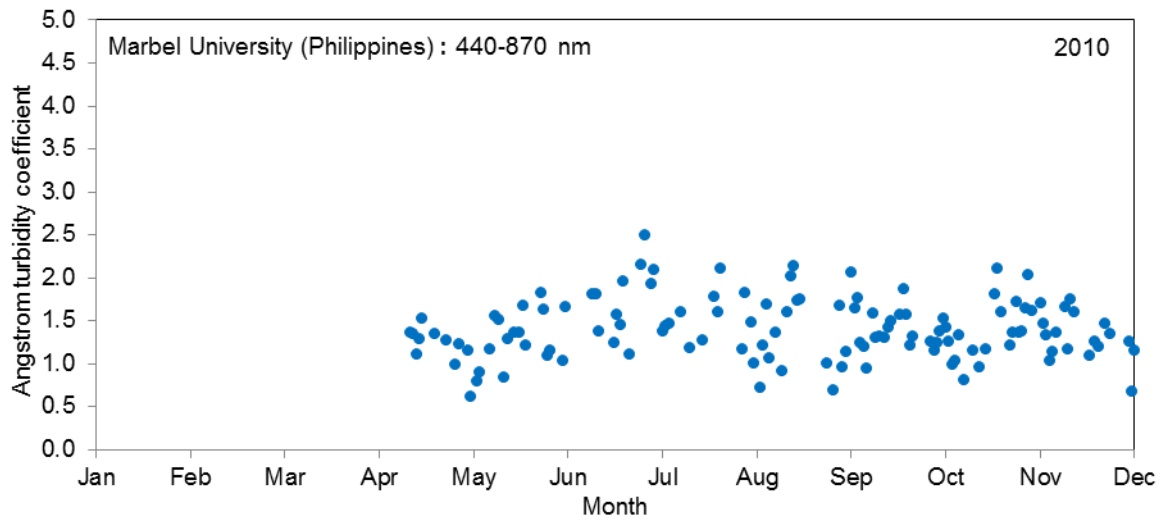
ค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของฝุ่นละอองที่หาได้ตลอดทั้งวันมาเฉลี่ยเป็นค่ารายวันแล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลา เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของฝุ่นละอองที่ใช้ในการคำนวณผลของฝุ่นละอองนิยมใช้ค่าที่ความยาวคลื่น 440-870 nm ประกอบกับข้อมูลที่ทำการวัดทั้ง 3 สถานี มีการวัดที่ความยาวคลื่น 440-870 nm เหมือนกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวที่ความยาวคลื่น 440-870 nm

การเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์ กรุงมะนิลา และนครปฐม จะแสดงไว้ในภาพที่ 8-18 และภาพที่ 19 จะแสดงการเปรียบเทียบผลของทั้ง 3 สถานี

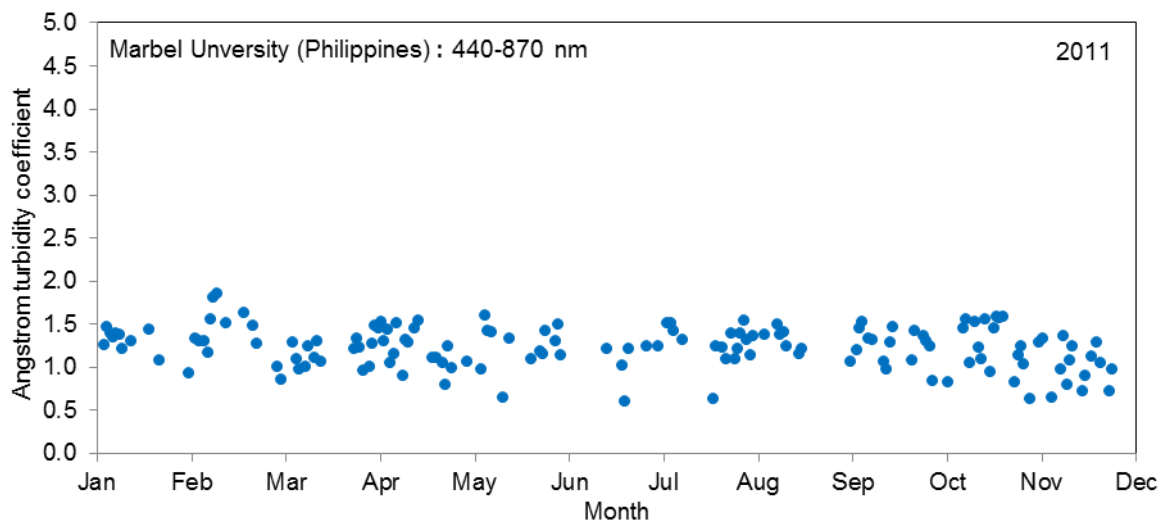


ภาพที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2009 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์

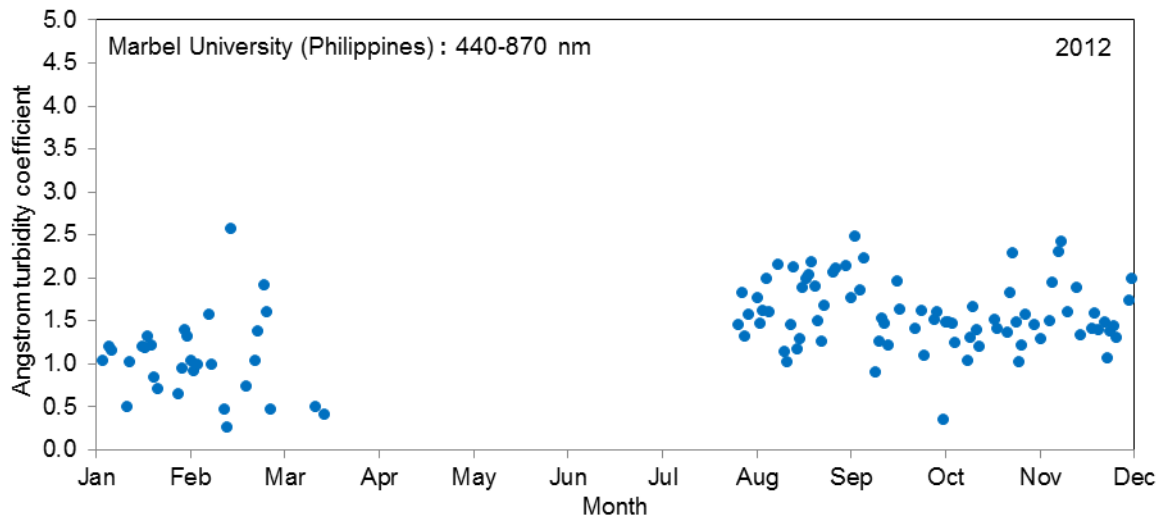




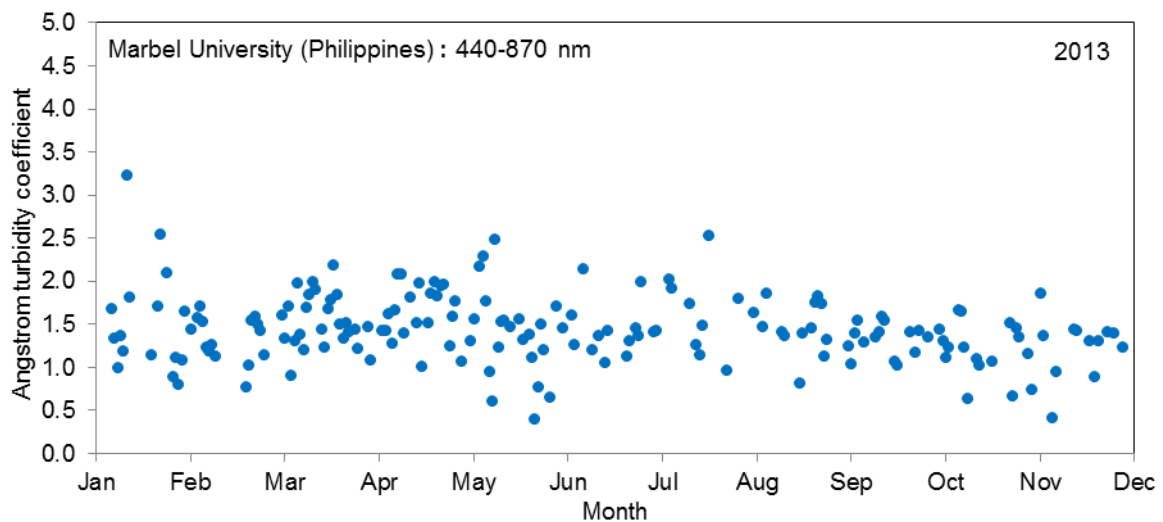
ภาพที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2010 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์



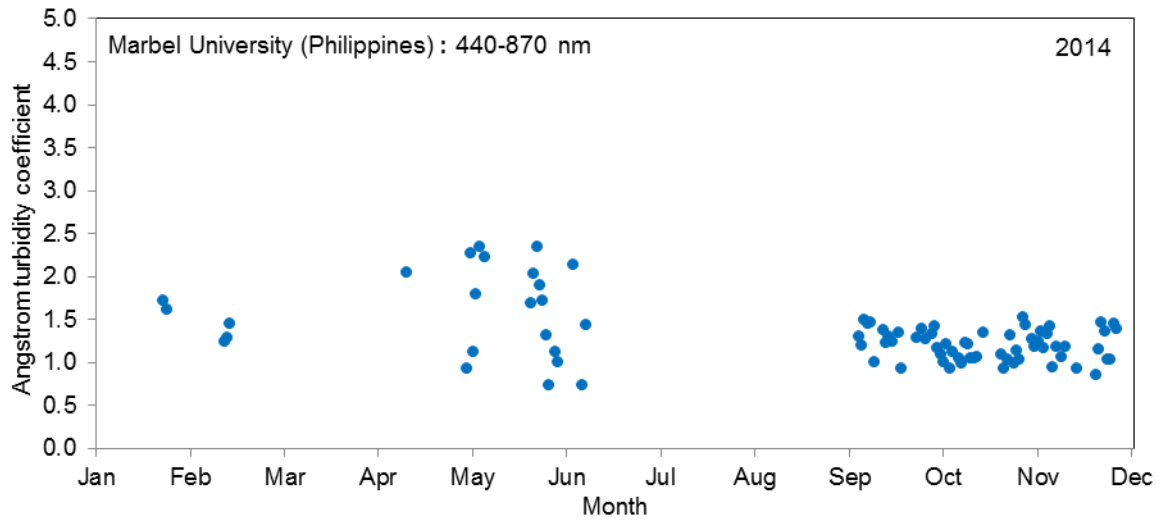
ภาพที่ 10 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2011 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์



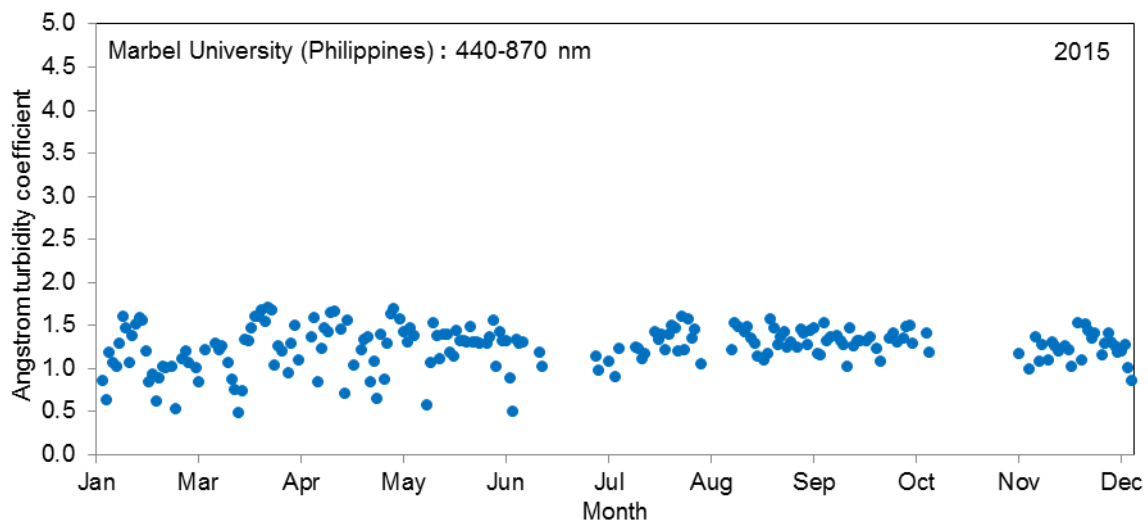
ภาพที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2012 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์



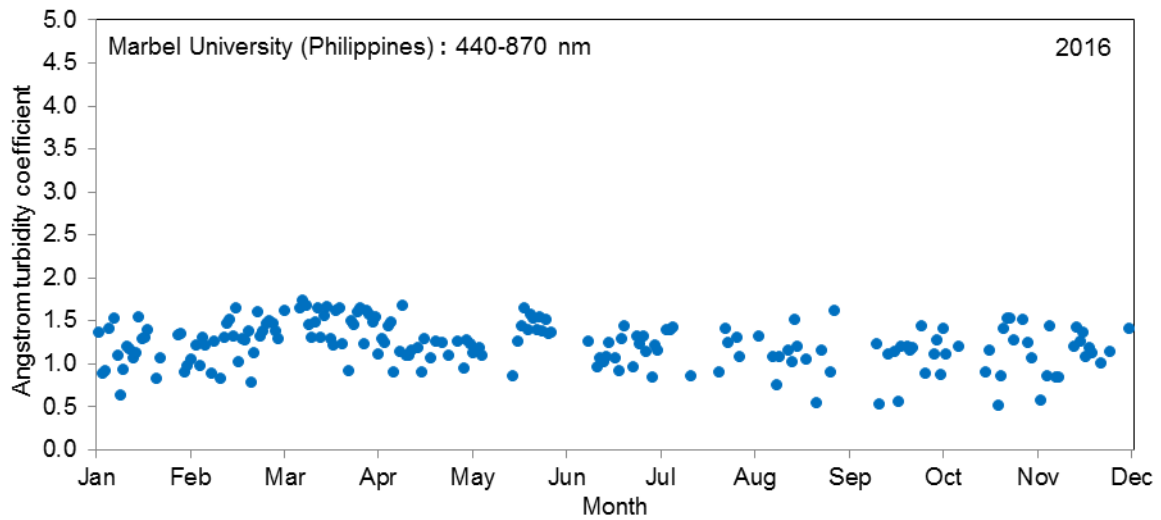
ภาพที่ 12 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2013 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์



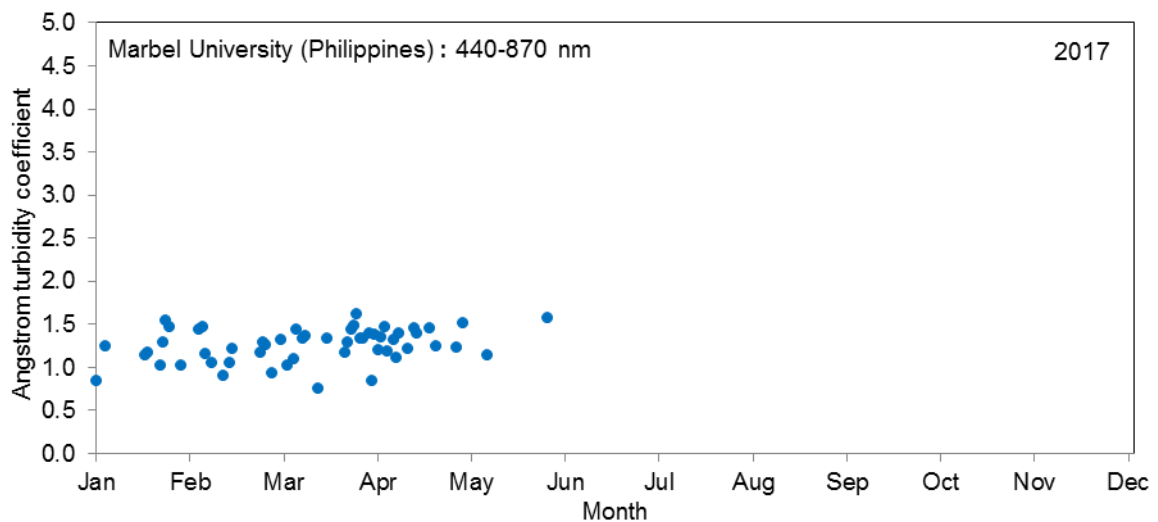
ภาพที่ 13 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2014 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์



ภาพที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2015 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์

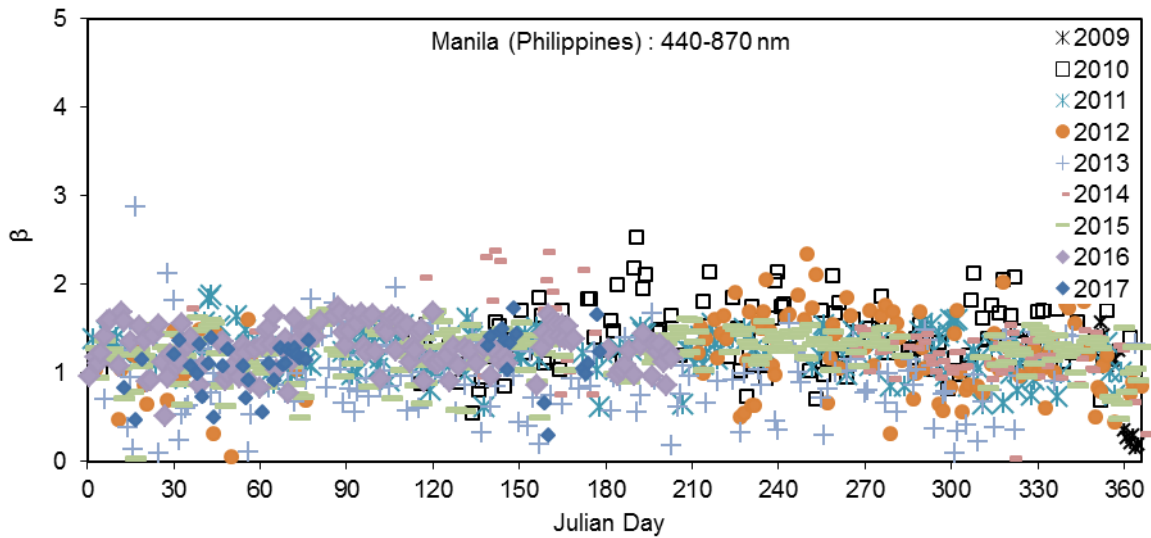


ภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2016 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์

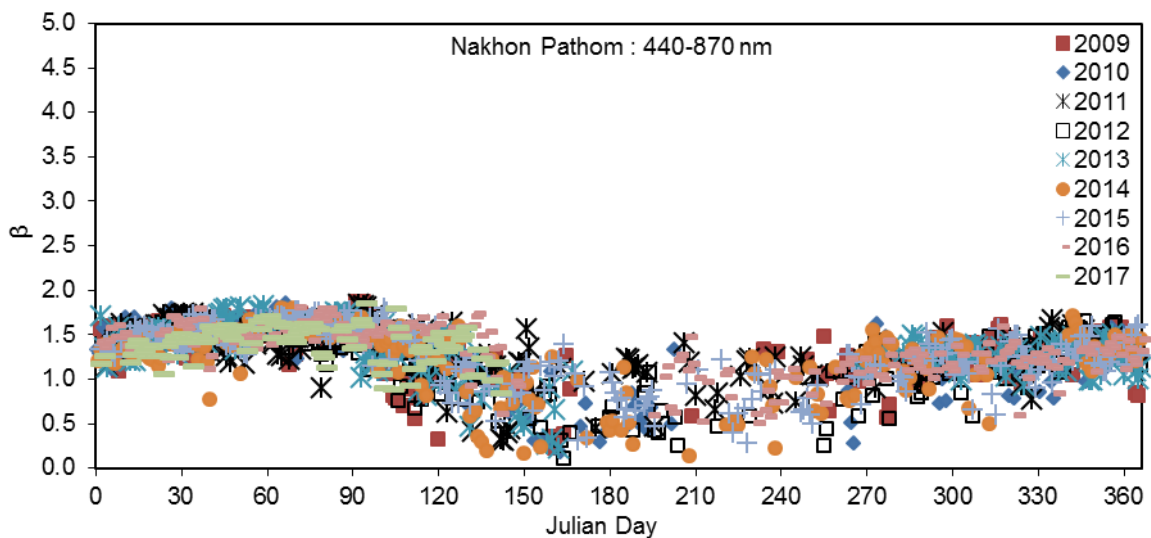


ภาพที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปี 2017 ที่สถานีมหาวิทยาลัยมาเบลล์



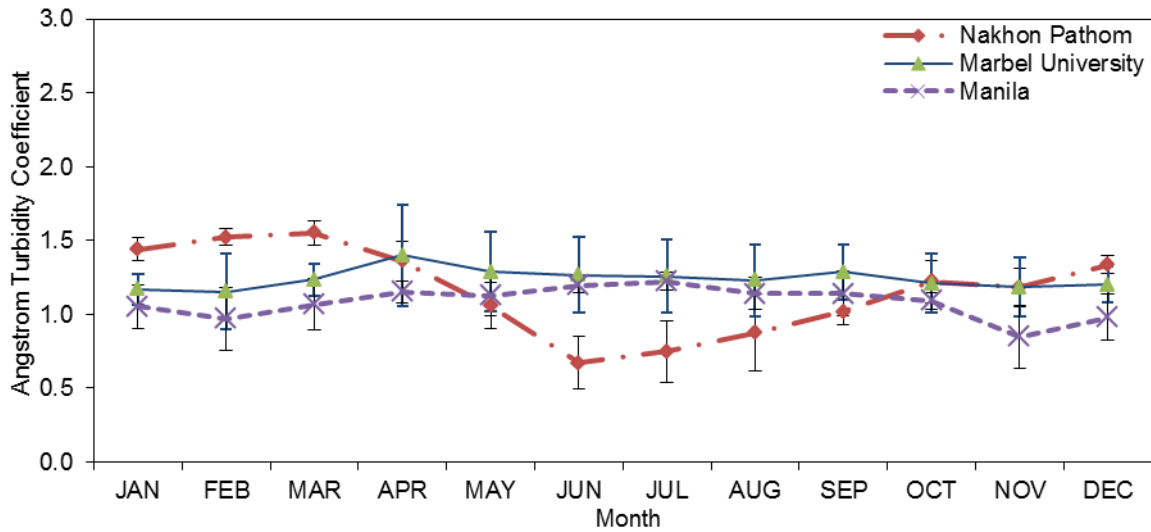


ภาพที่ 17 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปีที่สถานีมหาวิทยาลัยมะนิลา (2009-2017)



ภาพที่ 18 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom turbidity coefficient) ตามฤดูกาลในรอบปีที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดสงขลา (2009-2017)

ผู้วิจัยศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม ตามเวลาในรอบปีที่สถานีนครปฐม มหาวิทยาลัยมาเบลล์ และมะนิลา โดยการนำค่า  $\beta$  ที่ความยาวคลื่น 440-870 nm เฉลี่ยรายวันทั้งหมดมาเขียนกราฟกับเวลา ผลที่ได้แสดงไว้ในภาพที่ 8-19



ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบผลค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม ทั้ง 3 สถานี

### อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมตามเวลาในรอบปี พบว่า 2 สถานี คือ สถานีมะนิลา และ มหาวิทยาลัยมาเบลล์ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะสถานีทั้ง 2 ตั้งอยู่ใกล้ชายทะเล และฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็นละอองเกลือ ซึ่งพัดเข้าสู่ฝั่งตลอดทั้งปี นอกจากนี้บริเวณดังกล่าวมีฤดูฝนยาวนาน จึงมีการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลกเกือบตลอดทั้งปี ส่วนสถานีนครปฐมมีการแปรค่าอย่างมากตามฤดูกาล โดยมีค่าสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์หรือมีนาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูแล้ง และมีค่าต่ำสุดในเดือนมิถุนายน และกรกฎาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝน

### ข้อเสนอแนะ (Recommendation)

เนื่องจากสถานีวัดค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมในประเทศไทย และฟิลิปปินส์ปัจจุบันมีน้อย ดังนั้นผู้วิจัยเสนอแนะให้มีการจัดตั้งสถานีวัดเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ เพื่อคาดการณ์สภาพภูมิอากาศของภาคกลางในประเทศไทย และฟิลิปปินส์ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง (References)

Bilbao, J., Román, R., & Miguel, A. (2014). **Turbidity coefficients from normal direct solar irradiance in Central Spain.** Spain: University of Valladolid.

Calinoiu, D., Stefu, N., Paulescu, M., Trif-Tordai, G., Mares, O., Paulescu, E., et al. (2014). **Evaluation of errors made in solar irradiance estimation due to averaging the Angstrom turbidity coefficient.** Romania: University of Timisoara Mihai Viteazu.

Francesco E, Luigi L, Giulia P, Rosa Re and Carmine S. (2004). **a study on aerosol optical depths, Angstrom turbidity parameters and aerosol size distributions.** Atmospheric Environment. South Italy : Seasonal Variation of aerosols Properties

Janjai, S., Kumharn, W., & Laksanaboonsong, J. (2002). **Determination of Angstrom's turbidity coefficient over Thailand.** Thailand: Department of Physics Faculty of Science Silpakorn University Nakhon Pathom.

Lin, A., Zou, L., Wang, L., Gong, W., Zhu, H., et al. **Estimation of atmospheric turbidity coefficient  $\beta$  over Zhengzhou, China during 1961-2013 using an improved hybrid model.** China: Wuhan University.

Mavromatakis, F., & Franghiadakis, Y. (2006). **Direct and indirect determination of the Linke turbidity coefficient.** Greece: Technological Education Institute of Crete.

Salazar, G., Utrillas, P., Esteve, A., Martínez-Esteve, J., & Aristizabal, M. **Estimation of daily average values of the Angstrom turbidity coefficient  $\beta$  using a Corrected Yang Hybrid Model.** Spain: Salta National University.

Wang, L., Salazar, G. A., Gong, W., Peng, S., Zou, L., & Lin, A. (2014). **An improved method for estimating the Angstrom turbidity coefficient  $\beta$  in Central China during 1961-2010.** China: University Wuhan Hubei Province.

Warneck, P. (1988). International Geophysics Series. Academic Press, New York.