บทที่ 5

บทสรุป

1. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการตกสะสมกรดในพื้นที่จังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นตัวแทนการศึกษาการตกสะสมกรดในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย โดยการเก็บตัวอย่างการตกสะสมกรดเปียก ซึ่งในที่นี้คือตัวอย่างน้ำฝน ด้วยอุปกรณ์ Automatic wet only collector และการเก็บตัวอย่างการตกสะสมกรดแห้ง ซึ่งก็คือตัวอย่างอากาศ ด้วยอุปกรณ์ 4-Stages filter pack ต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2546 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2547 และการศึกษาการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2 ประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรด มีผลโดยสรุปดังนี้ คือ

1.1 การตกสะสมกรดเปียก

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของน้ำฝน และการวิเคราะห์ค่าปริมาณการตกสะสมของกรดเปียก พบว่า

1. ค่า pH เฉลี่ย 1 ปี ของตัวอย่างน้ำฝนมีค่าเท่ากับ 5.59 มีค่าอยู่ในช่วง 3.95 – 6.60 มีค่า pH ในฤดูฝนสูงกว่าฤดูร้อน และมีตัวอย่างน้ำฝนที่มีค่า pH ต่ำกว่า 5.6 มากถึง 45% จากตัวอย่างน้ำฝนทั้งหมด 110 ตัวอย่าง มีปริมาณน้ำฝนรวมเท่ากับ 2240 มิลลิเมตร เนื่องจากน้ำฝนตามธรรมชาติมีค่า pH อยู่ในช่วง 5.6 – 5.7 ดังนั้นจากการวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า น้ำฝนในพื้นที่จังหวัดสงขลาเริ่มมีสภาพการเป็นฝนกรด โดยมีจำนวนน้ำฝนถึง 45% ของตัวอย่างน้ำฝนทั้งหมดที่เป็นฝนกรด

2. ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างน้ำฝนมีค่าอยู่ในช่วง 0.13 – 8.89 mS/m มีค่าเฉลี่ยโดยรวมตลอดระยะเวลาเก็บตัวอย่างเท่ากับ 0.61 mS/m โดยจะมีค่ามากในวันที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย เนื่องจากมีปริมาณไอออนต่างๆ ละลายอยู่มาก และมีค่าน้อยในวันที่มีปริมาณน้ำฝนมากเนื่องจากมีปริมาณไอออนต่างๆ ละลายอยู่น้อย

3. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนลบ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ $Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$ มีค่าเท่ากับ 15.6, 11.7 และ 7.3 μeq/l ตามลำดับ

4. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออนบวก เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ $Na^+ > Ca^{2+} > NH_4^+ > Mg^{2+} > K^+$ มีค่าเท่ากับ 19.0, 19.0, 14.1, 4.6 และ 1.1 μeq/l ตามลำดับ

5. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของไอออน เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ $Na^+ > Ca^{2+} > Cl^- > NH_4^+ > SO_4^{2-} > NO_3^- > Mg^{2+} > K^-$

6. ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความเข้มข้น NO_3^-/ SO_4^{2-} ในตัวอย่างน้ำฝน มีค่าเท่ากับ 0.74 แสดงว่า สภาพการเป็นกรดของน้ำฝนเกิดขึ้นเนื่องจาก H_2SO_4 มากกว่า HNO_3

7. ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความเข้มข้นบัฟเฟอร์กับสารกรด (NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})/(SO_4^{2-}, NO_3^-) มีค่าเท่ากับ 1.87 แสดงว่า ไอออน NH_4^+, Ca^{2+} และ Mg^{2+} ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดของน้ำฝนให้มีค่า pH สูงขึ้นหรือเป็นกลาง

8. ปริมาณการตกสะสมกรดเปียก มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นสารกรดที่ละลายอยู่ในน้ำฝน และปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นที่รองรับ

9. ในฤดูร้อนน้ำฝนที่ตกลงมาจะมีสภาพความเป็นกรดสูงกว่าในฤดูฝน

10. ค่าปริมาณการตกสะสมของสารกรด เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ Na^+ > Ca^{2+} > Cl^- > NH_4^+ > SO_4^{2-} > NO_3^- > Mg^{2+} > K^+ มีค่าเท่ากับ 44.97, 44.86, 36.46, 33.41, 27.65, 17.12, 10.75 และ 2.68 meq/m^2.yr ตามลำดับ

11. ค่าปริมาณการตกสะสมเปียกของซัลเฟอร์และไนโตรเจน ที่ตกสะสมลงสู่พื้นที่จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 442 และ 240 mg/m^2.yr ตามลำดับ

12. ในการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลตัวอย่างน้ำฝน พบว่า จำนวนเปอร์เซ็นต์ของค่าที่ยอมรับได้ของการคำนวณ R_1 และ R_2 มีค่าเท่ากับ 22% และ 85% ตามลำดับ

13. เมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์การตกสะสมกรดเปียกในพื้นที่จังหวัดสงขลา กับข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้ในอดีต พบว่า น้ำฝนมีสภาพความเป็นกรดสูงขึ้น และมีค่าปริมาณการตกสะสมกรดเพิ่มมากขึ้นทั้งจากการตกสะสมเนื่องจากซัลเฟอร์และไนโตรเจน

14. เมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์การตกสะสมกรดเปียกในพื้นที่จังหวัดสงขลา กับสถานีติดตามตรวจสอบการตกสะสมกรดอื่นๆ ในประเทศไทย ได้แก่ PCD (กรุงเทพฯ), ERTC (ปทุมธานี) ซึ่งเป็นเขตชุมชนเมือง, CMU (เชียงใหม่) และ VLK (กาญจนบุรี) ซึ่งเป็นเขตชนบท พบว่า การตกสะสมกรดในพื้นที่จังหวัดสงขลามีค่าน้อยกว่าสถานีที่เป็นเขตชุมชนเมือง แต่มีค่ามากกว่าสถานีที่เป็นเขตชนบท

15. เมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์การตกสะสมกรดเปียกในพื้นที่จังหวัดสงขลา กับสถานีติดตามตรวจสอบการตกสะสมกรดในประเทศต่างๆ ซึ่งเป็นสมาชิกในโครงการ EANET พบว่า ปริมาณการตกสะสมกรดในพื้นที่จังหวัดสงขลานี้ยังอยู่ในระดับต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับการตกสะสมกรดในประเทศอื่นๆ

1.2 การตกสะสมกรดแห้ง

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างอากาศ และการวิเคราะห์ค่าปริมาณการตกสะสมของกรดแห้ง พบว่า

1. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของอนุภาคสารกรด เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ $Na^+ > Cl^- > Ca^{2+} > NH_4^+ > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > NO_3^- > K^+$ มีค่าเท่ากับ 24.5, 16.5, 15.5, 14.9, 10.0, 9.0, 5.8 และ 4.7 neq/m^3 ตามลำดับ

2. ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความเข้มข้น NO_3^-/ SO_4^{2-} ในตัวอย่างอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.64 แสดงว่า ในบรรยากาศมีปริมาณการสะสมของ SO_2 มากกว่า HNO_3

3. ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนความเข้มข้นบัฟเฟอร์กับสารกรด $(NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})/(SO_4^{2-}, NO_3^-)$ มีค่าเท่ากับ 2.73 แสดงว่า ในบรรยากาศมีปริมาณการสะสมของไอออนซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์มากกว่าไอออนสารกรด

4. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ $NH_3 > HCl > SO_2 > HNO_3$ มีค่าเท่ากับ 208.3, 22.6, 9.0 และ 3.9 nmol/m^3 ตามลำดับ

5. ค่าความเร็วการตกสะสมของสารกรดจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลก ขึ้นอยู่กับลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา ชนิดของสารกรด และลักษณะของพื้นผิวรองรับ คำนวณได้จาก Resistance model เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานของการตกสะสมกรดจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลก r_a , r_b และ r_c จะพบว่า ค่า r_c มีอิทธิพลมากสุดต่อการคำนวณค่าความเร็วการตกสะสม ยิ่งค่า r_c ของก๊าซใดมีค่าต่ำมาก ก็จะมีค่าความเร็วการตกสะสมของก๊าซนั้นมากด้วย

6. ค่าความเร็วการตกสะสมก๊าซจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลก เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ $HNO_3 > HCl > SO_2 > NH_3$ มีค่าเท่ากับ 0.438, 0.375, 0.252 และ 0.251 cm/s ตามลำดับ

7. ปริมาณการตกสะสมกรดแห้ง มีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วการตกสะสมของสารกรดจากบรรยากาศลงสู่พื้นโลก และค่าความเข้มข้นของสารกรดในบรรยากาศ

8. ในฤดูฝนมีปริมาณการตกสะสมของกรดแห้งมากกว่าในฤดูร้อน

9. ค่าปริมาณการตกสะสมของสารกรดในสถานะก๊าซ เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เป็นดังนี้คือ $NH_3 > HCl > SO_2 > HNO_3$ มีค่าเท่ากับ 21.407, 2.022, 0.759 และ 0.531 mmol/m^2.yr ตามลำดับ

10. ค่าปริมาณการตกสะสมของอนุภาคสารกรด SO_4^{2-} และ NO_3^- มีค่าเท่ากับ 0.329 และ 1.014 mmol/m^2.yr ตามลำดับ

11. ค่าปริมาณการตกสะสมแห้งของซัลเฟอร์เนื่องจาก SO_2 + SO_4^{2-} และไนโตรเจนเนื่องจาก HNO_3 + NO_3^- ที่ตกสะสมลงสู่พื้นที่จังหวัดสงขลา มีค่าเท่ากับ 35 และ 22 $mg/m^2.yr$ ตามลำดับ

12. เมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์การตกสะสมกรดแห้งในพื้นที่จังหวัดสงขลา กับข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้ในอดีต พบว่า ค่าปริมาณการตกสะสมกรดทั้งจากซัลเฟอร์และไนโตรเจนมีค่าลดลง ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่า ได้มีการตกสะสมกรดในรูปของน้ำฝน ในปริมาณมากกว่าการตกสะสมแบบแห้งมากนั่นเอง

1.3 การประเมินค่าการตกสะสมกรดด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2

จากการศึกษาการประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรดลงสู่พื้นที่จังหวัดสงขลา ในปี 2544 ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ATMOS2 พบว่า

1. การประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรดด้วยแบบจำลอง ATMOS2 โดยใช้งานบน Linux ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ความละเอียดกริด 2.5° × 2.5 ° และใช้ข้อมูลการ Emission ของซัลเฟอร์ ทั่วทั้งทวีปเอเชีย ซึ่งเป็นข้อมูลชนิด Area sources จำนวน 3069 แหล่ง และเป็นข้อมูลชนิด Large point sources จำนวน 115 แหล่ง มีปริมาณการ Emission รวมทั้งหมดเท่ากับ 3.39385 × 10^7 tons/year จะใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 3 ชั่วโมง ต่อการประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรดใน 1 เดือน

2. ค่าปริมาณการตกสะสมกรดเปียกและกรดแห้งจากซัลเฟอร์ ที่ประเมินได้จากแบบจำลอง ATMOS2 มีค่าเท่ากับ 348.0 และ 59.1 $mg/m^2.yr$ ในขณะที่ผลการตรวจวัดจริงมีค่าเท่ากับ 349.4 และ 61.5 $mg/m^2.yr$ ตามลำดับ แสดงว่า การประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรดด้วยแบบจำลอง ATMOS2 มีความถูกต้องและแม่นยำค่อนข้างสูงมาก

3. เมื่อพิจารณาถึงอิทธิพลของพื้นที่แหล่งกำเนิด Emission ที่มีผลต่อปริมาณการตกสะสมกรดลงสู่พื้นที่ศึกษา พบว่า การตกสะสมกรดส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลมาจากแหล่งกำเนิด Emission บริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษาเอง แต่แหล่งกำเนิด Emission จากบริเวณพื้นที่อื่นๆ ที่อยู่ห่างออกไป ก็มีอิทธิพลต่อการตกสะสมกรดด้วยเช่นเดียวกัน

4. เมื่อประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรด โดยแบ่งพื้นที่แหล่งกำเนิด Emission ออกเป็น 3 ส่วน คือ พื้นที่จังหวัดสงขลา พื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย และพื้นที่ภาคใต้และพื้นที่ติดต่อกันของประเทศมาเลเซียและอินโดนีเซียในระยะรัศมีประมาณ 500 กิโลเมตร เปรียบเทียบกับการประเมินค่าปริมาณการตกสะสมโดยใช้ข้อมูล Emission ของทั้งทวีปเอเชีย พบว่า ค่าปริมาณการตกสะสมกรดของพื้นที่ทั้ง 3 ส่วน มีค่าเท่ากับ 67% , 86% และ 99% และจะใช้เวลาในการประมวลผลต่อการประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรดในแต่ละเดือน ประมาณ 1/3, 1 และ 3 นาที ตามลำดับ

5. จากผลการศึกษา พบว่า ในการประเมินสถานการณ์การตกสะสมกรดของพื้นที่ศึกษาใดๆ สามารถเลือกใช้ข้อมูลการ Emission ในระยะพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อการตกสะสมกรดลงสู่พื้นที่นั้นๆ ได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูล Emission ของทั้งทวีป ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการให้น้อยลงได้อย่างมาก

2. ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิเคราะห์ค่าปริมาณการตกสะสมกรดเปียก ควรทำการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของไอออนอื่นๆ ซึ่งมีสภาพเป็นกรดอ่อน เช่น HCO_3^-, $HCOO^-$, CH_3COO^-, NO_2^-, F^-, PO_4^{2-} ที่ละลายอยู่ในน้ำฝนด้วย เพื่อให้ผลการวิจัยมีความถูกต้องมากขึ้น และทำให้ผลการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ในส่วนของการทำสมดุลไอออนบวกและลบมีเปอร์เซ็นต์จำนวนค่าที่ยอมรับได้สูงขึ้น

2. ในการวิเคราะห์ค่าปริมาณการตกสะสมกรดแห้งด้วยอุปกรณ์ 4-Stages filter pack โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างอากาศต่อเนื่องครั้งละ 7 วันต่อเดือน แล้วถือว่าผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นตัวแทนสถานการณ์การตกสะสมกรดในแต่ละเดือน เป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้น ซึ่งอาจทำให้ได้ค่าการตกสะสมกรดที่คลาดเคลื่อนจากสถานการณ์การตกสะสมจริงมากหรือน้อยก็ได้ เนื่องจากการแพร่กระจายของสารมลพิษต่างๆ ในบรรยากาศเป็นแบบ Transboundary pollution อาจมีค่าคล้ายคลึงหรือแตกต่างกันได้อย่างมากในแต่ละช่วงเวลาของ 1 เดือน ขึ้นอยู่กับลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลานั้นๆ ดังนั้นในการศึกษาการตกสะสมของกรดแห้ง จึงควรทำการเก็บตัวอย่างอากาศสำหรับวิเคราะห์อย่างต่อเนื่องตลอดทั้งเดือน โดยอาจเก็บเป็นช่วงเวลา ครั้งละ 7 หรือ 10 วันก็ได้ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ที่แท้จริงของการตกสะสมกรดแห้งได้

3. เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดสงขลาติดต่อกับชายฝั่งทะเล ดังนั้นจึงควรมีการตรวจสอบชนิดและสัดส่วนความเข้มข้นของไอออนที่มาจากเกลือทะเล เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ค่าปริมาณการตกสะสมของสารกรดจริงๆ

4. ควรทำการติดตามตรวจสอบการตกสะสมกรดอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประเมินค่าปริมาณการตกสะสมกรด และใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาสถานการณ์และแนวโน้มการตกสะสมของกรดในพื้นที่จังหวัดสงขลาต่อไป