



การศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับ เพื่อหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษอากาศในประเทศจีน กรณีศึกษา: โอโซน

สาयัณต์ บุญพิทักษ์* ภัคพงศ์ พจนารณ*

บทคัดย่อ

ประเทศจีนมีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา ส่งผลให้เกิดปัญหาการเพิ่มขึ้นของโอโซน (O_3) จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโอโซน โดยใช้แบบจำลอง HYSPLIT เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในรูปแบบของการประมวลผลย้อนกลับย้อนหลัง 10 วันก่อนเข้าสู่พื้นที่ศึกษาในระหว่างปี ค.ศ.2004-ค.ศ.2007 ร่วมกับค่าความเข้มข้นของโอโซนจาก 3 สถานี ได้แก่ ภูเขาไท่ (Mountain Tai) ภูเขาหัว (Mountain Hua) และภูเขาหวง (Mountain Huang) โดยแบ่งเป็น 9 กลุ่ม พบว่า มีการเคลื่อนตัวของมวลอากาศผ่าน 2 พื้นที่หลักคือ กลุ่มลมที่พัดผ่านภาคพื้นทวีป ได้แก่ กลุ่มที่ 7(W-NW) และ 8 (NW-N) และกลุ่มที่พัดผ่านมหาสมุทร ได้แก่ กลุ่มที่ 3 (E-SE), 4 (S-SW), 5(S-SW) และ 6 (SW-W) โดยกลุ่มที่พัดผ่านพื้นทวีปมีความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่ากลุ่มที่พัดผ่านมหาสมุทร ส่วนกลุ่มลมที่พัดเข้า

สู่พื้นที่ศึกษามากที่สุดคือกลุ่มลมที่ 7(W-NW) โดยค่าความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มดังกล่าวเท่ากับ 51.2 ppb ในขณะที่กลุ่มลมที่ 3(E-SE) มีค่าต่ำสุดโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.3 ppb ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า มวลอากาศที่เคลื่อนผ่านพื้นที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีกิจกรรมของมนุษย์อย่างหนาแน่น เช่น พื้นที่ที่เกิด Active Fire จำนวนมากมีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนในประเทศจีน ซึ่งการศึกษานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการเฝ้าระวังด้านอุตุนิยมวิทยา และความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่ที่จะได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนตัวของมวลอากาศล่วงหน้าให้กับประชาชนเพื่อเตรียมรับมือกับระดับของก๊าซโอโซนที่จะเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะระบบการแจ้งเตือนประชาชนและกลุ่มเปราะบาง

คำสำคัญ: backward trajectories, HYSPLIT model, มลพิษอากาศ, โอโซน, active fire



บทนำ

ประเทศจีนเป็นประเทศที่มีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก จนได้เป็นตัวแปรสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจโลกโดยเศรษฐกิจจีนสามารถเติบโตและขยายตัวอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 30 กว่าปี¹ ส่งผลให้ประเทศจีนมีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมและการขยายตัวของชุมชนเมืองอย่างรวดเร็ว¹ ผลจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมดังกล่าวทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรทางด้านสิ่งแวดล้อมเกิดสภาวะเป็นพิษ การดำเนินการต่างๆ เหล่านี้ได้มีผลทำให้เกิดมลพิษอากาศโดยเฉพาะการเกิดก๊าซโอโซน (O_3) ซึ่งเป็นตัวแปรทางด้านมลพิษอากาศที่สำคัญ และปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ โดยพบว่าก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์กับการตายก่อนวัยอันสมควรของมนุษย์² และส่งผลกระทบต่อพืชผลทางการเกษตร³ ซึ่งการศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับ (Backward Trajectories) เพื่อหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในประเทศจีน เป็นการศึกษาคุณลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่พัดผ่านพื้นที่ต่าง ๆ ในแต่ละเดือน อันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในประเทศจีนในระหว่างปี ค.ศ.2004-ค.ศ.2007 โดยการศึกษาจะทำการศึกษาวิเคราะห์เพิ่มเติมกับปัจจัยการเคลื่อนตัวของมวลอากาศโดยใช้แบบจำลอง (HybridSingle-ParticleLagrangian Integrated Trajectory Model: HYSPLIT Model) ศึกษาการเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับ 10 วัน ร่วมกับข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนในประเทศจีน ซึ่งได้จากการศึกษาข้อมูลการตรวจวัดโอโซนในตอนกลางของภาคตะวันออกของประเทศจีน จำนวน 3 สถานี ได้แก่ภูเขาไท่ หรือ

เขาไท่ซาน (Mountain Tai) ภูเขาหัวหรือเขาหัวซาน (Mountain Hua) และภูเขาหวงหรือเขาหวงซาน (Mountain Huang) ตลอดจนการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโอโซน เช่น การเคลื่อนตัวของมวลอากาศผ่านพื้นที่ที่เกิด Active Fire ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของโอโซนในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน

วิธีการศึกษา

ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบย้อนกลับย้อนหลัง 10 วัน โดยใช้แบบจำลอง HYSPLIT Model ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการคำนวณมวลอากาศและรูปแบบการกระจายตัวของอากาศที่เคลื่อนตัวเข้าสู่พื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษาคุณลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่เข้าสู่ 3 พื้นที่สำคัญในภาคตะวันออกของประเทศจีน ได้แก่ ภูเขาไท่ (Mountain Tai) มณฑลชางตง (Shandong) พิกัด 36 15 20.8N, 117 06 20.2E ภูเขาหัว (Mountain Hua) มณฑลชานซี (Shaanxi) พิกัด 30 08 05.58N, 118 09 50.8E และภูเขาหวง (Mountain Huang) มณฑลอานฮุย (Anhui) พิกัด 34 28 52.4N, 110 04 35.9E ในช่วงปี ค.ศ.2004-ค.ศ.2007 มีจำนวนผล Trajectories ทั้งสิ้น 1,461 ชุด การคำนวณต่อสถานีตลอดระยะเวลาการศึกษาเปรียบเทียบกันดังแสดงในรูปที่ 1 ร่วมกับการศึกษาโอโซนใน 3 สถานีดังกล่าวจากข้อมูลของ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีการเก็บวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของโอโซนแบบต่อเนื่องของทั้ง 3 สถานี ที่ระดับความสูง 1,841 เมตร, 2,065 เมตร, และ 1,524 เมตรจากระดับน้ำทะเลตามลำดับ โดยผู้ศึกษาได้นำข้อมูล

ดังกล่าวมาวิเคราะห์เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนโดยจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษากลุ่มทิศทางของการเคลื่อนตัวของอากาศ ลักษณะพื้นที่

ที่มวลอากาศเคลื่อนตัวผ่าน การเกิด Active Fire เพื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่ดังกล่าว

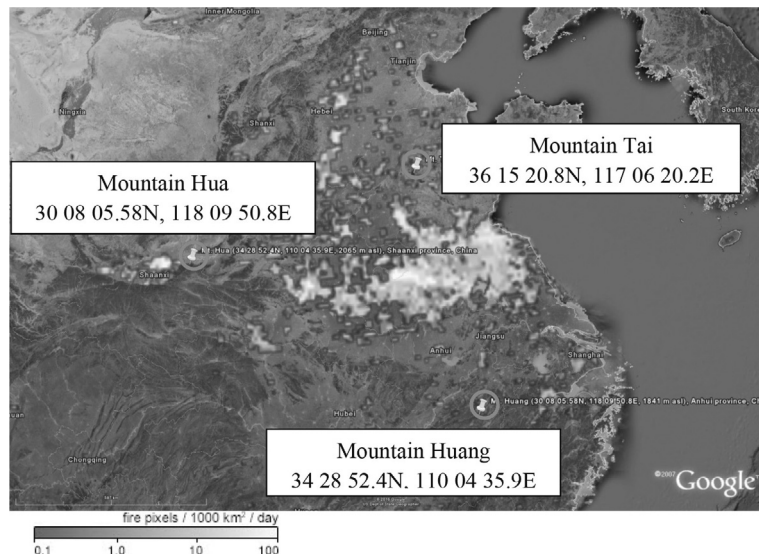


Figure 1 Map Showing the Stations Studied Backward Trajectories byHYSPLIT Model and Example for Active Fire in June 2006.

1. ศึกษาข้อมูลการเคลื่อนตัวของมวลอากาศ อันจะมีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนรายวันในแต่ละสถานีฯ ตลอดช่วงปี ค.ศ.2004-ค.ศ.2007 โดยใช้ HYSPLIT Model Version 4.0^{4,5,6} โดยกำหนดการศึกษาแบบประมวลผลย้อนกลับย้อนหลัง 10 วัน โดยได้กำหนดปัจจัยที่สำคัญในการจัดทำแบบจำลองฯ เพื่อคำนวณการเคลื่อนที่ของอากาศในช่วงที่มีการวิเคราะห์ของทั้ง 3 สถานี ประกอบด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากข้อมูลจาก NOAA⁷ ระดับความสูงศึกษา: 2,500 m-AGL ซึ่งเป็นระดับความสูง ณ จุดศึกษา (Starting Heights) ในช่วงเวลาที่ต้องการศึกษาที่ได้มาจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้นำเข้าแบบจำลองฯ ทั้งนี้เนื่องจากจุดตรวจวัดโอโซน

ในการศึกษานี้มีระดับความสูง ของ 3 สถานี อยู่ระหว่าง 1524-2,065 เมตรจากระดับน้ำทะเล ผู้ศึกษาจึงได้เลือกใช้ความสูงในการศึกษาที่ 2500 m-AGL เพื่อเป็นตัวแทนของการศึกษาการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ประกอบกับระดับความสูงดังกล่าวเป็นความสูงที่ไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศอันจะทำให้ผลการศึกษาลาดเคลื่อนได้, Starting Time: 00.00 GMT (08.00 ประเทศจีน), Total Runtime: -240 Hrs (ย้อนหลัง 10 วัน) โดยกำหนดให้มีการแสดงผลในคาบ 24 ชม. ซึ่งจากการศึกษาผลจากแบบจำลองฯ จะแสดงผลใน 2 ลักษณะได้แก่ ทิศทางการเคลื่อนตัวและความเร็วของมวลอากาศที่แสดงบนแผนที่ และระดับความสูงของมวลอากาศที่แสดงในรูปแบบ



กราฟความสูง โดยจุดที่แสดงบนแผนที่จะเท่ากับการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในคาบ 1 วัน (24 ชม.) การเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่เข้าสู่ Mt.Tai แสดงผลในเส้นคาดจุดสามเหลี่ยม Mt.Hua แสดงผลในเส้นคาดจุดสี่เหลี่ยม และ Mt.Huang แสดงผลในเส้นคาดจุดวงกลม

2. วิเคราะห์ลักษณะของโอโซน ผู้ศึกษาทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายเดือนของโอโซนทั้ง 3 สถานีเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของโอโซนในแต่ละสถานีต่อไป ตัวอย่างของค่าความเข้มข้นของโอโซนได้แสดงดังตารางที่ 1

Table 1 Example for Monthly Statistical Data of Ozone (ppb) in 2006.

Station	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Mt.Tai	48.9	45.6	56.3	61.7	-	81.9	-	59.9	68.9	69.2	46.3	42.9
Mt.Hua	39.0	39.7	47.4	50.3	49.2	65.0	-	33.9	27.7	34.8	40.4	41.5
Mt.Huang	30.5	31.7	38.5	40.8	51.9	42.3	28.8	37.1	48.4	45.9	34.4	32.1

206

3. ศึกษาข้อมูลปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดมลพิษที่คาดว่าจะมีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนในแต่ละสถานีฯ เช่น การเกิด Active Fire การขยายตัวของแหล่งอุตสาหกรรมในพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ที่มวลอากาศเคลื่อนผ่าน

หลังจากได้ผลการเคลื่อนตัวของมวลอากาศรายวันโดยใช้ HYSPLIT Model แล้ว ผู้ศึกษาได้จำแนกทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศออกเป็นกลุ่มละ 45 องศาจากทางด้านทิศเหนือ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 9 กลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ประกอบด้วย

- กลุ่ม 1 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง N-NE ทิศทาง 0-45 องศาจากทางด้านทิศเหนือ เป็นกลุ่มที่พัดผ่านประเทศจีนตอนบน รัสเซีย และมหาสมุทรแปซิฟิก

- กลุ่ม 2 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง NE-E ทิศทาง 45-90 องศาจากทางด้านทิศเหนือเป็นกลุ่มที่พัดผ่านประเทศจีนตอนกลาง ญี่ปุ่น เกาหลี และมหาสมุทรแปซิฟิก

- กลุ่ม 3 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง E-SE ทิศทาง 90-135 องศาจากทางด้านทิศเหนือเป็นกลุ่มที่พัดผ่านพื้นที่มหาสมุทรแปซิฟิกเป็นส่วนใหญ่

- กลุ่ม 4 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง SE-S ทิศทาง 135-180 องศาจากทางด้านทิศเหนือเป็นกลุ่มที่พัดผ่านพื้นที่ประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และทะเลจีนใต้

- กลุ่ม 5 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง S-SW ทิศทาง 180-225 องศาจากทางด้านทิศเหนือเป็นกลุ่มที่พัดผ่านพื้นที่ประเทศจีนตอนใต้ ไทย เวียดนาม ลาว กัมพูชาและอ่าวไทย

- กลุ่ม 6 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง SW-W ทิศทาง 225-270 องศาจากทางด้านทิศเหนือเป็นกลุ่มที่พัดผ่านพื้นที่ประเทศจีนตอนใต้ ไทย พม่า อินเดีย และมหาสมุทรอินเดีย

- กลุ่ม 7 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง W-NW ทิศทาง 270-315 องศาจากทางด้านทิศเหนือเป็นกลุ่มที่พัดผ่านพื้นที่ประเทศจีนตะวันตก ตะวันออกกลาง และยุโรป

- กลุ่ม 8 เคลื่อนตัวมาจากทิศทาง NW-N
ทิศทาง 315-360 องศาจากทางด้านทิศเหนือเป็น
กลุ่มที่พัดผ่านพื้นที่ประเทศจีนตะวันตก ทวีปยุโรป
รัสเซีย คาซัคสถาน

- กลุ่มที่ 9 Ungroup เป็นกลุ่มที่ไม่สามารถ
จำแนกทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศตามองศา
ที่กำหนดไว้ได้

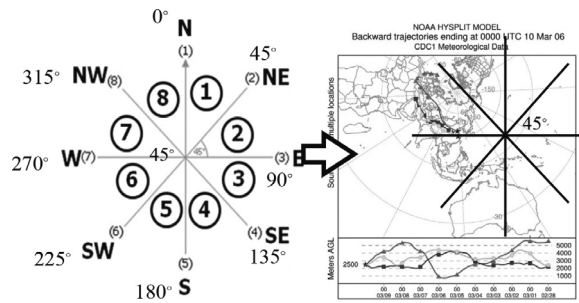


Figure 2 Identification of the Air Masses Movement Cluster by HYSPLIT Model.

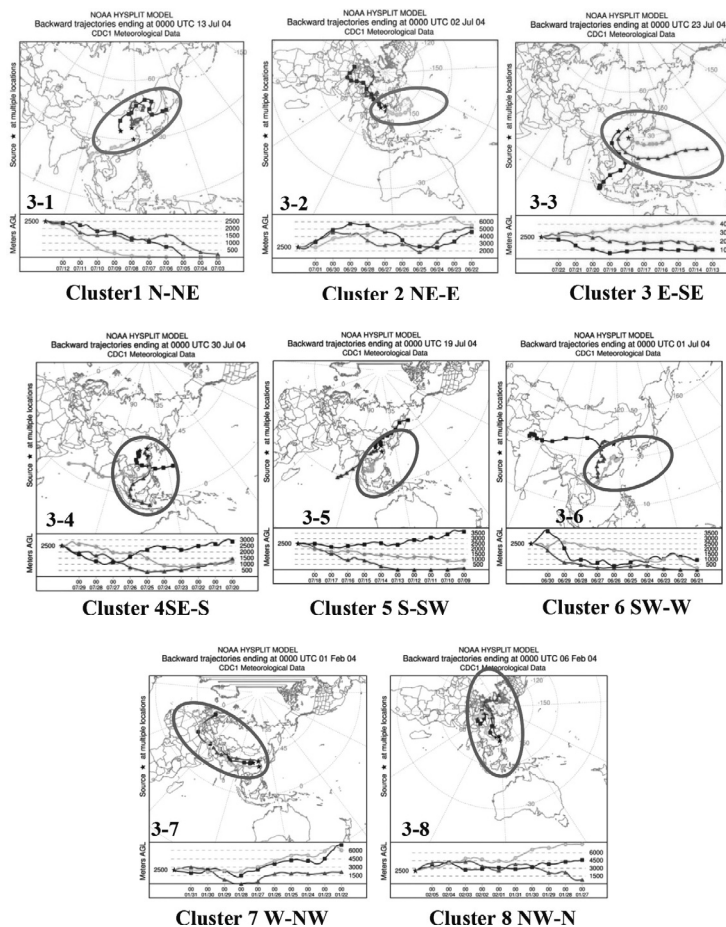
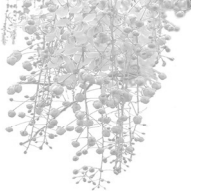


Figure 3 Example of the Air Masses Movement Cluster by HYSPLIT Model.



ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

ผลจากการศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับเพื่อหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในประเทศไทย พบว่า การเคลื่อนที่ของมวลอากาศผ่านพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี มีระดับความสูงและทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่เป็นกลุ่มการเคลื่อนตัวหลักของแต่ละเดือนได้ 6 กลุ่มประกอบไปด้วย กลุ่มที่ 3 (E-SE) กลุ่มที่ 4 (SE-S) กลุ่มที่ 5 (S-SW) กลุ่มที่ 6 (SW-W) กลุ่มที่ 7 (W-NW) และกลุ่มที่ 8 (NW-N) ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยกลุ่มลมที่เข้าสู่พื้นที่ศึกษามากที่สุด 3 อันดับแรกได้แก่ กลุ่มที่ 7 (W-NW) โดยจะพบมากในช่วงเดือน

208

มกราคม-พฤษภาคม และช่วงเดือน กันยายน-ธันวาคม จำนวน 103 เดือน คิดเป็นร้อยละ 71.53 ของระยะเวลาการศึกษาทั้งหมด (48 เดือน $\times$ 3 สถานี = 144 เดือน) รองลงมาได้แก่ กลุ่มที่ 8 (NW-N) พบในช่วงเดือน มกราคม และมิถุนายน จำนวน 16 เดือน คิดเป็นร้อยละ 11.11 ของระยะเวลาการศึกษาทั้งหมด และกลุ่มที่ 6 (SW-W) พบในช่วงเดือน มิถุนายน-กรกฎาคม จำนวน 16 เดือน คิดเป็นร้อยละ 11.11 ของระยะเวลาการศึกษาทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Shan, Yin, Lu, Liang³ ที่ได้ทำการศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในภูมิภาคตะวันออกของจีนซึ่งพบว่า ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนตัวของมวลอากาศใน 6 กลุ่มเช่นเดียวกัน

ทั้งนี้ผู้ศึกษาสามารถจำแนกกลุ่มการเคลื่อนตัวหลักของแต่ละเดือนได้ดังตารางที่ 2 จากการศึกษาพบว่ากลุ่มลมหลักที่เข้าสู่พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มลมที่ 7 (W-NW) และกลุ่มลมที่ 8 (NW-N) ซึ่งเป็นกลุ่มลมที่พัดผ่านพื้นที่ประเทศจีนตะวันตก

ภูมิภาคตะวันออกกลาง ยุโรปรัสเซีย และเอเชียกลาง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของโอโซนในกลุ่มลมหลักที่สถานีภูเขาไท่ (Mt. Tai) มีค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดโดยมีค่าระหว่าง 38.9-119.7 ppb รองลงมาได้แก่ ภูเขาหัว (Mt. Hua) มีค่าระหว่าง 27.6-79.7 ppb และภูเขาหวง (Mt. Huang) มีค่าระหว่าง 24.9-62.7 ppb ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของโอโซน แบ่งตามกลุ่มการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่เข้าสู่พื้นที่ศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- กลุ่มที่ 3 E-SE รูปที่ 3 (3-3) พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นมหาสมุทรแปซิฟิก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.3 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มดังกล่าวอยู่ระหว่าง 32.8-50.9 ppb

- กลุ่มที่ 4 S-SW รูปที่ 3 (3-4) เป็นกลุ่มลมที่พัดผ่านประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และทะเลจีนใต้ โดยจากการศึกษาพบว่ามีกลุ่มลมที่ผ่านพื้นที่ดังกล่าวเพียง 1 เดือน ในเดือนสิงหาคม ค.ศ.2005 โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มลมดังกล่าวเท่ากับ 46.9 ppb

- กลุ่มที่ 5 S-SW รูปที่ 3 (3-5) เป็นกลุ่มลมที่พัดผ่านประเทศจีนตอนใต้ ไทย เวียดนาม ลาว กัมพูชาและอ่าวไทย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.5 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มลมดังกล่าวอยู่ระหว่าง 34.9-42.0 ppb

- กลุ่มที่ 6 SW-W รูปที่ 3 (3-6) เป็นกลุ่มลมที่พัดผ่านประเทศจีนตอนใต้ ไทย พม่า อินเดีย และมหาสมุทรอินเดีย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43.1 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มลมดังกล่าวอยู่ระหว่าง 31.1-74.9 ppb

- กลุ่มที่ 7 W-NW รูปที่ 3 (3-7) เป็นกลุ่มลมที่พัดผ่านประเทศจีนตะวันตก ตะวันออกกลาง และยุโรป มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 51.2 ppb โดยมีค่าเฉลี่ย



Table 2 Monthly Statistical Data of Ozone (ppb) Compare with Movement Cluster of Air Masses in Study Area in 2004-2007.

Group	Cluster	Time	Total month For 3 stations	%	Range by		Ozone (ppb)	
					Cluster (%)	Range of Ozone	Mean	
7	W-NW	Jan-May, Sep-Dec	103	71.53	26.67-87.10	24.5-79.3	51.2	
8	NW-N	Jan, Jun	16	11.11	23.33-70.97	38.1-91.7	66.5	
6	SW-W	Jun-Jul	16	11.11	23.33-70.97	31.1-74.9	43.1	
3	E-SE	Aug-Sep	6	4.17	30.00-51.61	32.8-50.9	35.3	
5	S-SW	Jun-Jul	2	1.39	26.67-32.26	34.9-42.0	38.5	
4	SE-S	Aug	1	0.69	22.58	46.9	46.9	



ความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มลมดังกล่าวอยู่ระหว่าง 24.5-79.3 ppb

- กลุ่มที่ 8 NW-N รูปที่ 3 (3-8) เป็นกลุ่มลมที่พัดผ่านประเทศจีนตะวันตก ทวีปยุโรป รัสเซีย คาซัคสถานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 66.5 ppb โดยมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มลมดังกล่าวอยู่ระหว่าง 38.1-91.7 ppb

เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของโอโซนรายสถานีตามกลุ่มลมต่างๆ ระหว่างปี ค.ศ.2004-ค.ศ.2007 ดังตารางที่ 2 พบว่า ในพื้นที่ศึกษาจะมีลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศผ่าน 2 พื้นที่หลัก ได้แก่ 1) กลุ่มลมที่พัดผ่านพื้นที่ทวีป ได้แก่ กลุ่มลมที่ 7W-NW และ 8NW-N และ 2) กลุ่มที่พัดผ่านมหาสมุทร ได้แก่ กลุ่มที่ 3 E-SE, 4 S-SW, 5S-SW และ 6SW-W ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ 2 กลุ่มหลักพบว่า กลุ่มที่พัดผ่านพื้นที่ทวีปมีค่าความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่ากลุ่มที่พัดผ่านมหาสมุทร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ He และคณะ⁸ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความเข้มข้นรายกลุ่มพบว่า ค่าความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่มที่ 8 มีค่าความเข้มข้นสูงสุดรองลงมาได้แก่ กลุ่มที่ 7 ซึ่งกลุ่มลมทั้ง 2 กลุ่มจะเคลื่อนตัวผ่านทางยุโรป และพื้นที่ตอนเหนือและตะวันตกของประเทศจีนก่อนเข้าสู่พื้นที่ศึกษาที่อยู่ทางด้านตะวันออกของประเทศจีน โดยกลุ่มลมดังกล่าวส่วนใหญ่จะเข้าสู่พื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูหนาว เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของโอโซนก็พบว่า เป็นช่วงที่มีค่าความเข้มข้นของโอโซนสูงที่สุด โดยลมจากกลุ่มดังกล่าวอาจนำพามลพิษทางอากาศอื่น ๆ ในพื้นที่ดังกล่าวเข้าสู่พื้นที่ศึกษาในฤดูหนาว⁹ ส่วนค่าความเข้มข้นของโอโซนที่ได้รับอิทธิพลจากกลุ่ม 3 มีค่าต่ำสุด ทั้งนี้อาจเกิดจากอิทธิพลของลมมรสุมที่พัดผ่านมหาสมุทร ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรม

ของมนุษย์มากนัก⁷

นอกจากนี้ ได้ศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโอโซนจากแหล่งกำเนิดมลพิษอื่น ๆ เพิ่มเติม ได้แก่ การเกิด Active Fire จากข้อมูลของ NASA¹⁰ เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกิดจากการเผาไหม้ที่อาจส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่ศึกษารายเดือนระหว่างปี ค.ศ.2004-ค.ศ.2007 โดยกำหนดรัศมีศึกษาที่ระยะ 500 กิโลเมตรจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานี (ตัวอย่างของการเกิด Active Fire ในเดือนมิถุนายน ค.ศ.2006 ดังแสดงในรูปที่ 1) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีมีพื้นที่เกิด Active Fire ในแต่ละเดือนที่แตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาทิศทางเคลื่อนตัวของมวลอากาศในกลุ่มลมหลักแต่ละเดือนกับผลการศึกษา Active Fire สามารถจำแนกตามรายสถานีได้ดังนี้

- ภูเขาไท่ (Mt. Tai) กลุ่มที่มวลอากาศหลักพัดผ่านสถานีดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มลมที่ 7 และ 8 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนตัวของมวลอากาศผ่านพื้นที่เกิด Active Fire พบอยู่ระหว่าง 1-31 พื้นที่

- ภูเขาหัว (Mt.Hua) กลุ่มที่มวลอากาศหลักพัดผ่านสถานีดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มลมที่ 7 และ 8 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนตัวของมวลอากาศผ่านพื้นที่เกิด Active Fire พบอยู่ระหว่าง 0-7 พื้นที่

- ภูเขาหวง (Mt. Huang) กลุ่มที่มวลอากาศหลักพัดผ่านสถานีดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มลมที่ 7 และ 6 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการเคลื่อนตัวของมวลอากาศผ่านพื้นที่เกิด Active Fire อยู่ระหว่าง 0-26 พื้นที่

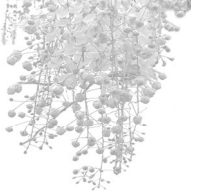
ทั้งนี้ลักษณะการเกิด Active Fire ซึ่งอาจจะ



เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโอโซนพบว่าในแต่ละสถานที่มีพื้นที่ที่เกิด Active Fire ในแต่ละเดือนแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาพื้นที่ที่เกิด Active Fire ในรอบปีในพื้นที่ศึกษาพบว่าในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ เกิดขึ้นน้อย และเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม-สิงหาคม และจะค่อยๆ ลดลงในเดือนกันยายน-ธันวาคม ซึ่งสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนที่แสดงดังตารางที่ 1 โดยค่าความเข้มข้นของโอโซนของทั้ง 3 สถานีจะเป็นไปในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ ค่าความเข้มข้นของโอโซนจะมีค่าต่ำในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ และจะสูงขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม และจะลดลงในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายนต่อเนื่องไปจนถึงช่วงปลายปี เมื่อพิจารณาทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในกลุ่มลมหลักแต่ละเดือนกับจุดที่เกิด Active Fire เข้าสู่พื้นที่ศึกษาทั้ง 3 สถานีพบว่า ในช่วงต้นปีจนถึงกลางปีและช่วงปลายปีซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดผ่านแผ่นดินทวีป (กลุ่มที่ 7 และ 8) มีจำนวนการเกิด Active Fire มากกว่ากลุ่มลมที่พัดผ่านมหาสมุทรในช่วงกลางปี สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโอโซนของทั้ง 3 สถานี โดยสาเหตุประการสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้โอโซนในช่วงฤดูหนาวมีความเข้มข้นที่ต่ำกว่าในฤดูร้อน คือ ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา Photochemical ของสารมลพิษตั้งต้นที่เปลี่ยนรูปเป็นโอโซน ซึ่งเกิดจากในช่วงฤดูร้อนสารมลพิษตั้งต้นจะได้รับแสงมากกว่าในช่วงฤดูหนาว

จากการศึกษาค่าเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบบรรายสถานี ตามกลุ่มทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศพบว่า ค่าความเข้มข้นของโอโซนจะมีค่าต่ำในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ และจะสูงขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคมซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมจากทางด้านทิศเหนือ จากนั้นค่าความเข้มข้นของโอโซน

จะลดลงในช่วงกลางปีซึ่งเป็นลมมรสุมจากทางด้านทิศใต้ และจะกลับมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงปลายปี ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมจากทางด้านทิศเหนืออีกครั้งโดยค่าความเข้มข้นสูงสุดที่พบจะอยู่ในช่วงประมาณเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนบ่งชี้ให้เห็นว่า ลมมรสุมในแต่ละฤดูกาล^{8,9} และปฏิกิริยา Photochemical เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของโอโซน ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Li และคณะ¹¹ ที่พบว่าการเพิ่มขึ้นของโอโซนในช่วงเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน และช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคมนั้น เกิดจากปฏิกิริยา Photochemical ทำให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ในช่วงฤดูร้อน ทั้งนี้จากการศึกษาค่าเฉลี่ยรายเดือนเปรียบเทียบบรรายสถานี ตามกลุ่มทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศ พบว่า ค่าความเข้มข้นของโอโซนจากกลุ่มที่ได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดผ่านแผ่นดินทวีป ได้แก่กลุ่ม 7 และ 8 มีค่าสูงกว่ากลุ่มที่พัดผ่านมหาสมุทรได้แก่กลุ่มที่ 3, 4, 5 และ 6 เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นที่ที่มวลอากาศพัดผ่านพบว่า กลุ่มลมที่พัดผ่านแผ่นดินทวีปเข้าสู่พื้นที่ศึกษานั้นจะผ่านพื้นที่ที่มีกิจกรรมของมนุษย์จึงอาจนำพามลพิษจากเขตชุมชนเมือง และเขตอุตสาหกรรมพื้นที่ที่มีการเผาผลาญพลังงานทางเกษตรที่เหลือจากการเก็บเกี่ยวเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด^{12, 13, 14} เนื่องจากมวลอากาศที่ผ่านพื้นที่ดังกล่าวอาจนำมลสารอื่น ๆ เช่น NO_x และ CO เข้ามายังพื้นที่ศึกษา ซึ่งมลสารดังกล่าวก็เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้โอโซนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน^{15,16} ในขณะที่กลุ่มลมที่พัดผ่านมหาสมุทรจะผ่านพื้นที่ที่เป็นเขตชุมชนเมือง และเขตอุตสาหกรรมน้อยกว่า จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนจากกลุ่มลมดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าได้ และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของ



โอโซนทั้ง 3 สถานีเปรียบเทียบกัน พบว่า สถานีภูเขาไต้ (Mt. Tai) มีค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ซึ่งจากการตรวจสอบตำแหน่งที่ตั้งของสถานีตรวจวัด Mt. Tai กับการเกิด Active Fire ในภาพรวมทั้งปี พบว่าสถานีดังกล่าวอยู่ใกล้พื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการเกิด Active Fire มากที่สุด ประกอบกับสถานีดังกล่าวตั้งอยู่ใกล้แหล่งอุตสาหกรรมของประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญในภูมิภาค^{11,15} ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโอโซนในสถานีนี้จึงอาจได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษในเขตดังกล่าวด้วยเช่นกัน¹⁷ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pochanart¹⁴ ที่พบว่าการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่ผ่านพื้นที่ทางตะวันออกของจีนซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรม ทำให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนที่บริเวณภูเขาไต้เพิ่มขึ้น 34-42% และภูเขาหวงเพิ่มขึ้น 8-14%

212

สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโอโซนซึ่งมีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในช่วงต้นปี และจะลดลงหลังจากช่วงกลางปีและจะกลับมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงปลายปีเป็นผลมาจากลมมรสุมประจำปีซึ่งจะเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ กล่าวคือมวลอากาศที่เคลื่อนตัวผ่านแผ่นพื้นทวีปในช่วงฤดูหนาวและโดยเฉพาะอย่างยิ่งบางครั้งในช่วงฤดูร้อนซึ่งมีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาPhotochemical^{18, 19} สูง จะทำให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนมีค่าสูงกว่ามวลอากาศที่เคลื่อนตัวผ่านพื้นที่ที่เป็นมหาสมุทร⁷ ซึ่งจะพัดเข้าสู่พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ในช่วงฤดูร้อน นอกจากนี้ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่ผ่านพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ที่มีกิจกรรมของมนุษย์อย่างหนาแน่นในบริเวณตอนกลางของภาคตะวันออก

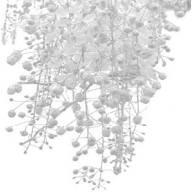
ของประเทศจีนและพื้นที่ที่เกิดไฟป่า²⁰ พื้นที่ที่มีการเผาผลาญที่เหลือจากการเก็บเกี่ยว ก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนในพื้นที่ศึกษามีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเช่น สถานี Mt. Tai ที่มีมวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ตอนกลางของจีนฝั่งตะวันออกซึ่งมีความหนาแน่นของการเกิด Active fire มากที่สุดส่งผลให้ค่าความเข้มข้นของโอโซนที่สถานี Mt. tai สูงที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 สถานี

เอกสารอ้างอิง

1. Kasikornbank. Economy of China. Available at <http://www.kasikornbank.com/ChinaTrade/ChinaInformation/ChinaOverview/EconomicSysSutuation/Pages/EconomicSysSutuation.aspx>, accessed September 14, 2012.
2. Ruangdej K, Chaosuansreecharoen P. Short Term Effects of Ground-level Ozone on Mortality in Bangkok, Thailand. Journal of Public Health. Special Issue on 60th Anniversary of Faculty of Public Health, Mahidol University, 2008: 21-35.
3. Shan WP, Yin Y, Lu H, Liang S. A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data. Atmospheric Research. 2009; 93: 767-76.
4. He YJ, Uno I, Wang ZF, Pochanart P, Li J, Akimoto H. Significant impact of the East Asia monsoon on ozone seasonal behavior in the boundary



- layer of Eastern China and the west Pacific region. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2008; 8(24): 7543-55.
5. Saksakulkrai S. Seasonal variation of Tropospheric Ozone during 2007-2009 at the observatory for atmospheric Research at Phimai, Changwat Nakhonratchasima. [M.Sc. Thesis in Earth Sciences]. Bangkok: Faculty of Science, Chulalongkorn University, 2013.
6. Draxler RR, Rolph GD. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model. Available at <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>, accessed March 05, 2015.
7. Li J, Wang Z, Akimoto H, Gao C, Pochanart P. Modeling study of ozone seasonal cycle in lower troposphere over east Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2007; 112(D22): DOI:10.1029/2006JD008209.
8. Li J, Wang Z, Akimoto H, Yamaji K, Takigawa M, Pochanart P, Liu Y . Near-ground ozone source attributions and outflow in central eastern China during MTX2006, *Atmospheric Chemistry and Physics* 2008; 8 (24): 7335-51.
9. Wang Z, Li J, Wang X, Pochanart P, Akimoto H. Modeling of regional high ozone episode observed at two mountain sites (Mt. Tai and Huang) in East China. *Journal of Atmospheric chemistry* 2006; 55 (3): 253-72.
10. Pochanart P. Residence time analysis of photochemical buildup of ozone in central eastern China from surface observation at Mt. Tai, Mt. Hua, and Mt. Huang in 2004. *Environmental Science and Pollution Research* 2015; 22 (18):14087-94.
11. Li J, Wang Z, Akimoto H, Gao C, Pochanart P. Modeling study of ozone seasonal cycle in lower troposphere over east Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 112 (D22). 10.1029/2006
12. Pochanart P, Hirokawa J, Kajii Y, Akimoto H, Nakao M. Influence of regional-scale anthropogenic activity in northeast Asia on seasonal variations of surface ozone and carbon monoxide observed at Oki, Japan. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1999; 104 (D3): 3621-31.
13. Wang Z, Li J, Wang X, Pochanart P, Akimoto H. Modeling of regional high ozone episode observed at two mountain sites (Mt. Tai and Huang) in East China. *Journal of Atmospheric chemistry* 55 (3), 253-72.
14. Pochanart P. Residence time analysis of photochemical buildup of ozone in



- central eastern China from surface observation at Mt. Tai, Mt. Hua, and Mt. Huang in 2004. *Environmental Science and Pollution Research* 22 (18), 14087-94.
15. Wigder NL, Jaffe DA, Saketa FA. Ozone and particulate matter enhancements from regional wildfires observed at Mount Bachelor during 2004-2011, *Atmospheric Environment* 2013; 75: 24-31.
16. Pochanart P, Hirokawa J, Kajii Y, Akimoto H, Nakao M. Influence of regional-scale anthropogenic activity in northeast Asia on seasonal variations of surface ozone and carbon monoxide observed at Oki, Japan, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 104 (D3), 3621-31.
17. Wang 1Y, Zhang Y, Hao J, Luo M. Seasonal and spatial variability of surface ozone over China: contributions from background and domestic pollution. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2011;11: 3511-25.
18. Li J, Pochanart P, Wang Z, Liu Y, Yamaji K. Impact of chemical production and transport on summertime diurnal ozone behavior at a mountainous site in North China Plain, *Sola* 2008; 4:121-4.
19. Akimoto H, Li J, Wang Z, Yamaji K, Pochanart P, Ohara T, et al. J. Transport and Chemical Production of Ozone in the East Asian Pacific Rim Region:-Modeling Study Based on Observation, AGU Fall Meeting Abstracts, 2007.
20. Pochanart P, Akimoto H, Kajii Y, Potemkin V M, Khodzher T V. Regional background ozone and carbon monoxide variations in remote Siberia/east Asia, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2003; 7-18. DOI:10.1029/2001JD001412.



Modeling of Backward Air Mass Trajectories to Identify Change of Air Pollution Concentration in China: Case Studies of Ozone (O₃)

Sayan Boonpitak* Pakpong Pochanart*

ABSTRACT

China has been one of the world economic leaders with rapid growth and social development for over 30 years. These have caused environmental pollution particularly air pollution in terms of ozone concentration changes. This study applied the “Backward Trajectories” method to determine the changes in ozone concentrations in China by emphasizing the origin of air masses and establishing a source-receptor relationship when air masses move across regions on a monthly basis, impacting ozone concentrations in China from 2004-2007. The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPPLIT) Model was used to compute 10-day air mass transporting association with ozone concentration statistics recorded by 3 Air Quality Monitoring Stations in China, i.e., Mountain Tai, Mountain Hua and Mountain Huang. The results showed 2 air mass pathways through the study area, i.e., a continental air mass

(7th cluster; W-NW, and 8th; NW-N) and an oceanic air mass (3rd cluster; E-SE, 4th; S-SW, 5th; S-SW, and 6th; SW-W). The ozone concentration was higher in the continental than the oceanic air mass. The 7th cluster was mostly found and average ozone concentration was 51.2 ppb, while the 3rd cluster was found to be associated with the lowest ozone concentration; 35.3 ppb. In addition, the air trajectories moving across areas where anthropogenic activities occur and active fire could potentially affect ozone concentrations in China. The findings of this research will benefit human health when a monitoring system of meteorological data and a warning system of health effect is launched and strictly implemented especially for vulnerable population groups.

Keywords: backward trajectories, HYSPPLIT model, air pollution, Ozone, active fire

วารสารสารานุกรมวิทยาศาสตร์ แจ๊งแก๊วเอกสารอ้างอิง เรื่อง “การศึกษาแบบจำลองการเคลื่อนที่ของมวลอากาศแบบประมวลผลย้อนกลับเพื่อหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลพิษอากาศในประเทศจีน กรณีศึกษา: โอโซน” ลงตีพิมพ์ใน ปีที่ 46 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม 2559) หน้า 203-15

เอกสารอ้างอิง (แก๊ว)

4. NOAA Air Resources Laboratory. HYSPLIT (Hybrid Single-ParticleLagrangian Integrated Trajectory) Model. Available at <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>, accessed September 09, 2012.
7. NOAA Air Resources Laboratory. FTP Meteorological Data. Available at <ftp://arlftp.arlhq.noaa.gov/pub/archives/reanalysis>, accessed March 05, 2015.
8. He YJ, Uno I, Wang ZF, Pochanart P, Li J, Akimoto H. Significant impact of the East Asia monsoon on ozone seasonal behavior in the boundary layer of Eastern China and the west Pacific region. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2008; 8(24), 7543-55.
9. Gao J, Wang T, Ding A, Liu C. Observational study of ozone and carbon monoxide at the summit of mount Tai (1534m a.s.l.) in central-eastern China, *Atmospheric Environment* 2005; 39: 4779–91.
10. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Active Fire Data. Available at <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/active-fire-data>, accessed March 05, 2015.
11. Li J, Wang Z, Akimoto H, Gao C, Pochanart P. Modeling study of ozone seasonal cycle In lower troposphere over east Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere* 2007; 112(D22): DOI 10.1029/2006JD008209.
12. Li J, Wang Z, Akimoto H, Yamaji K, Takigawa M, Pochanart P, Liu Y . Near-ground ozone source attributions and outflow in central eastern China during MTX2006, *Atmospheric Chemistry and Physics* 2008; 8(24), 7335-51.
13. Wang Z, Li J, Wang X, Pochanart P, Akimoto H. Modeling of regional high ozone episode observed at two mountain sites (Mt. Tai and Huang) in East China. *Journal of Atmospheric chemistry* 2006; 55(3), 253-72.
14. Pochanart P. Residence time analysis of photochemical buildup of ozone in central eastern China from surface observation at Mt. Tai, Mt. Hua, and Mt. Huang in 2004. *Environmental Science and Pollution Research* 2016; 22(18), 14087-94.
16. Pochanart P, Hirokawa J, Kajii Y, Akimoto H, Nakao M. Influence of regional-scale anthropogenic activity in northeast Asia on seasonal variations of surface ozone and carbon monoxide observed at Oki, Japan , *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 1999; 104(D3), 3621-31.
17. Wang Y, ZhangY, Hao J, Luo M. Seasonal and spatial variability of surface ozone over China: contributions from background and domestic pollution.*Atmospheric Chemistry and Physics* 2011; 11(7): 3511–25.