

## การศึกษาการเคลื่อนตัวของมลอากาศแบบย้อนกลับที่ส่งผลต่อโอโซน ในระดับภูมิภาคของทวีปเอเชียในปี ค.ศ. 2004

อรพรรณ แพกุล\* ภัคพงศ์ พจนารณ\*

### บทคัดย่อ

216

การศึกษาดูหาเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงของโอโซนในทวีปเอเชีย โดยใช้ข้อมูลของโอโซนจากสถานีตรวจวัด 11 แห่งในทวีปเอเชีย ปี ค.ศ. 2004 โดยเปรียบเทียบกับ การเคลื่อนตัวของมลอากาศแบบย้อนกลับเป็นระยะเวลา 10 วัน ด้วยแบบจำลอง HYSPLIT และ จำแนกทิศทางการเคลื่อนตัวของมลอากาศเป็น 8 ทิศทางพบว่า มลอากาศส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันตก (W) รองลงมาคือ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (NW) โดยโอโซนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีความเข้มข้นสูงเมื่อมลอากาศเคลื่อนตัวมาจากทิศ W และผ่านแหล่งกำเนิดมลพิษภายในทวีป เช่น สถานี Happo และ Oki มีค่าเฉลี่ยรายปีของโอโซนเท่ากับ 55.9 และ 44.8 ppb ตามลำดับ ถัดมาคือ สถานี Mondy ในเซตไซบีเรีย ซึ่งได้รับมลอากาศจากภายในทวีปมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 44.6 ppb บริเวณชายฝั่งตะวันออกของทวีป มลอากาศที่ผ่านมหาสมุทรยาวนานกว่าทำให้มีโอโซนต่ำกว่าบริเวณอื่น เช่น สถานี Minami Torishima

ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 30.7 ppb ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบค่าเฉลี่ยของโอโซนที่สถานี Tanah Rata และ Bukit Koto Tabang เท่ากับ 19.0 และ 13.0 ppb ตามลำดับ สถานีทั้งสองแห่งได้รับอิทธิพลจากมลอากาศผ่านมหาสมุทรตลอดทั้งปีทำให้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าสถานีที่ตั้งอยู่ทางภูมิภาคอื่นของทวีปเอเชีย โดยสถานีที่ได้รับมลอากาศจากภายในภาคพื้นทวีป จะมีความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่ามลอากาศที่ผ่านมหาสมุทร จากการศึกษาพบว่า ปัญหามลพิษทางอากาศนอกจากแหล่งกำเนิดมลพิษที่เกิดในท้องถิ่นแล้วยังต้องตระหนักถึงปัญหามลพิษที่สามารถแพร่กระจายจากระยะไกล ซึ่งการศึกษารังนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของโอโซนในพื้นที่เฝ้าระวังได้

**คำสำคัญ:** backward trajectory, HYSPLIT, โอโซน, ทวีปเอเชีย, มลอากาศ, การแพร่กระจายในระยะไกล



## บทนำ

ทวีปเอเชียเป็นทวีปใหญ่และมีประชากรมากกว่าครึ่งหนึ่งของโลก กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์จึงมีมากและเกิดเป็นปัญหามลพิษ โดยปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจากกิจกรรมมนุษย์ในทวีปเอเชียได้เพิ่มขึ้นจนอยู่ในอันดับสูง<sup>1</sup> ทั้งยังสามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับกว้างและมลพิษทางอากาศสามารถแพร่กระจายในระยะไกลโดยสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ฤดูที่ส่งผลกระทบชัดเจนคือ ฤดูหนาวและฤดูใบไม้ผลิเนื่องจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศจากภายในทวีปเอเชียมาสู่ชายฝั่งและแม้ว่าฤดูร้อนจะเป็นช่วงเวลาที่ความเข้มของแสงสูงเหมาะกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล<sup>2</sup> และมลพิษทางอากาศชนิดทุติยภูมิก็ตาม แต่มวลอากาศที่เข้าสู่ทวีปเอเชียส่วนใหญ่เป็นมวลอากาศสะอาดจากมหาสมุทรทำให้มีปริมาณของมลพิษอยู่ในระดับต่ำ ในการศึกษาการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศในระยะไกลชนิดของมลพิษที่มักใช้กันบ่อยคือคาร์บอนมอนนอกไซด์และโอโซน ซึ่งเป็นสารมลพิษที่สามารถแพร่กระจายได้ในระยะไกล<sup>3</sup> การเคลื่อนที่ของมวลอากาศที่นำพาเอามลพิษไปยังที่ต่าง ๆ สามารถส่งผลให้คุณภาพอากาศบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลง<sup>4</sup> กลุ่มเขม่าควันจากปรากฏการณ์ไฟป่าในประเทศพม่าซึ่งเข้าสู่ประเทศไทยทางทิศตะวันตกหรือตะวันตกเฉียงใต้มีผลกระทบกับสถานการณ์มลภาวะทางอากาศที่ตรวจพบในภาคเหนือของไทยในช่วงฤดูไฟป่าโดยเฉพาะในเดือนมีนาคมและเมษายนเป็นประจำทุกปี<sup>5</sup> ไฟป่าขนาดใหญ่ในไซบีเรียเป็นสาเหตุของมลพิษทางอากาศที่สำคัญและสามารถส่งผลกระทบต่อภูมิภาคเอเชียตะวันออกได้<sup>6,7</sup> มลพิษทางอากาศส่งผลอย่างทั้งทางตรงที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพอนามัยของมนุษย์และทางอ้อมโอโซนที่มีในปริมาณมากในบรรยากาศระดับพื้นผิว

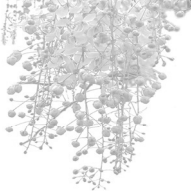
ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ สัตว์ และพืชผลทางการเกษตร โอโซนทำให้เกิดการระคายเคืองตา จมูก และคอ การแสบหน้าอก การไอ เกิดอาการเจ็บปวดเมื่อหายใจ<sup>8</sup> นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ<sup>9</sup>

ดังนั้นผู้ศึกษาจึงสนใจศึกษาการเปลี่ยนแปลงโอโซนในทวีปเอเชียโดยใช้ข้อมูลจากปี ค.ศ. 2004 เนื่องจากปีดังกล่าวมีหน่วยงานหลายแห่งที่ได้ทำการตรวจวัดปริมาณโอโซนและเก็บรวบรวมไว้เป็นฐานข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วทวีปเอเชีย มีการเผยแพร่ข้อมูลที่สามารถสืบค้นเพื่อนำมาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ได้ โดยวิเคราะห์ร่วมกับการเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบย้อนกลับด้วยแบบจำลองทางอากาศ Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model (HYSPLOT) เพื่อช่วยให้ทราบถึงผลกระทบของการเคลื่อนตัวของมวลอากาศและแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีต่อโอโซนในทวีปเอเชีย

217

## วิธีการศึกษา

1. ข้อมูลทุติยภูมิของโอโซนเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิของปริมาณโอโซนในบรรยากาศระดับพื้นผิวจากการตรวจวัดโดยวิธี UV Absorption Ozone Analyzer ในปี ค.ศ.2004 จำนวน 11 สถานี จากแหล่งที่มาที่ได้รับการตีพิมพ์และเป็นที่ยอมรับระดับนานาชาติ ได้แก่ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG), Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET), Malaysian Meteorological Department, National Physical Laboratory (NPL) และ Physical Research Laboratory (PRL)<sup>10,11</sup> รายละเอียดสถานีตรวจวัดโอโซนที่นำมาศึกษาแสดง



ในรูปที่ 1 และตารางที่ 1 ข้อมูลทุติยภูมิของปริมาณโอโซนบันทึกค่าในคาบ 1 ชั่วโมง ผู้ศึกษานำมาจัดการด้วยกระบวนการทางสถิติ ได้ค่าเฉลี่ยรายปี และรายเดือนของโอโซนเพื่อนำมาวิเคราะห์กับปัจจัยการเคลื่อนตัวของมวลอากาศ แสดงได้ดังตารางที่ 2

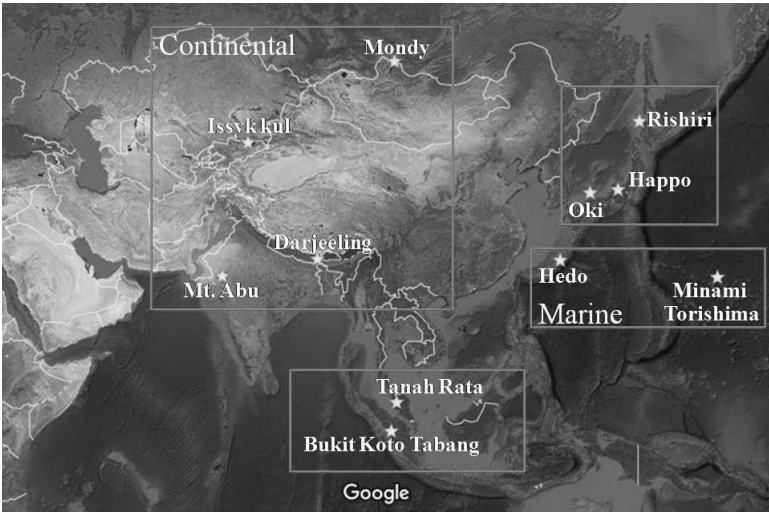


Figure 1 The Ozone Monitoring Sites in Asia.

Table 1 Description of Ozone Monitoring Sites.

Name of sites	Country/ Region	Lat/Long	Height above sea	Sources of data
1. Mondy	Russia/ Northern Asia	51° 39' N 100° 55' E	2,006 m	JAMSTEC
2. Issyk-kul	Kyrgyzstan/ Central Asia	42° 37' N 76° 59' E	1,640 m	WDCGG
3. Oki	Japan/East Asia	36° 17' N 133° 11' E	90 m	EANET
4. Happa	Japan/East Asia	36° 41' N 137° 48' E	1,840 m	EANET
5. Rishiri	Japan/East Asia	45° 07' N 141° 12' E	35 m	EANET
6. Hedo	Japan/East Asia	26° 50' N 128° 15' E	60 m	EANET
7. MinamiTorishima	Japan/East Asia	24° 17' N 153° 59' E	8 m	WDCGG
8. Tanah Rata	Malaysia/ South East Asia	4° 28' N 101° 22' E	1,545 m	Malaysian Meteorological Department
9. Bukit KotoTabang	Indonesia/ South East Asia	00° 20' S 100° 32' E	865 m	WDCGG
10. Darjeeling	India/South Asia	27° 03' N 88° 16' E	2,050 m	NPL
11. Mt.Abu*	India/South Asia	24° 30' N 72° 42' E	1,700 m	PRL

\* Data in 2000.



**Table 2** Frequency for Each Type of Trajectory and Statistical Data of Ozone in 2004.

Station			Month												Annual
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Mondy	Type (%)	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		N	6	-	6	-	3	-	14	7	10	-	-	6	5
		NE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		NW	42	34	48	17	42	27	10	34	10	26	30	13	29
		S	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	0
		SE	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	1
		SW	3	3	-	-	-	7	10	10	-	3	3	10	4
		W	48	62	45	83	48	47	66	45	80	71	67	58	61
	Ozone	Mean, ppb	41.6	45.0	48.5	52.6	60.7	45.8	41.7	42.0	38.6	40.6	39.9	38.5	44.6
		n (hr)	744	695	736	713	736	715	632	681	595	598	719	744	8308
Issykkul	Type (%)	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		N	3	3	-	-	6	7	13	13	7	-	-	-	5
		NE	-	7	-	-	3	7	-	-	-	-	-	-	1
		NW	6	3	6	15	48	40	10	29	59	39	30	13	25
		S	10	-	-	-	-	10	-	-	-	10	-	-	3
		SE	-	-	-	-	6	7	10	-	-	-	-	-	2
		SW	16	21	13	7	-	3	-	16	-	26	10	19	11
		W	65	66	81	78	35	23	55	42	33	26	60	68	53
	Ozone	Mean, ppb	38.1	37.4	36.1	37.1	44.2	45.6	45.5	46.8	40.0	33.4	31.5	31.0	38.9
		n (hr)	711	658	708	613	726	684	673	726	583	731	711	706	8230
Hedo	Type (%)	E	-	-	-	-	-	17	19	16	28	6	-	-	8
		N	-	3	-	-	-	3	-	3	0	-	-	7	2
		NE	-	-	-	-	-	-	6	10	10	-	-	-	2
		NW	35	14	13	27	19	13	10	3	3	61	30	15	23
		S	-	3	-	-	6	17	-	16	3	-	-	-	4
		SE	-	-	3	-	19	17	13	10	21	3	7	-	9
		SW	-	7	19	17	39	13	23	13	14	-	-	-	13
		W	65	72	61	57	16	17	13	3	3	13	47	70	40
	Ozone	Mean, ppb	46.3	46.8	35.0	37.9	27.7	21.1	9.2	13.7	15.3	40.7	48.7	44.0	32.2
		n(hr)	736	682	734	712	734	712	726	733	675	733	710	620	8507

**Table 2** Frequency for Each Type of Trajectory and Statistical Data of Ozone in 2004.  
(Con't.).

Station			Month												Annual
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Torishima	Type (%)	E	-	-	-	23	29	20	19	35	27	17	40	19	23
		N	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	0
		NE	-	-	-	-	10	-	-	-	17	7	-	-	3
		NW	-	10	-	-	23	10	13	10	27	10	3	3	11
		S	-	-	-	-	-	10	3	6	-	-	-	-	2
		SE	-	-	3	33	-	30	26	6	7	7	3	16	13
		SW	3	-	-	7	-	10	3	23	-	3	-	-	5
		W	87	72	65	7	32	-	32	-	-	30	30	52	42
	Ozone	Mean, ppb	41.9	47.2	40.9	27.2	36.4	21.7	17.7	13.1	23.8	28.3	31.0	38.5	30.7
		n(hr)	744	696	744	703	744	714	736	744	713	703	720	743	8704
Rishiri	Type (%)	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		N	-	-	-	17	-	-	6	13	-	-	-	6	4
		NE	23	16	10	7	-	-	13	-	-	-	-	3	6
		NW	52	76	58	30	35	63	29	45	30	32	52	39	46
		S	-	-	-	-	6	13	-	6	7	-	-	-	3
		SE	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	0
		SW	-	-	-	-	3	-	26	6	-	6	-	-	4
		W	26	8	26	43	55	23	26	26	53	61	37	52	38
	Ozone	Mean, ppb	40.9	47.8	53.5	54.8	57.9	42.4	31.4	30.7	37.4	41.1	37.9	38.5	42.9
		n(hr)	728	566	728	704	728	704	728	732	704	727	609	732	8390
Happo	Type (%)	E	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3	-	-	1
		N	3	-	3	-	-	3	-	-	-	-	-	3	1
		NE	3	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	1
		NW	61	52	42	30	23	45	19	-	-	16	23	16	28
		S	-	-	3	-	3	14	-	16	-	-	-	-	3
		SE	-	-	-	-	-	-	19	39	36	3	-	-	8
		SW	-	7	-	3	26	24	35	10	11	-	3	-	10
		W	32	41	52	63	48	17	19	35	43	65	73	81	49
	Ozone	Mean, ppb	48.8	58.3	64.1	73.7	71.2	58.7	49.0	46.2	46.7	51.6	50.6	51.8	55.9
		n(hr)	709	681	721	704	725	704	649	729	636	729	704	728	8419



**Table 2** Frequency for Each Type of Trajectory and Statistical Data of Ozone in 2004.  
(Con't.).

Station			Month												Annual
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Oki	Type (%)	E	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	0
		N	-	4	3	-	-	3	-	-	-	-	-	-	1
		NE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	1
		NW	61	52	39	40	23	40	10	-	-	19	11	5	27
		S	-	-	-	-	10	3	-	13	4	-	-	-	3
		SE	-	-	-	-	-	10	26	29	32	-	-	-	9
		SW	-	7	-	3	19	23	52	16	21	-	11	-	14
		W	35	37	55	57	48	17	6	26	36	61	79	95	46
	Ozone	Mean, ppb	39.6	46.9	51.3	60.5	56.3	47.3	34.2	33.0	40.7	42.8	44.1	38.8	44.8
		n(hr)	714	624	693	700	724	700	709	724	627	712	626	456	8009
Mt.Abu	Type (%)	E	-	-	-	-	-	-	6	39	20	-	-	-	5
		N	-	-	-	-	-	-	11	-	13	6	-	-	2
		NE	-	-	-	-	-	-	-	13	40	-	-	-	3
		NW	-	83	71	-	29	20	50	32	-	39	40	6	33
		S	-	-	-	-	10	-	-	3	13	6	-	13	4
		SE	-	-	-	-	24	-	-	-	7	16	-	-	4
		SW	-	-	-	4	5	-	28	13	7	-	-	10	5
		W	100	17	29	96	33	80	6	-	-	32	60	71	45
	Ozone	Mean, ppb	42.9	39.6	40.3	39.1	42.4	33.1	41.7	33.0	50.3	55.7	52.3	46.8	43.1
		n(hr)	742	693	744	600	477	99	381	732	341	741	720	741	7011
Darjeeling	Type (%)	E	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	0
		N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		NE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		NW	-	-	-	3	27	5	6	-	10	29	20	3	10
		S	-	-	-	3	-	11	26	-	10	-	-	-	5
		SE	-	-	-	-	-	5	-	-	-	3	-	-	1
		SW	-	-	4	-	15	53	68	100	37	13	-	3	26
		W	100	-	96	93	58	21	-	-	43	55	80	94	58
	Ozone	Mean, ppb	31.9	-	62.8	48.5	55.2	29.1	25.8	18.7	25.5	30.5	37.4	38.7	36.7
		n(hr)	460	-	500	720	624	427	744	566	720	744	720	744	6969



**Table 2** Frequency for Each Type of Trajectory and Statistical Data of Ozone in 2004.  
(Con't.).

Station			Month												Annual
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Tanah Rata	Type	E	-	-	-	44	13	-	-	-	20	29	-	-	15
	(%)	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		NE	-	-	-	22	-	-	-	-	3	3	-	-	4
		NW	-	-	-	7	19	-	-	-	-	3	-	-	4
		S	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	1
		SE	-	-	-	15	-	-	-	-	50	-	-	-	9
		SW	-	-	-	-	-	3	-	16	-	16	-	-	5
		W	-	-	-	-	68	97	100	84	20	48	-	-	62
	Ozone	Mean, ppb	-	-	-	19.1	22.6	26.0	14.0	17.8	18.1	15.5	-	-	19.0
		n(hr)	-	-	-	623	744	701	741	737	719	743	-	-	5008
Bukit Koto Tabang	Type	E	-	7	-	32	-	-	-	-	13	19	-	3	6
	(%)	N	-	-	8	4	-	-	-	-	-	-	-	10	2
		NE	58	29	35	16	-	-	-	-	-	6	70	42	22
		NW	13	11	15	16	13	-	-	-	10	-	-	10	7
		S	6	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10	35	6
		SE	-	-	-	12	-	-	-	-	50	16	-	-	7
		SW	19	-	-	-	-	3	-	17	-	-	7	-	4
		W	3	32	42	4	87	97	100	83	27	45	10	-	46
	Ozone	Mean, ppb	15.0	11.9	12.8	14.2	13.2	13.4	10.9	16.2	10.4	14.1	12.4	12.1	13.0
		n(hr)	722	648	567	593	742	713	628	714	713	730	714	730	8214

2. การศึกษาการเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบย้อนกลับ (Backward Trajectory Analysis) โดยศึกษาทิศทางการเคลื่อนตัวของสารมลพิษทางอากาศที่เข้าสู่แต่ละพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลองทางอากาศ HYSPLIT Model Version 4<sup>12,13</sup> พัฒนาขึ้นโดย NOAA Air Resources Laboratory สำหรับคำนวณทิศทางการเคลื่อนตัว (Trajectory) ของมวลอากาศใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันที่ทำการเก็บรวบรวมไว้จาก NOAA Air Resources Laboratory<sup>14</sup>

จำลองการเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบย้อนกลับ (Backward Trajectory) 10 วันก่อนเข้าสู่สถานีตรวจวัดกำหนดตัวแปรที่จำเป็นใน Model และเลือกระดับความสูงของการศึกษาเท่ากับ 2,500 m-AGL อ้างอิงจากระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของสถานีตรวจวัดเพื่อให้ Trajectory ตกพื้นก่อนเข้าสู่สถานีตรวจวัดโดย

- Starting Time: เลือกวันที่จะทำการวิเคราะห์วิถีมวลอากาศ การศึกษารั้งนี้เลือกเวลาที่

00 UTC ซึ่งเป็นเวลาสากลเชิงพิกัด

- Number of Starting Locations: จำนวนสถานีที่จะศึกษา และเลือก Setup Starting Locations เพื่อใส่พิกัดสถานีตรวจวัด
- Total Run Time (hrs): การศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาย้อนกลับ 10 วัน จึงใส่ค่าที่ -240 ชั่วโมง
- Add Meteorology Files: นำเข้าข้อมูล

อุตุนิยมวิทยาจากข้อมูลที่ได้ดาวน์โหลดไว้แล้วโดยสามารถใส่ได้สูงสุด 12 ไฟล์

การแสดงผลผ่านโปรแกรม GSview ซึ่งสามารถแปลงให้มีการแสดงผลเป็นรูปภาพตัวอย่าง การคำนวณการเคลื่อนตัวของมวลอากาศทั้ง 11 สถานีแสดงในรูปที่ 2

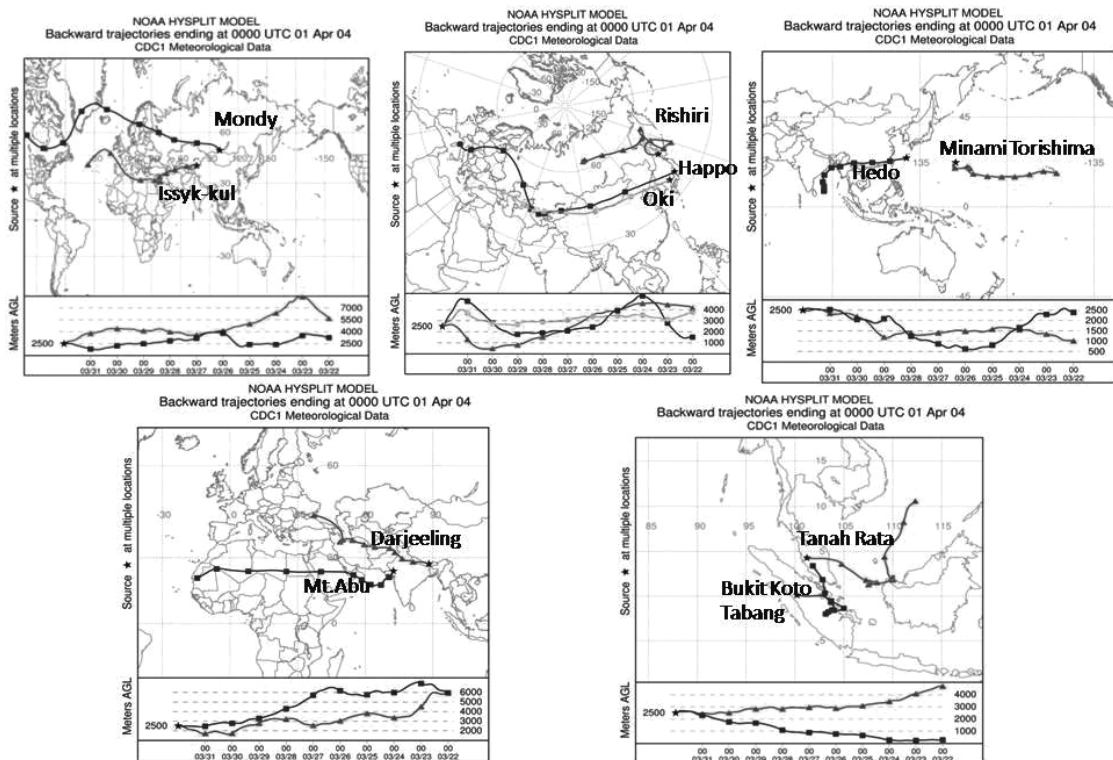


Figure 2 Backward Trajectories of Ozone Monitoring Sites.

3. การจำแนกความถี่ของทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่เคลื่อนที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด โดยแบ่งเป็นจำนวน 8 ทิศทางย่อย ทิศละ 45 องศา ( $\pm 22.5$  องศาจากทิศหลัก) ได้แก่

(1) ทิศ N (0 หรือ 360 องศา) - มวลอากาศมาจากทิศ NNW (337.5 องศา) ถึง ทิศ NNE (22.5 องศา)

(2) ทิศ NE (45 องศา) - มวลอากาศมาจากทิศ NNE (22.5 องศา) ถึง ทิศ ENE (67.5 องศา)

(3) ทิศ E (90 องศา) - มวลอากาศมาจากทิศ ENE (67.5 องศา) ถึง ทิศ ESE (112.5 องศา)

(4) ทิศ SE (135 องศา) - มวลอากาศมาจากทิศ ESE (112.5 องศา) ถึง ทิศ SSE (157.5 องศา)



(5) ทิศ S (180 องศา) - มวลอากาศมาจาก  
ทิศ SSE (157.5 องศา) ถึง ทิศ SSW (202.5 องศา)

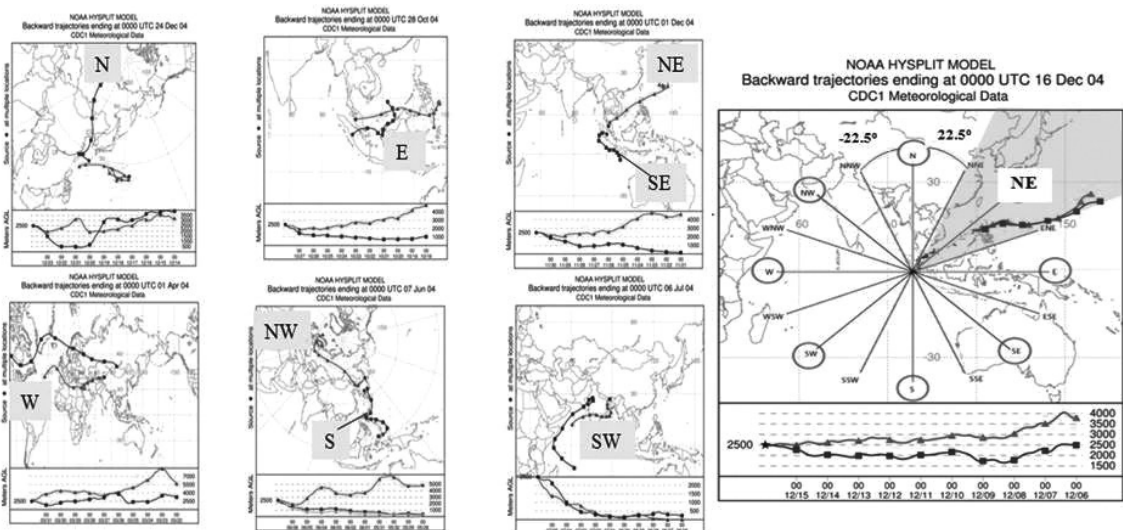
(6) ทิศ SW (225 องศา) - มวลอากาศ  
มาจากทิศ SSW (202.5 องศา) ถึง ทิศ WSW (247.5 องศา)

(7) ทิศ W (270 องศา) - มวลอากาศมาจาก  
ทิศ WSW (247.5 องศา) ถึง ทิศ WNW (292.5 องศา)

(8) ทิศ NW (315 องศา) - มวลอากาศ  
มาจากทิศ WNW (292.5 องศา) ถึง ทิศ NNW

(337.5 องศา)

ดังแสดงการจำแนกทิศทางและตัวอย่างของ  
มวลอากาศย้อนกลับ 10 วันที่เข้าสู่สถานีตรวจวัด  
ต่าง ๆ ในรูปที่ 3 ส่วนในตารางที่ 2 แสดงร้อยละ  
ของทิศทางมวลอากาศที่เข้าสู่สถานีตรวจวัดรายเดือน  
ทั้ง 8 ทิศทาง ทั้งนี้รูปแบบเส้นทางการเคลื่อนที่ของ  
มวลอากาศที่ไม่สามารถจำแนกทิศทางได้จะจัดเข้า  
กลุ่ม Un-classified (ร้อยละ 4.2 ของข้อมูลทั้งหมด)  
และมวลอากาศจากกลุ่มนี้จะไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์



**Figure 3** Eight Types of Air Masses Arriving at The Monitoring Sites

## ผลและอภิปรายผลการศึกษา

1. ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบ  
ย้อนกลับ Backward Trajectory: จำแนกความถี่  
ของทิศทางการเคลื่อนที่มวลอากาศที่เคลื่อนเข้าสู่  
สถานีตรวจวัดจำนวน 8 ทิศทาง พบว่า ในปี ค.ศ. 2004  
สถานีตรวจวัดส่วนใหญ่ได้รับมวลอากาศจากทิศ W  
(ร้อยละ 40-62) รองลงมา NW (ร้อยละ 23-33)  
โดยสถานีตรวจวัดที่ตั้งบนพื้นทวีป ได้แก่ Mondy,

Issykkul, Mt.Abu และ Darjeeling ได้รับมวลอากาศ  
จากทิศ W รองลงมา NW ซึ่งเป็นมวลอากาศที่เกิด  
และเคลื่อนผ่านภายในทวีปส่วนสถานที่ที่เป็นเกาะตั้งอยู่  
บริเวณภาคพื้นมหาสมุทรทางเอเชียตะวันออก ได้แก่  
Rishiri, Happo, Oki และ Hedo ได้รับมวลอากาศ  
จากทิศ W, NW และ SW เป็นส่วนใหญ่ ยกเว้น  
ที่สถานี Minami Torishima ได้รับมวลอากาศจาก  
ทิศ W รองลงมา E และ SE ตามลำดับ และสถานี



ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ Tanah Rata และ Bukit Koto Tabang ได้รับมวลอากาศจากทิศ W, NE และ E เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้คำนวณความถี่ของทิศทางมวลอากาศที่เคลื่อนที่เข้าสู่สถานีตรวจวัดได้ดังแสดงในตารางที่ 2

2. การเคลื่อนตัวของมวลอากาศกับการเปลี่ยนแปลงของโอโซน: พบว่า ผลการศึกษาเส้นทางที่มวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่าง ๆ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโอโซนในทวีปเอเชียดังนี้

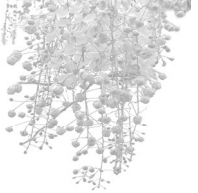
สถานี Mondy ประเทศรัสเซีย และ สถานี Issyk-kul ประเทศคีร์กีซสถาน ตั้งอยู่ทางตอนบนของทวีปเอเชีย (เอเชียเหนือและเอเชียกลาง) ได้รับมวลอากาศจากทิศ W รองลงมาทิศ NW ซึ่งเป็นมวลอากาศที่มาจากภายในภาคพื้นทวีปของยูเรเชีย (ทวีปเอเชียและยุโรป) ในขณะที่สถานี Issyk-kul ช่วงสิงหาคมและตุลาคมถึงเมษายนได้รับมวลอากาศจากทิศ SW ซึ่งเป็นมวลอากาศจากมหาสมุทรอินเดียที่มีอากาศสะอาดกว่า<sup>15</sup> อาจเป็นส่วนที่ทำให้ค่าเฉลี่ยรายปีของโอโซนที่สถานี Issyk-kul (38.9 ppb) ต่ำกว่าที่ Mondy (44.6 ppb)

สถานี Mt.Abu และ Darjeeling ประเทศอินเดีย ทางภูมิภาคเอเชียใต้ พบว่าที่สถานี Mt.Abu มีมวลอากาศส่วนใหญ่จากทิศ W รองลงมา NW เกือบทั้งปี มีค่าเฉลี่ยโอโซนช่วงดังกล่าวระหว่าง 33.1-55.7 ppb ขณะที่สถานี Darjeeling มวลอากาศส่วนใหญ่มาจากทิศ W รองลงมา NW เกือบทั้งปีเช่นกัน มีค่าเฉลี่ยโอโซนระหว่าง 25.5-62.8 ppb ในเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมได้รับมวลอากาศจากทิศ SW มีค่าเฉลี่ยโอโซนระหว่าง 18.7-29.1 ppb ซึ่งต่ำกว่าช่วงเวลาอื่นเนื่องจากช่วงดังกล่าวได้ผ่านมหาสมุทรอินเดียที่มีอากาศสะอาดกว่า

สถานี Hedo และ Minami Torishima

ชายฝั่งตะวันออกของทวีปเอเชียในช่วงลมมรสุมฤดูหนาวระหว่างเดือนตุลาคมถึงเมษายนพบว่าที่สถานี Hedo ได้รับมวลอากาศจากทิศ W รองลงมาจากทิศ NW พัดผ่านพื้นทวีปเอเชียและมหาสมุทรแปซิฟิก มีค่าเฉลี่ยโอโซนระหว่าง 35.0-48.7 ppb ส่วนเดือนพฤษภาคมถึงกันยายนได้รับมวลอากาศจากทิศทางใต้ของสถานีพัดผ่านมหาสมุทรแปซิฟิกมีค่าเฉลี่ยโอโซน 9.2-27.7 ppb ขณะที่สถานี Minami Torishima ได้รับมวลอากาศจากทิศ W รองลงมาทิศ NW มีค่าเฉลี่ยโอโซนระหว่าง 23.8-47.2 ppb และได้รับมวลอากาศจากทิศ E SE และ SW ในเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมจากลมทะเลที่พัดผ่านมหาสมุทรแปซิฟิก มีค่าเฉลี่ยโอโซน 13.1-21.7 ppb

สถานี Rishiri Happo และ Oki ประเทศญี่ปุ่น พบว่าที่สถานี Rishiri ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศญี่ปุ่นได้รับมวลอากาศจากทิศ NW เป็นส่วนใหญ่ ช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม, มิถุนายนถึงสิงหาคม และพฤศจิกายน ค่าเฉลี่ยโอโซนอยู่ระหว่าง 30.7-53.5 ppb รองลงมา คือทิศ W ช่วงเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม, กันยายนถึงตุลาคม และธันวาคม มีค่าเฉลี่ยโอโซน 37.4-57.9 ppb สถานี Happo และ Oki ได้รับมวลอากาศจากทิศ W เป็นส่วนใหญ่ ในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม เช่นเดียวกันโดยค่าเฉลี่ยโอโซนที่สถานี Happo ช่วงดังกล่าวเท่ากับ 46.7-73.7 ppb และที่สถานี Oki เท่ากับ 38.8-60.5 ppb รองลงมา คือทิศ NW ในช่วงเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์และมิถุนายนที่สถานี Happo มีค่าเฉลี่ยโอโซนเท่ากับ 48.8-58.7 ppb และที่ Oki เท่ากับ 39.6-47.3 ppb ทั้งนี้พบว่าในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมทั้ง 3 สถานีได้รับมวลอากาศจากทิศ SW, SE และ S ซึ่งเป็นมวลอากาศที่มาจากทะเลจีนใต้และมหาสมุทรแปซิฟิก



มวลอากาศเคลื่อนผ่านพื้นที่ที่มีมลพิษจากกิจกรรมของมนุษย์ในตอนกลางของภูมิภาคเอเชียตะวันออก<sup>16,17</sup> เข้าสู่ญี่ปุ่นปริมาณโอโซนจะมีค่าสูง ส่วนมวลอากาศที่มาจากมหาสมุทรแปซิฟิกจะส่งผลให้ปริมาณโอโซนต่ำกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Pochanart และคณะ<sup>18</sup> ที่ศึกษาการแพร่กระจายของโอโซนจากจีนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายน ปี 2004 ไปยัง Hedo พบว่า โอโซนเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านตอนกลางของจีน ปริมาณของโอโซนในตอนกลางของจีนเกิดจากมลพิษที่มาากิจกรรมของมนุษย์เป็นส่วนใหญ่และการเคลื่อนตัวมวลอากาศส่งผลต่อปริมาณของโอโซน<sup>19,20</sup> เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kato และคณะ<sup>21</sup> พบว่า มวลอากาศส่วนใหญ่ที่เข้าสถานี Happo ประเทศญี่ปุ่นมาจากทางทิศตะวันตกมีความเข้มข้นของ CO สูงกว่ามวลอากาศจากทิศเหนือและมวลอากาศที่พัฒมาจากมหาสมุทร

สถานี Tanah Rata ในประเทศมาเลเซีย และสถานี Bukit Koto Tabang ในประเทศอินโดนีเซียทางภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่า สถานี Tanah Rata (ข้อมูลช่วงเมษายนถึงตุลาคม) ได้รับมวลอากาศจากทิศ W ในเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม และตุลาคม มีค่าเฉลี่ยโอโซนระหว่าง 15.5-26.0 ppb เดือนเมษายนได้รับมวลอากาศจากทิศ E (ค่าเฉลี่ยโอโซน 19.1 ppb) เดือนกันยายนได้รับมวลอากาศจากทิศ SE (ค่าเฉลี่ยโอโซน 18.1 ppb) เช่นเดียวกับสถานี Bukit Koto Tabang ได้รับมวลอากาศจากทิศ W ในเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคมและตุลาคม มีค่าเฉลี่ยโอโซนระหว่าง 10.9-16.2 ppb เดือนกันยายนได้รับมวลอากาศจากทิศ SE (ค่าเฉลี่ยโอโซน 10.4 ppb) โดยมีค่าเฉลี่ยโอโซนต่ำกว่าสถานี Tanah Rata อย่างไรก็ตามทั้ง 2 สถานีมีค่าเฉลี่ยของโอโซนต่ำกว่าจากทุกสถานีในพื้นที่ศึกษาเนื่องจาก

ได้รับอิทธิพลจากลมทะเลตลอดทั้งปี จึงทำให้มีความเข้มข้นของโอโซนที่ต่ำกว่า ทั้งนี้การเคลื่อนตัวของมวลอากาศกับการเปลี่ยนแปลงของโอโซนทั้ง 11 สถานีพบว่ามวลอากาศที่มีเส้นทางผ่านที่แตกต่างกันส่งผลต่อมลพิษทางอากาศที่แตกต่างกัน<sup>22</sup>

## สรุปผล

การเคลื่อนตัวของมวลอากาศแบบย้อนกลับที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโอโซนในทวีปเอเชีย ปี ค.ศ. 2004 พบว่าอิทธิพลมวลอากาศที่เคลื่อนตัวผ่านภาคพื้นทวีปหรือมหาสมุทรส่งผลให้ความเข้มข้นของโอโซนแตกต่างกัน นอกจากนี้การที่มวลอากาศเคลื่อนตัวผ่านแหล่งกำเนิดมลพิษสามารถทำให้ปริมาณโอโซนสูงขึ้นได้จากค่าเฉลี่ยของโอโซนเปรียบเทียบกับรายสถานีตามกลุ่มทิศทางการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ โดยสถานีที่ได้รับมวลอากาศจากทิศ W ซึ่งมาจากภายในภาคพื้นทวีปมีความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่ามวลอากาศที่มาจากทิศอื่น แสดงได้จาก สถานี Happo และ Oki ในภูมิภาคเอเชียตะวันออก ได้รับมวลอากาศจากทิศ W เป็นส่วนใหญ่ มีค่าเฉลี่ยรายปีของโอโซนสูงกว่าสถานีอื่นเท่ากับ 55.9 ppb และ 44.8 ppb ตามลำดับรองลงมาที่สถานี Mondy ประเทศรัสเซีย ค่าเฉลี่ยรายปีของโอโซนเท่ากับ 44.6 ppb และที่สถานี Hedo มีค่าเฉลี่ยโอโซนสูงกว่า Minami Torishima เนื่องจากสถานี Minami Torishima ได้รับมวลอากาศที่ผ่านมหาสมุทรยาวนานกว่า จึงทำให้มีกระแสน้ำอากาศที่สะอาดกว่าในขณะที่สถานี Tanah Rata และ Bukit Koto Tabang ทางภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะได้รับอิทธิพลมวลอากาศผ่านมหาสมุทรตลอดทั้งปี ค่าเฉลี่ยของโอโซนจึงต่ำกว่าสถานีที่ตั้งอยู่ทางตอนบนของทวีปเอเชีย



## เอกสารอ้างอิง

1. Akimoto H. Global Air Quality and Pollution. Science. 2003; 302: 1716-9.
2. Sanhueza E, Crutzen PJ, Fernandez E. Production of boundary layer ozone from tropical American savannah biomass burning emission. Atmospheric Environment. 1999; 33(30): 4969-75.
3. Pochanart P. Air pollution and long-range transport in Asia: (1) East Asia. Journal of Environmental Management. 2012; 8(1):57-77.
4. Zhang R, Li G, Fan J, Wu DL, Molina MJ. Intensification of Pacific storm track linked to Asian pollution. Environmental Sciences. 2007; 104(13): 5295-9.
5. Phayungwiwatthanakoon C. Spatial modeling of airborne particulate matter distribution based on MODIS data in the upper Northern Thailand. [Ph.D. Thesis in Geoinformatics]. Nakhonratchasima: School of Remote Sensing - Institute of Science, Suranaree University of Technology Academic; 2013.
6. Tanimoto H, Kajii Y, Hirokawa J, Akimoto H, Minko NP. The atmospheric impact of boreal forest fires in far eastern Siberia on the seasonal variation of carbonmonoxide: Observation at Rishiri, a northern remote island in Japan. Geophysical Research Letters. 2000; 27(24): 4073-6.
7. Phadnis MJ, Carmichael GR. Forest fire in the boreal region of China and its impact on the photochemical oxidant cycle of East Asia. Atmospheric Environment. 2000; 34: 483-98.
8. World Health Organization. Air quality guidelines - global update 2005. Available at [http://www.who.int/phe/health\\_\\_topics/outdoorair/outdoorair\\_\\_aqg/en/](http://www.who.int/phe/health__topics/outdoorair/outdoorair__aqg/en/), accessed December 12, 2015.
9. Kitchanapaibul S, Klunklin S. Risk Assessment of the Effects of Climate Change in Muang District, Chiang Rai Province. Journal of Public Health. 2012; 42(1): 18-29.
10. Tanimoto H, Mukai H, Sawa Y, Matsueda H, et al. Direct assessment of international consistency of standards for ground-level ozone: strategy and implementation toward metrological traceability network in Asia. Journal of Environmental Monitoring. 2007; 9(11):1183-93
11. Eyi W, Tatsuya S and Hiromasa U. Assessment of Ozone Variability in East Asia during Recent Years. EANET Research Fellowship Program 2005; 3-20.
12. NOAA Air Resources Laboratory. HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model. Available



- at <http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>, accessed September 7, 2012.
13. 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.
  14. NOAA Air Resources Laboratory. NCEP/NCAR Reanalysis Data Archive. Available at <http://arlftp.arlhq.noaa.gov/pub/archives/reanalysis>, accessed September 7, 2012.
  15. Pochanart P, Akimoto H, Kajii Y, Potemkin VM, Khodzher TV. Regional background ozone and carbon monoxide variations in remote Siberia/East Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2003;108(D1): 4028–45.
  16. 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.
  17. Wang Y, 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. Pochanart P, Wang Z, Akimoto H. Boundary layer ozone transport from eastern China to southern Japan : Pollution episodes observed during monsoon onset in 2004. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 2015; 9(1): 48–56.
  19. 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.
  20. Li J, Wang ZF, Akimoto H, Gao C, Pochanart P, Wang X. Modeling study of ozone seasonal cycle in lower troposphere over east Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2007; 112(D22): DOI: 10.1029/2006JD008209.
  21. Kato S, Pochanart P, Hirokawa J, Kajii Y, Akimoto H, Ozaki Y, et al. The influence of Siberian forest fires on carbon monoxide concentrations at Happono, Japan. *Atmospheric Environment*. 2002; 36(2): 385– 90.
  22. 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.



## Analysis of Air Mass Backward Trajectory of Regional Ozone in Asia 2004

*Orapan Paekul\* Pakpong Pochanart\**

### ABSTRACT

The objective of this work was to study ozone variations in Asia using data regarding ozone from 11 monitoring stations in Asia in 2004 compared with the 10-day backward trajectory of air masses by the HYSPLIT Model. The trajectories were categorized in 8 sectors of air masses. Most air masses came from the W and NW directions. The mixing ratios of ozone in E Asia were considerably high when the air masses from the W sector passed over sources of pollution such as at Haplo and Oki stations with an annual average of 55.9 ppb and 44.8 ppb of ozone, respectively. Mondy station in Siberia had an annual ozone average of 44.6 ppb with air masses from the inner region of the continent. On the E coast of Asia, Minami Torishima station had a lower ozone average as the air masses passed over the ocean, with an annual average of 30.7 ppb. As most

air masses passed over the ocean all year long, Tanah Rata and Bukit Koto Tabang stations in SE Asia had lower ozone averages than other stations in Asia, 19.0 ppb and 13.0 ppb, respectively. The air masses moving through different regions and sources of pollution caused ozone mixing ratio variations in Asia. The monitoring stations received the movement of air masses on the mainland and detected higher concentration compared with air mass movement from the ocean. In addition, not only local air pollution sources but the long range transport of pollution should be taken into account. The findings from this research could benefit ozone prediction particularly in the monitoring areas.

**Keywords:** backward trajectory, HYSPLIT, Ozone, Asia, air mass, long range transport