

การศึกษาการตกสะสมแห้งของไนโตรเจนเหนือพื้นที่ป่าชีวมณฑลสะแกราช

Dry Deposition of Nitrogen Over Sakaerat Biosphere Forest

ธีรนาถ พรหมสุวรรณ* พจนีย์ ชุมมงคล และ สร้อยดาว วินิจนันท์
สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทคัดย่อ

การศึกษาการตกสะสมแห้งของไนโตรเจนในบรรยากาศเหนือพื้นที่ป่าในประเทศไทยยังไม่มีเป็นที่แพร่หลายมากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการตกสะสมของไนโตรเจนซึ่งเป็นต้นกำเนิดของสารกรดในชั้นบรรยากาศทั้งหมดสี่ชนิดทั้งในรูปของอนุภาค คือ แอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรท (NO_3^-) และในรูปของก๊าซคือ แอมโมเนีย (NH_3) และไนตริกแอซิด (HNO_3) ตัวอย่างอากาศถูกเก็บด้วยอุปกรณ์ Filter packs ต่อเนื่อง 7 วันต่อเดือน โดยเก็บตัวอย่างในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2555 เป็นระยะเวลานาน 6 เดือน ที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ตัวอย่างที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนแต่ละชนิดในบรรยากาศโดยพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 มีค่าเท่ากับ 0.12, 0.16, 0.08 และ 0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ค่าฟลักซ์การตกสะสมของไนโตรเจนแต่ละชนิดเหนือพื้นที่ป่าของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.012, 0.019, 0.009 และ 0.014 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ตามลำดับ ทั้งนี้ความเข้มข้นของไนโตรเจนทุกชนิดมีค่าความเข้มข้นในช่วงเวลากลางวันสูงกว่าช่วงเวลากลางคืนเนื่องมาจากปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น กิจกรรมทางการเกษตร การจราจร และ สภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ: ไนโตรเจน ฟลักซ์การตกสะสมแห้ง ป่าชีวมณฑล

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail: teeranard__07@hotmail.com

Abstract

Current knowledge about atmospheric nitrogen dry deposition in Thailand is limited, especially over the biosphere forests. In this study, the atmospheric concentrations of nitrogen species (NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 and HNO_3) were quantified using four stage filter packs to collect air samples from July to December 2012 at Sakaerat Environmental Research Station, Nakonrachasima, in the northeast of Thailand. The average concentrations of NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 and HNO_3 were observed to be 0.12, 0.16, 0.08 and 0.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The nitrogen dry deposition flux of NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 and HNO_3 were evaluated to be 0.012, 0.019, 0.009 and 0.014 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, respectively. It was found that the concentrations of nitrogen species occurred during the daytime were higher than the nighttime, due to many factors such as agricultural and transportation activities as well as the meteorological conditions.

Keywords: Nitrogen, Dry deposition flux, Biosphere forest

บทนำ

ปัจจุบันประชากรโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดกิจกรรมทางการเกษตรปศุสัตว์ การขนส่งและอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลผลิตที่เพียงพอกับความต้องการของมนุษย์ โดยกิจกรรมต่างๆ เหล่านี้ล้วนเป็นแหล่งปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกสู่ชั้นบรรยากาศทั้งในรูปแบบของก๊าซและอนุภาค (Allen et al., 2011) สารดังกล่าวนี้สามารถตกลงสู่พื้นโลกได้ทั้งในรูปแบบของการตกสะสมเปียก คือการที่สารมลพิษในชั้นบรรยากาศตกลงสู่พื้นโลกพร้อมกับน้ำฝน และการตกสะสมแห้ง คือการที่สารมลพิษในชั้นบรรยากาศตกลงมาบนพื้นโลกในภาวะที่ไม่มีน้ำฝน หากมีการสะสมของมลสารนี้เป็นระยะเวลานานและมีปริมาณความเข้มข้นมาก จะส่งผลกระทบต่ออย่างร้ายแรงต่อระบบนิเวศ ไม่ว่าจะเป็น การเกิดฝนกรด ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Shen et al., 2009) และทำให้เกิดหมอกซึ่งบดบังการมองเห็น นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์โดยสารมลพิษเหล่านี้จะก่อให้เกิดโรคต่อระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นการศึกษาปริมาณความเข้มข้น แหล่งปล่อยและผลกระทบของไนโตรเจนต่อสิ่งมีชีวิตจึงมีความสำคัญเพื่อนำไปสู่การป้องกันและแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่าปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนแต่ละชนิดในชั้นบรรยากาศจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกิจกรรมของแหล่งปล่อยของแต่ละสถานที่ ช่วงเวลา สภาพภูมิอากาศ และความหนาแน่นของแหล่งปล่อย (Andersen and Hovmand, 1999) โดยอัตรา การตกสะสมของสารจะขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิอากาศ คุณสมบัติของสาร และลักษณะของพื้นที่รองรับสาร (Allen et al., 2011) จากเหตุผลดังกล่าวคณะผู้ทำวิจัยจึงได้ทำการศึกษาการตกสะสมแห้งของไนโตรเจนเหนือพื้นที่ป่าชีววัฒนธรรมสะแกราช โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณความเข้มข้น และคำนวณอัตรา

การตกสะสมของไนโตรเจนรวมเหนือพื้นที่ป่าชีวมณฑลสะแกกราช รวมทั้งศึกษาแหล่งปล่อยที่ส่งกระทบต่อพื้นที่ป่าชีวมณฑลสะแกกราช จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่อนุรักษ์สังคมพืชและสัตว์ในสภาวะของระบบนิเวศที่เป็นธรรมชาติ เพื่อรักษาไว้ซึ่งความหลากหลายทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาสถานที่ทำการเก็บตัวอย่าง

สถานที่ทำการเก็บตัวอย่างคือสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช จ.นครราชสีมา (ภาพที่ 1) มีเนื้อที่ประมาณ 80 ตารางกิโลเมตร (50,000 ไร่) พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาที่มีความสูงระหว่าง 720-770 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง สภาพป่าจะประกอบไปด้วย ป่าดิบ ป่าเต็งรัง ป่าไผ่ และป่าปลูก มีสัตว์ป่าประมาณ 380 ชนิด นอกเขตสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราชมีลักษณะการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันออกไป ประกอบด้วยพื้นที่ซึ่งมีชุมชนอาศัยอยู่ และพื้นที่ป่าไม้ซึ่งมีทั้งป่าธรรมชาติและป่าปลูก ส่วนใหญ่อยู่บริเวณภูเขาทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ของสถานีวิจัย ส่วนทางด้านใต้ซึ่งอยู่ในแอ่งวังน้ำเขียวเป็นพื้นที่เกษตรกรรมหลากหลายชนิด ได้แก่ ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย ounge ลำไย และลิ้นจี่



ภาพที่ 1 ที่ตั้งสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช จ.นครราชสีมา

2. การเตรียมอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างเพื่อวัดปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนในงานวิจัยนี้ ใช้อุปกรณ์ฟิวเตอร์แพค จำนวนสองชุด แต่ละชุดมีทั้งหมดสามชั้น เตรียมอุปกรณ์ฟิวเตอร์แพคโดยการบรรจุกระดาษกรองขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 mm ยี่ห้อ ADVANTEC NO. 51A ใส่ในอุปกรณ์ฟิวเตอร์แพคโดยชั้นที่หนึ่งใช้ กระดาษกรองชนิดเทฟลอนเพื่อเก็บอนุภาค NH_4^+ และ NO_3^- ชั้นที่สองใช้กระดาษกรองชนิดไนลอนเพื่อ เก็บก๊าซ HNO_3 และชั้นที่สามใช้กระดาษกรองชนิดเซลลูโลสซูบกรดพอสโพลิคเพื่อเก็บก๊าซ NH_3 อุปกรณ์ ฟิวเตอร์แพคทั้งสองชุดที่ถูกเตรียมไว้แล้วจะถูกนำไปติดตั้ง ณ หอเก็บตัวอย่างอากาศ ชุดที่หนึ่งติดตั้งที่ ที่ระดับความสูง 24 m และชุดที่สองติดตั้งที่ระดับความสูง 34 m โดยอุปกรณ์ฟิวเตอร์แพคทั้งสองชุดจะ ถูกเชื่อมต่อเข้ากับปั๊มดูดอากาศและก๊าซมิเตอร์เพื่อเตรียมเก็บตัวอย่าง

3. การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างเริ่มต้นในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมปี พ.ศ. 2555 แต่ละเดือนทำการเก็บ ตัวอย่างต่อเนื่อง 7 วัน โดยแต่ละวันแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือช่วงเวลากลางวันเวลา 6.00 - 18.00 นาฬิกา และช่วงเวลากลางคืนเวลา 18.00 - 6.00 นาฬิกาของวันถัดไป การเก็บตัวอย่างเริ่มโดยการเปิดปั๊มดูด อากาศผ่านอุปกรณ์ ฟิวเตอร์แพคด้วยอัตราการไหลคงที่ 10 L/min หลังจากครบกำหนดเวลาในการเก็บ ตัวอย่างของแต่ละช่วงเวลา ปิดปั๊มดูดอากาศ จดบันทึกเลขหน้ามิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิ ความเร็วลม วันที่ และเวลา แล้วถอดฟิวเตอร์แพคออกจากชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง ใช้ฟลอร์เชปคืบ กระดาษกรองแต่ละชั้นออกจากอุปกรณ์ฟิวเตอร์แพคไปใส่ไว้ในหลอดพลาสติกและแช่เย็นเพื่อป้องกันการ เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่อง

4. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของ NH_4^+ , NH_3 , HNO_3 และ NO_3^- ทำได้โดยการนำกระดาษกรอง ซึ่งอยู่ในหลอดพลาสติกมาทำการสกัด โดยการเติมน้ำกลั่นปริมาณ 20 mL ลงในหลอดพลาสติก นำไปเขย่า ด้วยเครื่อง โซนิกเตอรันาน 20 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยไซริงค์ฟิวเตอร์ นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนชนิดต่างๆ ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณไอออน (Ion chromatograph : IC) จากนั้นทำการคำนวณความเข้มข้นของไอออนในอนุภาคและก๊าซชนิดต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดปริมาณฟลักซ์การตกสะสมของไนโตรเจนแต่ละชนิดด้วยวิธี Aerodynamic gradient ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าฟลักซ์การตกสะสมของสารมลพิษด้วยวิธีการหาความแตกต่างของความเข้มข้นของสารมลพิษที่ระดับความสูงสองระดับ ดังสูตรต่อไปนี้ (Khoomsab and Khummongkol, 2010)

$$F = u^* c^*$$

เมื่อ ; F คือ ฟลักซ์การตกสะสมของสาร

u^* คือ ความเร็วแรงเสียดทาน

c^* คือ ความเข้มข้นของสารมลพิษ

$$\text{ซึ่ง } c^* = \frac{k (c_2 - c_1)}{\ln ((z_2 - d) / (z_1 - d)) - [\Psi_2(\zeta) - \Psi_1(\zeta)]}$$

และ ; k คือ Karman constant (= 0.4)

$C_2 - C_1$ คือ ผลต่างความเข้มข้นของมลพิษที่ความสูง z_2 และ z_1

Ψ คือ ค่าเสถียรภาพทางความร้อน

ความเร็วในการตกสะสมแห้งของสารมลพิษ (V_d) สามารถประเมินได้จากอัตราส่วนของฟลักซ์การตกสะสมของสารมลพิษนั้น (F) ต่อความเข้มข้นของสารมลพิษนั้นที่ความสูงอ้างอิง (C)

$$V_d = F/C$$

ผลและการอภิปรายผล

1. ข้อมูลเชิงอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลเชิงอุตุนิยมวิทยาที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม ดังแสดงในตารางที่ 1 จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 26.17°C ในเดือนพฤศจิกายน และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 21.49°C ในเดือนธันวาคม โดยอุณหภูมิส่งผลต่อการสะสมของมลพิษในอากาศ กล่าวคืออุณหภูมิที่ต่ำลงทำให้อากาศมีความหนาแน่นมาก เกิดความกดอากาศสูง ทำให้อากาศไม่ลอยตัวและกระจายไปยังบริเวณอื่น ส่งผลให้เกิดการสะสมของมลพิษอยู่ในบริเวณนั้นมากกว่าช่วงที่มีอุณหภูมิสูงซึ่งอากาศจะมีความหนาแน่นน้อย เกิดความกดอากาศต่ำ ทำให้อากาศลอยตัวและนำพาสารมลพิษกระจายตัวไปยังบริเวณอื่นได้ ส่วนปริมาณน้ำฝนมีปริมาณตกสะสมสูงสุดในเดือนกันยายนเท่ากับ 95 mm และไม่มีปริมาณน้ำฝนเลยในเดือนธันวาคม เมื่อพิจารณาการตกสะสมแห้ง ปริมาณน้ำฝนมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษ กล่าวคือ หากมีปริมาณน้ำฝนตกสะสมมาก ปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษในชั้นบรรยากาศที่วัดได้จากการตกสะสมแบบแห้งจะมีปริมาณน้อย เนื่องจากน้ำฝนเป็นตัวชะล้างสารมลพิษในชั้นบรรยากาศ (Yunchao et al., 2007)

ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 87.14 ในเดือนกันยายนเนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนตกสะสมมาก และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 77.71 ในเดือนธันวาคมเนื่องจากไม่มีปริมาณน้ำฝนตกสะสม ส่วนความเร็วลมพบว่า มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.22 m/s ในเดือนกรกฎาคม และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.65 m/s ในเดือนพฤศจิกายน โดยความเร็วลมส่งผลต่อค่าความเร็วแรงเสียดทาน (Friction velocity) ซึ่งบอกถึงความปั่นป่วนของกระแสลม หากมีความเร็วลมสูงค่าความเร็วแรงเสียดทานก็จะสูงตาม ส่งผลให้อากาศมีความปั่นป่วนมาก สารมลพิษจึงมีโอกาสดกสะสมลงสู่พื้นโลกมากขึ้น ทั้งนี้ความเร็วแรงเสียดทานยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความขรุขระของพื้นผิวโลก และลักษณะภูมิประเทศ

ตารางที่ 1 ข้อมูลเชิงอุตุนิยมวิทยา

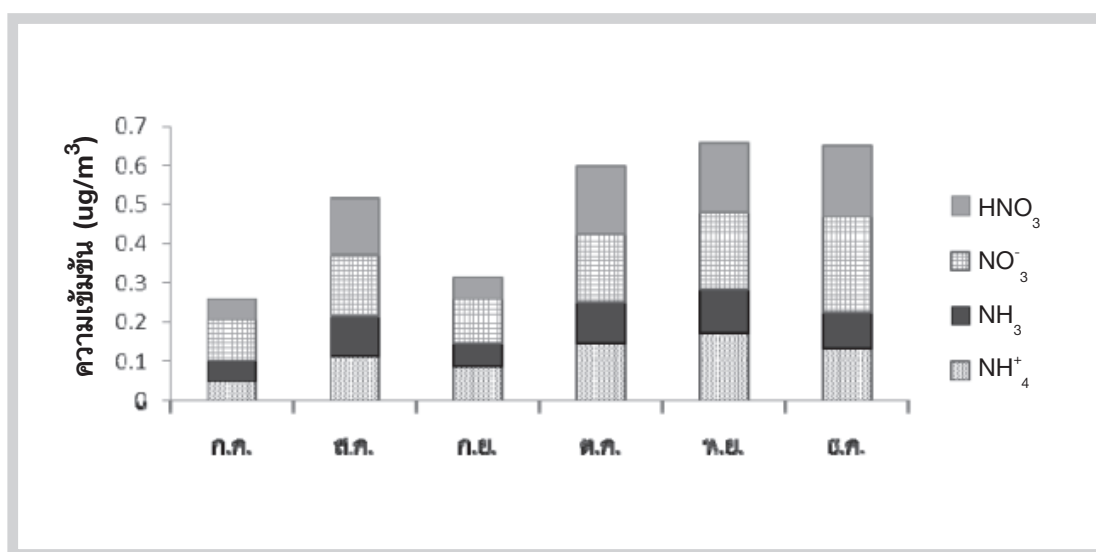
*เดือน	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาณน้ำฝน (mm)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความเร็วลม (m/s)
กรกฎาคม	25.87	9	77.85	1.22
สิงหาคม	25.45	48	86.71	0.69
กันยายน	24.90	95	87.14	1.07
ตุลาคม	24.74	1.2	78.71	0.66
พฤศจิกายน	26.17	33.7	81.28	0.65
ธันวาคม	21.49	0	77.71	0.73

* ข้อมูลปี พศ.2555

2. ปริมาณความเข้มข้นของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 ในชั้นบรรยากาศ

จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ NH_4^+ และ NO_3^- มีปริมาณเท่ากับ 0.12 และ 0.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โดยพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ NH_4^+ มีค่าสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคม และพฤศจิกายน คือ 0.14 และ 0.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ (ภาพที่ 2) เนื่องมาจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงมากกว่าเดือนอื่น อาจส่งผลให้ไนโตรเจนจากการใช้ปุ๋ยถูกปลดปล่อยออกมาได้มาก เนื่องจากมีพื้นที่การเกษตรบริเวณรอบๆ สถานีวิจัย ความเข้มข้นรายเดือนของ NO_3^- พบว่า มีปริมาณสูงในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายนเช่นเดียวกับ NH_4^+ คือ มีปริมาณเท่ากับ 0.17 และ 0.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ในเดือนธันวาคมปริมาณความเข้มข้นของ NO_3^- มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 2) เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอากาศหนาว ชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณรอบสถานีวิจัยทำการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อให้ความอบอุ่นเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีการเผาไร่นาซึ่งส่งผลต่อปริมาณความเข้มข้นของ NO_3^- เช่นกัน เนื่องจากไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ที่เกิดจากการเผาไหม้จะไปรวมตัวกับโอโซนในชั้นบรรยากาศและถูกออกซิไดซ์กลายเป็น NO_3^- ได้

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ NH_3 และ HNO_3 มีปริมาณเท่ากับ 0.08 และ $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โดยพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ NH_3 มีค่าสูงที่สุดในช่วงเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน คือ 0.11 และ $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้แอมโมเนียจากปุ๋ยถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศได้มาก นอกจากการเกษตรจะเป็นแหล่งปล่อย NH_3 ที่สำคัญแล้ว การย่อยสลายของเน่าเสียจากการทำปศุสัตว์ การฝังกลบขยะ และของเน่าเสียจากบ้านเรือนที่ตั้งอยู่โดยรอบสถานีวิจัยยังเป็นแหล่งปล่อย NH_3 ที่สำคัญเช่นเดียวกัน (Wolff et al., 2010) จากการศึกษาพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของ NH_4^+ มีปริมาณสูงกว่า NH_3 อาจเนื่องมาจาก NH_3 มีคุณสมบัติสามารถละลายน้ำได้ดี จึงเกิดการรวมตัวของ NH_3 กับโมเลกุลของน้ำในชั้นบรรยากาศเกิดเป็น NH_4^+ ได้ ส่วนปริมาณความเข้มข้นของ HNO_3 มีค่าสูงที่สุดในเดือนธันวาคมคือ $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของ NO_3^- (ภาพที่ 2) ซึ่งมีปริมาณสูงที่สุดในเดือนธันวาคมเช่นกัน เนื่องมาจาก HNO_3 เกิดจากปฏิกิริยาทุติยภูมิ (secondary photochemical reaction) (Shen et al., 2009) โดย NO_2 ที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงเพื่อเตรียมการเพาะปลูก หรือเพื่อให้ความอบอุ่นในฤดูหนาวจะรวมตัวกับน้ำในชั้นบรรยากาศเกิดเป็น HNO_3

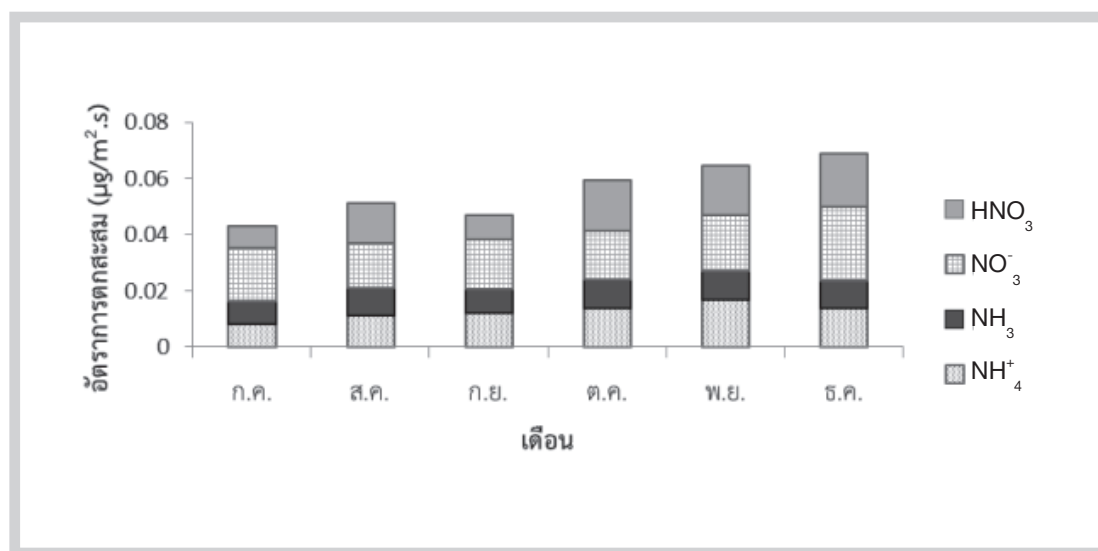


ภาพที่ 2 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3

3. ค่าพลักซ์การตกสะสมของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3

ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งสี่ชนิดมีปริมาณสูงที่สุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม ส่งผลให้อัตราการตกสะสมของไนโตรเจนทั้งสี่ชนิดมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 3) เนื่องจากอัตราการตกสะสมของสารที่ประเมินด้วยวิธี Aerodynamic gradient มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นเอตต์ และค่าความเร็วแรงเสียดทาน โดยอัตราการตกสะสมเฉลี่ยรายเดือนของ NO_3^- มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $0.019 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ รองลงมาเป็น HNO_3 , NH_4^+ และ NH_3 มีค่าเท่ากับ 0.014, 0.012 และ $0.009 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ตามลำดับซึ่งสอดคล้องกับปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของไนโตรเจน

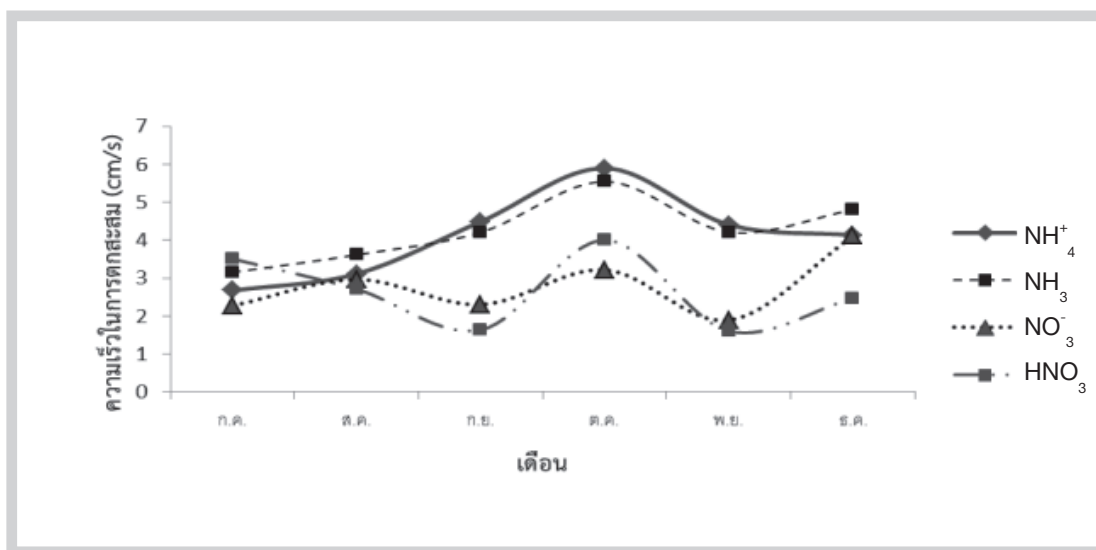
อัตราการตกสะสมรายเดือนของ NH_4^+ และ NH_3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.016 และ $0.010 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ตามลำดับ ในเดือนพฤศจิกายน อัตราการตกสะสมรายเดือนของ NO_3^- และ HNO_3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.026 และ $0.019 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ตามลำดับ ในเดือนธันวาคม (ภาพที่ 3) เนื่องจากเป็นฤดูหนาว ชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณโดยรอบสถานีวิจัยทำการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลและเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อให้ความอบอุ่น และมีการเผาไรนาเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลต่ออัตราการตกสะสมของ NO_3^- และ HNO_3 (Shen et al., 2009) จากภาพที่ 3 พบว่า อัตราการตกสะสมของไนโตรเจนทุกชนิดมีปริมาณต่ำในเดือนกันยายน มีสาเหตุจากฝนที่ตกเกือบทุกวันที่ทำให้การเก็บตัวอย่าง ส่งผลให้ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนทุกชนิดมีปริมาณน้อย เนื่องจากน้ำฝนได้ชะล้างมลพิษไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศให้ตกลงสู่พื้นโลกในรูปแบบเปียกมากกว่าการตกสะสมแห้ง (Hao et al., 2007)



ภาพที่ 3 อัตราการตกสะสมเฉลี่ยรายเดือนของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3

4. ความเร็วในการตกสะสมของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3

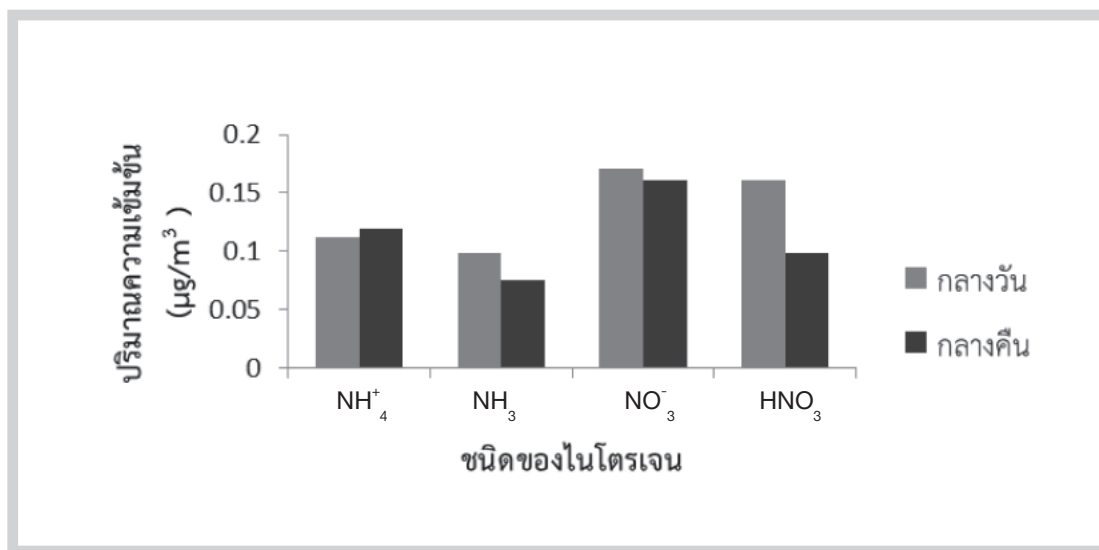
ความเร็วในการตกสะสมรายเดือนของไนโตรเจนประเมินได้จากอัตราส่วนของอัตราการตกสะสมต่อความเข้มข้นของสารมลพิษนั้นที่ความสูงอ้างอิง ($V=F/C$) จากการศึกษาพบว่า ความเร็วในการตกสะสมเฉลี่ยรายหกเดือนของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 มีค่าเท่ากับ 4.1, 2.8, 4.2 และ 2.6 cm/s ตามลำดับ โดยความเร็วในการตกสะสมของ NH_4^+ , NH_3 และ HNO_3 มีค่าสูงที่สุดในเดือนตุลาคมคือ 5.8, 5.4 และ 4.0 cm/s ตามลำดับ ส่วนความเร็วในการตกสะสมของ NO_3^- มีค่าสูงที่สุดในเดือนธันวาคมคือ 4.1 cm/s (ภาพที่ 6) โดยความเร็วในการตกสะสมของสารขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา (ความเร็วลม, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, ภูมิประเทศ และ ความเสถียรภาพของอากาศ) ปัจจัยด้านพื้นผิวรองรับ (surface aerodynamic roughness, displacement height และ canopy height, ความเป็นกรด-ด่าง, ความชื้น, ความไม่ชอบน้ำ และ ความพรุน) และคุณสมบัติของวัสดุ (ปฏิกิริยาทางเคมี, ความสามารถในการละลายน้ำ, เส้นผ่านศูนย์กลาง, ประจุที่พื้นผิว, ความหนาแน่น, สัมประสิทธิ์การแพร่, Brownian motion, impaction และ interaction) (Khoomsab and Khummongkol, 2010)



ภาพที่ 4 ความเร็วในการตกสะสมเฉลี่ยรายเดือนของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3

5. ความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นระหว่างช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืน

จากการเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายหกเดือนของ NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 ระหว่างช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางคืนพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งสามชนิดในช่วงเวลากลางวันมีค่าสูงกว่าช่วงเวลากลางคืน (ภาพที่ 5) ซึ่งสอดคล้องกับการทำกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การทำการเกษตร การจราจร การเผาชีวมวลหรือขยะ และการอุตสาหกรรม ซึ่งเกิดในช่วงเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืนโดยปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายหกเดือนของ NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 ในช่วงเวลากลางวันมีค่ามากกว่าช่วงเวลากลางคืนอยู่ 1.06, 1.30 และ 1.63 เท่าตามลำดับ ส่วนปริมาณความเข้มข้นของ NH_4^+ พบว่า มีปริมาณความเข้มข้นในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าช่วงเวลากลางวันอยู่ 1.06 เท่า (ภาพที่ 5) ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากในช่วงเวลากลางคืนอุณหภูมิของอากาศเย็นลง น้ำในบรรยากาศเกิดการกลั่นตัวและทำปฏิกิริยากับ NH_3 ซึ่งถูกปล่อยออกมาแหล่งกำเนิดต่างๆ และเกิดเป็น NH_4^+ ได้มากขึ้น



ภาพที่ 5 กราฟเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายหกเดือนของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 ระหว่างช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืน

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยรายหกเดือนของ NO_3^- มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $0.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาเป็น HNO_3 , NH_4^+ และ NH_3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.13, 0.12 และ $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โดย NH_4^+ และ NH_3 มีปริมาณความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 0.17 และ $0.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในเดือนพฤศจิกายน เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด ส่งผลให้สารทั้งสองชนิดถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดได้มากที่สุด ส่วนปริมาณความเข้มข้นของ NO_3^- และ HNO_3 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 0.24 และ $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ในเดือนธันวาคม เนื่องจากเป็นช่วงเข้าสู่ฤดูหนาว มีการเผาเชื้อเพลิงเพื่อให้ความอบอุ่นและการเผาไรนาเป็นจำนวนมาก จากการประเมินอัตราการตกสะสมของไนโตรเจนทั้งสี่ชนิดด้วยวิธี Aerodynamic gradient พบว่าอัตราการตกสะสมของสารมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้น โดยอัตราการตกสะสมเฉลี่ยรายหกเดือนของ NO_3^- มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ $0.019 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ รองลงมาเป็น HNO_3 , NH_4^+ และ NH_3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.014, 0.012 และ $0.009 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ตามลำดับ และค่าความเร็วในการตกสะสมเฉลี่ยรายหกเดือนของ NH_4^+ , NO_3^- , NH_3 และ HNO_3 มีค่าเท่ากับ 4.1, 2.8, 4.2 และ $2.6 \text{ cm}/\text{s}$ ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ กิจกรรมของมนุษย์ กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ และแหล่งกำเนิดรอบๆ สถานที่เก็บตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเกษตร บ้านพักอาศัย การจราจร และอุตสาหกรรม

ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลานาน 6 เดือนต่อเนื่องกัน ทำให้เห็นความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของสารเฉพาะฤดูฝนและช่วงเข้าสู่ฤดูหนาว ไม่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงในทุกฤดูกาล เพราะฉะนั้นหากมีการศึกษาต่อไปในอนาคต ควรเก็บตัวอย่างต่อเนื่องกันอย่างน้อย 1 ปี เพื่อให้เห็นความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นของสารในแต่ละฤดูกาล
2. การเก็บตัวอย่างเพื่อประเมินปริมาณความเข้มข้นและอัตราการตกสะสมแบบแห้งโดยการใช้อุปกรณ์ Filter Packs ควรระมัดระวังการปนเปื้อนของสารบนกระดาษกรองและระหว่างขั้นตอนของการสกัดซึ่งอาจทำให้ปริมาณความเข้มข้นของสารที่วิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้
3. การเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ Filter Packs มีข้อจำกัดในกรณีที่อนุภาคมีขนาดใหญ่หรือมีปริมาณมากเพราะฉะนั้นควรมีการศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างแบบอื่นควบคู่ไปด้วยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และลดความคลาดเคลื่อน
4. ควรทำการศึกษายปริมาณความเข้มข้นของไนโตรเจนเหนือพื้นที่ป่าชีววัฒนธรรมและเกษตรต่อเนื่องในอนาคตเพื่อทำการเฝ้าระวัง และศึกษามาตรการบังคับใช้เพื่อลดมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Allen, A.G., Machado, C.M.D., & Cardoso, A.A. (2011). Measurements and modeling of reactive nitrogen deposition in southeast Brazil. *Environmental Pollution*, 159
- Anderson, H.V., & Hovmand M.F. (1999). Review of dry deposition measurements of ammonia and nitric acid to forest. *Forest Ecology and Management*, 114, 5-18
- Hao, Y., Gao, Z., Yang, Z., Fang, M., & Feng, J. (2006). Seasonal variations and sources of various elements in the atmospheric aerosols in Qingdao, China. *Atmospheric Research*, 85, 27-37
- Khoomsab, K., & Khummongkol, P. (2010). Monitoring of sulfate and nitrate fluxes above tropical forest using aerodynamic gradient method. *International conference in environmental 2010 (ICENV 2010)*
- Shen, J.L., Tang, A.H., Liu, X.J., Fangmeier, A., Goulding, K.T.W., & Zhang F.S. (2009). High concentrations and dry deposition of reactive nitrogen species at two sites in the North China Plain. *Environmental Pollution*, 157
- Wolff, V., Trebs, I., Ammann, C., & Meixner, F.X. (2010). Aerodynamic gradient measurements of the $\text{NH}_3\text{-HNO}_3\text{-NH}_4\text{NO}_3$ triad using a wet chemical instrument: an analysis of precision requirements and flux errors. *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 187-208
- Yunchao, H., Zhigang, G., Zuosheng, Y., Ming, F. & Jialiang, F. (2007). Seasonal variations and sources of various elements in the atmospheric aerosols in Qingdao, China. *Atmospheric Research*, 85, 27-37.

คณะผู้เขียน

นางสาวธีรนาถ พรหมสุวรรณ

นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

e-mail: teeranard__07@hotmail.com

รองศาสตราจารย์ ดร.พจนีย์ ชุมมงคล

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

e-mail: pojanie.khu@kmutt.ac.th

รองศาสตราจารย์ ดร.สร้อยดาว วินจันทรรัตน์

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

e-mail: soydoa.vin@kmutt.ac.th