

**การประเมินการตกสะสมของสารกรดแบบเปียกและแห้งด้วยวิธีธรรมชาติ  
เหนือป่าชีวมณฑลสะแกราช**  
**Evaluation of Wet and Dry Acid Deposition using Natural Method Over  
the Sakaerat Biosphere Forest**

**นิสากร มีจัน\* พจนีย์ ชุมมงคล และสร้อยดาว วินิจนันท์รัตน์**  
สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปริมาณการตกสะสมของสารกรดเหนือป่าชีวมณฑลสะแกราช สถานที่เก็บตัวอย่างตั้งอยู่ที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา การตกสะสมของสารกรดมีทั้งแบบเปียก (สารกรดในน้ำฝน) และแบบแห้ง (สารกรดในอากาศ) ในการตรวจวัดการตกสะสมของสารกรดแบบเปียก น้ำฝนจะถูกเก็บด้วยภาชนะในที่โล่งในขณะที่ฝนตก การเก็บแบบแห้งใช้วิธีเก็บตัวอย่างใบไม้มาวิเคราะห์ในทุก 10 วัน ระยะเวลาเก็บตัวอย่างนาน 6 เดือน ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ. 2555 ตัวอย่างที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการตกสะสมของสารกรดด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟี ผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างน้ำฝนมีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.15 mS/m ค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 5.54 ซึ่งแสดงสภาวะความเป็นฝนกรดเล็กน้อย ค่าฟลักซ์การตกสะสมแบบเปียกมีค่าเฉลี่ยของไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ), ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ฟอเมท ( $\text{HCOO}^-$ ) และอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) เท่ากับ 0.0366, 0.0466, 0.0014 และ 0.0335  $\text{mg/m}^2\cdot\text{day}$  ตามลำดับ ส่วนการตกสะสมของสารกรดแบบแห้งพบว่า มีค่าฟลักซ์การตกสะสมเฉลี่ยเท่ากับ 0.0112, 0.0413, 0.0013 และ 0.0411  $\text{mg/m}^2\cdot\text{day}$  ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าฟลักซ์การตกสะสมของสารกรดจะแตกต่างกันในแต่ละเดือน ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น ปัจจัยทางภูมิอากาศ แหล่งปลดปล่อยมลพิษ และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีววิทยา

**คำสำคัญ :** การตกสะสมเปียก การตกสะสมแห้ง ป่าชีวมณฑลสะแกราช

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

## Abstract

The aim of this study was to investigate the acid deposition over the Sakaerat biosphere forest located at Sakaerat Environmental Research Station in Nakhon Ratchasima Province. The acid deposition composed of wet deposition (acid components in the rain) and dry deposition (acid components in the air). For the wet deposition, the rain samples were collected by bulk method in the open area. For the dry deposition, the tree leaves were collected every 10 day for 6 months from June to November 2012. All samples were analysed using an Ion Chromatography. The average electrical conductivity value of the wet sample was 0.15 mS/m. The pH value of 5.54 indicated a slight acidic condition. The average wet deposition of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCOO}^-$  and  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  was determined to be 0.0366, 0.0466, 0.0014 and 0.0335  $\text{mg/m}^2\cdot\text{day}$ , respectively. The average dry deposition of the aforementioned ion components were found to be 0.0112, 0.0413, 0.0013 and 0.0411  $\text{mg/m}^2\cdot\text{day}$ , respectively. The monthly variation of acid deposition could be under some influencing factors such as the climatic conditions, the emission sources and the chemical and biological processes.

**Keywords :** Wet deposition, Dry deposition, Sakaerat biosphere forest

## บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังมีการพัฒนาความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคมในอัตราที่สูงเกิดการขยายตัวด้านอุตสาหกรรมและการคมนาคมขนส่งอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงต่างๆ เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดการปลดปล่อยสารมลพิษในสภาพแก๊สหรืออนุภาคแขวนลอยออกมาสู่บรรยากาศ สารมลพิษที่เป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดสารกรดในบรรยากาศ (Acid Precursors) ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด ชนิดแรก คือ แก๊สออกไซด์ของซัลเฟอร์ ซึ่งรวมถึงแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) และแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ ( $\text{SO}_3$ ) และชนิดที่สองคือ แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) ซึ่งรวมถึงแก๊สไนตริก ออกไซด์ ( $\text{NO}$ ) และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) (Chulalongkorn University, 2007) การตกสะสมของสารกรดเกิดได้ 2 แบบคือ แบบแรก การตกสะสมเปียก (Wet Deposition) เป็นกระบวนการที่แก๊ส  $\text{SO}_2$  และแก๊ส  $\text{NO}_x$  ซึ่งเป็นสารกรดหลักที่ถูกปล่อยออกจากกระบวนการเผาไหม้ทำปฏิกิริยากับความชื้นในบรรยากาศกลายเป็นสารประกอบที่มีสภาพเป็นกรดและเมื่อรวมตัวกับเมฆมากขึ้นก็จะกลายเป็นฝน ตกลงมาสู่พื้นดิน เรารู้จักกันดีในชื่อ ฝนกรด แบบที่สอง การตกสะสมแห้ง (Dry Deposition) เป็นการตกของกรดในสภาวะที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ การตกของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน ฝนกรดเมื่อตกลงมาในแหล่งน้ำและผิวดิน

จะทำให้หน้าและดินมีความเป็นกรดมากขึ้น เกิดความเสียหายกับพืช สัตว์ มนุษย์ และระบบนิเวศวิทยา รวมทั้งก่อให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุต่างๆ (Pradab, 2005)

จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่า ปริมาณการตกสะสมของสารกรดบนใบไม้เพิ่มขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกับอากาศสภาพแวดล้อมในช่วงระยะเวลาหนึ่ง (Watanabe at al., 2008) โดยสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม มีผลต่อกระตักสะสมของสารกรด (Skeffington at al., 2012) ทั้งนี้การตกสะสมของสารกรดในป่าไม้มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะห่างของขอบป่า (Devlaeminck at al., 2005) ดังนั้น การตกสะสมของสารกรดจึงกลายเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมระยะยาวระดับประเทศ ภูมิภาค และโลก โดยสารกรดในบรรยากาศและการตกสะสมของกรดเป็นปัญหาที่รุนแรงในประเทศอุตสาหกรรมหรือประเทศที่พัฒนาแล้ว การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของการตกสะสมสารกรดจึงมีความสำคัญ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษถึงปริมาณการตกสะสมของสารกรดแบบเปียกและแห้งด้วยวิธีธรรมชาติโดยใช้สถานที่เก็บตัวอย่างในพื้นที่ป่าชีวมณฑลสะแกกราช รวมทั้งศึกษาปัจจัยทางภูมิอากาศที่ส่งผลต่อปริมาณการตกสะสมของสารกรดเหนือป่าชีวมณฑลสะแกกราชและแหล่งปลดปล่อยสารกรดที่จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ป่าชีวมณฑลสะแกกราช

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. สถานที่เก็บตัวอย่าง

สถานที่เก็บตัวอย่างตั้งอยู่ที่สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกกราช จังหวัดนครราชสีมา มีเนื้อที่ประมาณ 48,800 ไร่ หรือ 78.08 ตารางกิโลเมตร มีความสูงอยู่ระหว่าง 280 - 762 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง สภาพภูมิอากาศตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นเนื่องจากมีอุณหภูมิและความชื้นในอากาศสูง มีปริมาณฝนค่อนข้างมาก สภาพป่าจะประกอบไปด้วย ป่าดิบ ป่าเต็งรัง ป่าไผ่ และป่าปลูก โดยจุดเก็บตัวอย่างตั้งอยู่ในพื้นที่ของป่าเต็งรัง (Sakaerat environmental research station, 2012)



ภาพที่ 1 ที่ตั้งสถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จ.นครราชสีมา

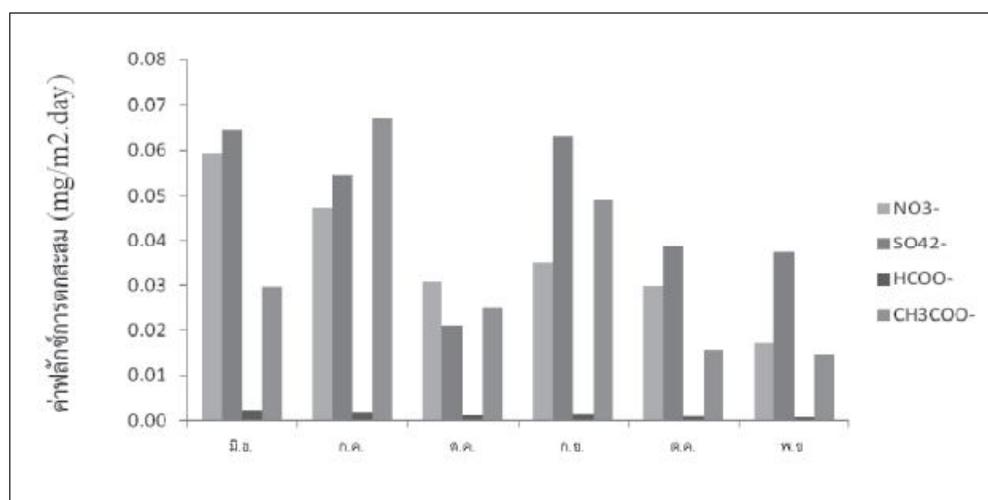
## 2. การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

การศึกษาการตกสะสมเปียกใช้วิธีเก็บตัวอย่างน้ำฝนมาวิเคราะห์ ด้วยอุปกรณ์เก็บน้ำฝนแบบปริมาณมาก (bulk) โดยทำการเก็บน้ำฝนทุกวันที่มีฝนตก นับเวลาเริ่มต้นของการเก็บตัวอย่างที่ 7.00 น. จนถึง 7.00 น. ของวันถัดไป อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำฝนจะวางในที่โล่ง บนหอคอยสูงจากพื้นดิน 36 เมตร เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสิ่งรอบข้าง หลังจากเก็บตัวอย่างน้ำฝนแล้วจะทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง จากนั้นส่งตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวัดค่าความนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ทันทีหลังจากได้รับตัวอย่าง จากนั้นกรองตัวอย่างน้ำฝนผ่านแผ่นกรองเมมเบรน ขนาด  $0.45 \mu\text{m}$  น้ำที่ได้จากการกรองจะถูกเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $4^\circ\text{C}$  ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกรดด้วยเครื่อง Ion Chromatography ส่วนการเก็บตัวอย่างการตกสะสมของสารกรดแห้งจะใช้วิธีศึกษาปริมาณการตกสะสมบนใบไม้ในช่วงเวลาที่ไม่ฝนตก โดยการเก็บใบไม้จากต้นไม้ในป่าชีววัฒนธรรมสะแกราช ครั้งละ 20 ใบ ทุก 10 วัน หลังจากเก็บตัวอย่างใบไม้แล้วจะทำการวัดพื้นที่ผิวของใบไม้เพื่อการคำนวณปริมาณการตกสะสมของสารกรดต่อพื้นที่ผิวใบไม้ จากนั้นส่งตัวอย่างไปยังห้องปฏิบัติการเพื่อทำการสกัดด้วยน้ำ Deionized water ที่มีค่าความนำไฟฟ้าไม่เกิน  $0.15 \text{ mS/m}$  ในปริมาตร 20 ml จากนั้นกรองน้ำสกัดด้วยการผ่านชุดกรองที่มีขนาด  $0.45 \mu\text{m}$  น้ำที่ได้จากการกรองจะถูกเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ  $4^\circ\text{C}$  ก่อนนำไปวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารกรด ในการวิเคราะห์สารกรดนั้นจะวัดค่าไอออนลบของไนเตรต ( $\text{NO}_3^-$ ), ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), ฟอเมท ( $\text{HCOO}^-$ ) และอะซิเตท ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) ด้วยวิธีการ Isocatic (อุณหภูมิ และอัตราการไหลเฉลี่ยตลอด 1 รอบ) ด้วยเครื่อง Ion Chromatography (Pradab, 2012)

## ผลการศึกษาและการอภิปราย

### 1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณการตกสะสมของสารกรดแบบเปียก

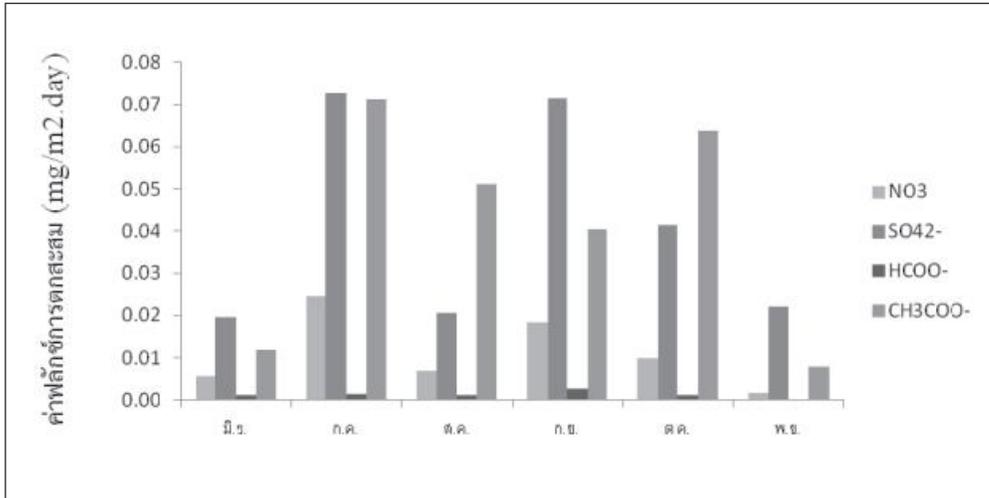
ผลการศึกษาจากจำนวนตัวอย่างน้ำฝนทั้งหมด 70 ตัวอย่าง พบว่า ตัวอย่างน้ำฝนมีค่าความนำไฟฟ้าเฉลี่ย 0.15 mS/m และค่าความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ย 5.54 ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงแนวโน้มสถานะความเป็นฝนกรด (ค่าต่ำกว่า 5.6 แสดงสถานะฝนกรด) ค่าฟลักซ์การตกสะสมของสารกรดแบบเปียกมีค่าเฉลี่ย 6 เดือนจากสูงสุดไปต่ำสุดดังนี้  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{CH}_3\text{COO}^- > \text{HCOO}^-$  โดยมีค่าเท่ากับ 0.0466, 0.0366, 0.0335 และ 0.0014  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{day}$  ตามลำดับ และค่าฟลักซ์ของ  $\text{SO}_4^{2-}$  มีค่าสูงสุดในเกือบทุกเดือนที่ตรวจวัด ยกเว้นเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมที่  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  และ  $\text{NO}_3^-$  สูงสุด ตามลำดับ



ภาพที่ 2 ปริมาณการตกสะสมของสารกรดแบบเปียกเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่ป่าสะแกราช

### 2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณการตกสะสมของสารกรดแบบแห้ง

ผลการศึกษาด้วยวิธีตรวจวัดปริมาณการตกสะสมของสารกรดบนใบไม้พบว่า ค่าฟลักซ์ของการตกสะสมของสารกรดแบบแห้งมีค่าเฉลี่ย 6 เดือน จากค่าสูงสุดไปต่ำสุดดังนี้  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{HCOO}^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$  โดยมีค่าเท่ากับ 0.0413, 0.0197, 0.0411 และ 0.0013  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{day}$  ตามลำดับ ในเดือนมิถุนายน กรกฎาคม กันยายน และพฤศจิกายน จะให้ค่าฟลักซ์การตกสะสมของ  $\text{SO}_4^{2-}$  สูงที่สุดในเดือนสิงหาคมและตุลาคม จะให้ค่าฟลักซ์การตกสะสมของ  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  สูงที่สุด สาร  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  เป็นกรดอินทรีย์ซึ่งแสดงถึงกระบวนการทางชีววิทยาในน้ำฝนเกิดขึ้นสูงในช่วงการเก็บตัวอย่างน้ำฝนในขณะนั้น ซึ่งควรได้รับการศึกษาถึงอิทธิพลของกรดชนิดนี้ต่อไป

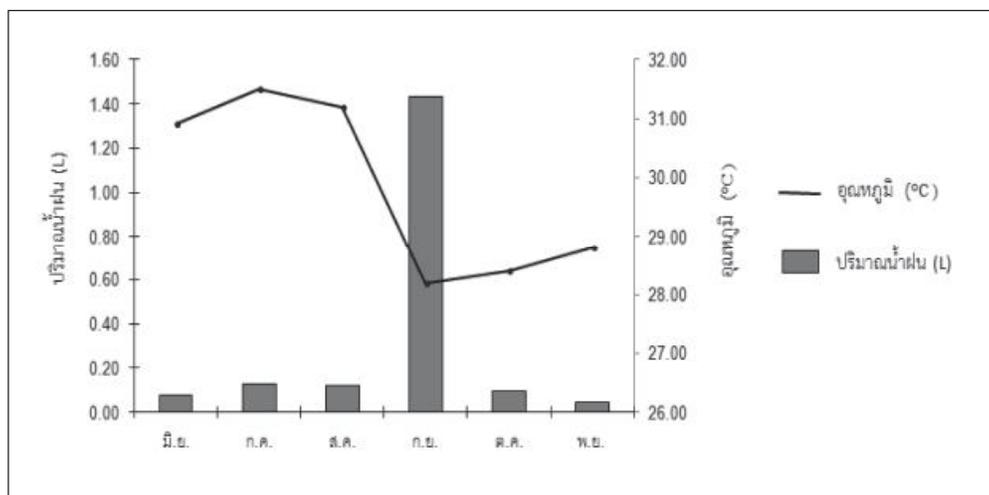


ภาพที่ 3 ปริมาณการตกสะสมของสารกรดแบบแห้งเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่ป่าสะแกราช

จากการสำรวจพื้นที่เก็บตัวอย่าง พบว่า แหล่งกำเนิดของสารกรดน่าจะมาจากการเผาไม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากภาคขนส่งและอุตสาหกรรม เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างตั้งอยู่ไม่ไกลจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของสารประกอบซัลเฟตและไนเตรต นอกจากนี้การเผาไม้เชื้อเพลิงของรถประเภทต่างๆ จากการจราจรน่าจะเป็นอีกสาเหตุหลักที่สำคัญที่ทำให้เกิดสารประกอบซัลเฟตและไนเตรตเนื่องจากพื้นที่ศึกษาอยู่ใกล้กับทางหลวง 304 ซึ่งมีการจราจรหนาแน่นมากพอสมควร

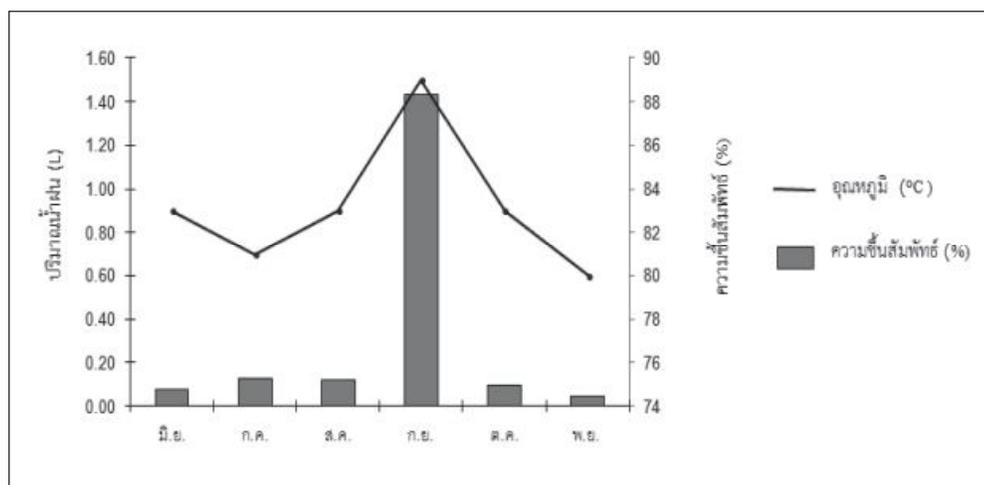
### 3. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนกับอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

วิเคราะห์ผลของปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ต่อปริมาณการตกสะสมของสารกรด ซึ่งพบว่าตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณการตกสะสมของสารกรด ปริมาณน้ำฝนกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทำการตรวจวัดในช่วงเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายนในพื้นที่ป่าสะแกราชแสดงความสัมพันธ์ว่าเมื่อมีปริมาณน้ำฝนมากในรอบเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยจะลดลงในขณะที่ปริมาณการแปรเปลี่ยนของสารกรดที่ตกสะสมบนพื้นป่าทั้งแบบเปียกและแบบแห้งไม่มีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4 ปริมาณน้ำฝนกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทำการตรวจวัดในช่วงเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน

ค่าความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนในช่วงเดือนที่ทำการตรวจวัด พบว่า ความสัมพันธ์ไม่มีผลต่อปริมาณการตกสะสมเช่นกัน แต่ค่าจะไปในแนวทางเดียวกับปริมาณน้ำฝน เพราะหลังฝนตกจะมีความชื้นสูงในบรรยากาศ ดังนั้น ตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณการตกสะสมของสารกรดน่าจะมาจากแหล่งปล่อยที่อยู่ใกล้อาณาบริเวณตรวจวัดโดยตรง



ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำฝนกับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยที่ทำการตรวจวัดในช่วงเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน

## สรุปผล

จากการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำฝนและใบไม้ในพื้นที่ศึกษา ณ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา ที่ระยะเวลาเก็บตัวอย่างนาน 6 เดือน ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายนปี พ.ศ. 2555 พบว่า ค่าฟลักซ์การตกสะสมของสารแบบเปียกมีค่าเฉลี่ยของ  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{CH}_3\text{COO}^- > \text{HCOO}^-$  โดยมีค่าเท่ากับ 0.0466, 0.0366, 0.0335 และ 0.0014  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{day}$  ตามลำดับ ค่าฟลักซ์การตกสะสมของสารกรดแบบแห้งมีค่าเฉลี่ยของ  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{HCOO}^- > \text{CH}_3\text{COO}^-$  โดยมีค่าเท่ากับ 0.0413, 0.0197, 0.0411 และ 0.0013  $\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{day}$  ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าฟลักซ์การตกสะสมของสารกรดจะแตกต่างกันในแต่ละเดือน ซึ่งมีผลมาจากปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่น ปัจจัยทางภูมิอากาศ แหล่งปลดปล่อยมลพิษ และกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและชีววิทยา

## ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำฝน ควรทำการวัดค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดต่างทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ผลการวิจัยมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ทั้งนี้เพราะค่าความนำไฟฟ้าและค่าความเป็นกรดต่างจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ
2. การวิเคราะห์ตัวอย่างใบไม้ ควรทำการเก็บตัวอย่างใบไม้ในวันที่ไม่มีฝนตก เพื่อป้องกันการชะล้างของน้ำฝน และเมื่อเก็บตัวอย่างใบไม้แล้วต้องเก็บไว้ในถุงที่มิดชิดเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อม
3. ควรทำการติดตามตรวจสอบการตกสะสมของสารกรดอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาสถานการณ์และแนวโน้มการตกสะสมของสารกรดในพื้นที่ป่าชีวมณฑลสะแกราชต่อไป เพราะข้อมูลที่มีอย่างน้อยจึงไม่สามารถสรุปผลได้แน่นอน

## เอกสารอ้างอิง

- Chulalongkorn University. (2007). *Air pollution treatment system. Bangkok : Air pollution.* (in Thai)
- Devlaeminck, R., Schrijver, A., & Hermy, M. (2005). Variation in throughfall deposition across a deciduous beech (*Fagus sylvatica* L.) forest edge in Flanders, *Journal of Science of the Total Environment*, 337, 241 - 252.
- Sakaerat environmental research station (2012). *Location and Area* Retrieved July 2, 2012, From <http://www.tistr.or.th/sakaerat/ADDRESS.HTM>. (in Thai)

- Pradab, N. (2005). *Study of acid deposition in western region of Thailand*. (in Thai)
- Pradab, N. (2012). *Data collection and sample analysis of acid accumulation in central part of Thailand*. Bangkok : Data collection and sample analysis of rain. (in Thai)
- Skeffington, R.A., & Hill , T.J. (2012). The effects of a changing pollution climate on throughfall deposition and cycling in a forested area in southern England, *Journal of Since of the Total Environment*, 434, 28 - 38.
- Watanabe, M., Takamatsu, T., Koshikawa, M., Yamamura, S., & Inubushi, K. (2008). Dry deposition of acidic air pollutants to tree leaves, determined by a modified leaf-washing technique, *Journal of Atmospheric Environment*, 42, 7339 - 7347.

## คณะผู้เขียน

### นิสากร มีจั่น

นักศึกษาปริญญาโท สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140  
e-mail: nongtonmai@hotmail.com

### รศ.ดร.พจนีย์ ชุมมงคล

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ประจำสายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

### รศ.ดร.สร้อยดาว วินจันทรรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ประจำสายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

