



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

### โครงการวิจัยเรื่อง

มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพในพื้นที่ภัยพิบัติ  
จากธรรมชาติและอุตสาหกรรม ในประเทศไทย

Air Pollution and Health Effects in Natural Disaster and industrial areas in Thailand

สัญญาเลขที่ GRB\_APS\_๒๐\_๕๗\_๒๓\_๐๔  
ปีงบประมาณ ๒๕๕๗

เสนอ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร. วนิตา จินศาสตร์

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## มลพิษอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพในพื้นที่ภัยพิบัติจากธรรมชาติและอุตสาหกรรม ในประเทศไทย

### บทคัดย่อ

แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ทั้งจากกิจกรรมของมนุษย์และภัยพิบัติจากธรรมชาติ ทำให้ระดับมลพิษในสิ่งแวดล้อมอากาศสูงขึ้น ผู้วิเคราะห์และตัดสินใจดำเนินการด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเกี่ยวกับมลพิษอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพประชาชน ในประเทศไทย โดยทำการศึกษาในพื้นที่ 3 แห่ง ได้แก่ ชุมชนเขตเมือง กรุงเทพมหานคร ที่มีปัญหามลพิษจากการจราจร เขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งได้รับมลพิษหลักจากไฟป่า และเขตพื้นที่ชายฝั่งตะวันออก ที่ได้รับมลพิษหลักจากอุตสาหกรรม ซึ่งพบว่า มลพิษอากาศที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้ประชาชนในพื้นที่รับสัมผัส มีอัตราการเสียชีวิต และอาการเจ็บป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น ข้อมูลจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงถูกนำมารวบรวมประมวลผลในรูปแบบของระบบแผนที่ความเสี่ยงโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบผลกระทบในอนาคตต่อไป

## Air pollution and Health Effects in natural disaster and industrial areas in Thailand

### **Abstract**

As the air pollution sources are increasing from various anthropogenic activities and natural disaster which caused the rising of pollutions in the air environment. In the environmental management concerning, the decision makers require predictions relating to important issues concerning air quality and health. In this study, the assessment of environmental health effects to air pollutions from different sources, traffic, bush fire and industries were investigated. The study areas were Bangkok, north of Thailand and eastern of Thailand. The health risk assessments in the selected areas were identified and compiled into the Hazard maps using application of air modeling and Geographic Information System. Hazard maps and risk analysis are the outcome for further health effect monitoring.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล

ปีงบประมาณ ๒๕๕๗

สัญญาเลขที่ GRB\_APS\_๒๐\_๕๗\_๒๓\_๐๔

คณะวิจัย ขอขอบคุณ หน่วยงานที่ให้ข้อมูลประกอบการศึกษาวิจัยคือ  
การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม  
กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม  
กลุ่มระบาดวิทยาและข่าวกรอง กระทรวงสาธารณสุข

## บทรายงานสรุปผู้บริหาร

การวิจัยโครงการ “มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพในพื้นที่ภัยพิบัติ จากธรรมชาติและอุตสาหกรรม ในประเทศไทย” นี้ เป็นการศึกษาผลของมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพประชาชน ในประเทศไทย เนื่องมาจากการเจริญเติบโตของเขตเมือง และชุมชนอุตสาหกรรม ทำให้แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ทั้งจาก กิจกรรมของมนุษย์ การเผาในที่โล่ง และไฟฟ้า ที่เป็นภัยพิบัติจากธรรมชาติที่มีสถิติการเกิดสูงขึ้นทุกปี อาจกล่าวได้ว่ามลพิษอากาศจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ล้วนมีผลกระทบต่อสุขภาพ ทำให้อัตราการเสียชีวิต และอาการเจ็บป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจ เพิ่มขึ้น ในโครงการวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ภัยพิบัติและเขตอุตสาหกรรม โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษกับอาการโรคระบบทางเดินหายใจ และจัดทำข้อมูลประมวผลของผลกระทบในรูปแบบของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศศาสตร์เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบต่อไป โดยทำการศึกษาในพื้นที่ 3 แห่ง ได้แก่ ชุมชนเขตเมือง กรุงเทพมหานคร ที่มีปัญหามลพิษจากการจราจร เขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งได้รับมลพิษหลักจากไฟฟ้า และเขตพื้นที่ชายฝั่งตะวันออก ได้รับมลพิษหลักจากอุตสาหกรรม การดำเนินการวิจัยแบ่งสามส่วนคือ

### 1. ศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมอากาศโดยรวมของประเทศไทย และมลพิษอากาศในเขตเมือง

ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมอากาศโดยรวมของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ กับปริมาณมลพิษอากาศ รวมทั้งศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ต่อมาศึกษาการปล่อยมลพิษอากาศในพื้นที่เสี่ยง ในเขตชุมชนเมือง เขตอุตสาหกรรม และเขตพื้นที่ป่าภาคเหนือ ในช่วงแรกนี้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ และโปรแกรมทางสถิติ คาดการณ์ภาวะมลพิษมลพิษ ในช่วงแรกนี้ ได้มีผลวิจัยเผยแพร่ 4 บทความ ดังนี้

1. Jinsart W., and Thepanondh S. 2014 “Effects of climate change on heat accumulation and precipitation in Thailand” International Journal of Environmental Science and Development, 5(4), 340-343

เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และคาดการณ์สภาวะการเปลี่ยนแปลงของการสะสมความร้อน และปริมาณน้ำฝน เปรียบเทียบตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 อีก 30ปี ค.ศ.2042 และจนถึง ปี ค.ศ. 2092

2. Jinsart W., Arbmanee D, Ngeabprasert R and Pungkhom P. 2014 “ Impact on Visibility and Air Quality from Bushfire Smog in Northern Thailand” A&WMA’s 2014 Annual Conference & Exhibition Navigating Environmental Crossroads, June 24-27, 2014, Long Beach, CA,USA

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในบรรยากาศทั่วไป มีปริมาณสูงมาก ในช่วงที่มีไฟป่า มีผลกระทบต่อทัศนวิสัยและการเดินทาง การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละออง กับ ระยะการมองเห็น

3. Saengsai S. and Jinsart W 2015 “Ozone Formation Potential of Oxygenated Hydrocarbons: Phasing-in of Gasohol in Bangkok Thailand” IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology , 9(1), pp35-41

การวิจัยนี้ใช้โปรแกรมทางสถิติและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณมลพิษในอนาคต ของปริมาณไอโซนในเขตเมือง สารเคมีที่ทำให้เกิดไอโซนอยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เป็นสาเหตุสืบเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์อย่างมาก ในกรุงเทพมหานคร

4. Saengsai S. and Jinsart W 2015 “Evaluation of Urban Ozone Formation by Photochemical Ozone creation Potential Indices and Generalized Additive Model” BCEE-2015 International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering, February 3-4, 2015, Bali, Indonesia

ไอโซน เป็นมลพิษทุติยภูมิ เกิดจาก ปฏิกิริยาเคมีเชิงแสง ของ มลพิษอากาศหลัก การวิจัยนี้เป็นการประเมินและคาดการณ์การเกิดไอโซนในเขตเมือง เนื่องมาจาก ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สูงขึ้น โดยการคำนวณจาก Photochemical Ozone creation Potential Indices และโปรแกรมทางสถิติ Generalized Additive Model

## 2. ศึกษาผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ

และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ในส่วนที่ 2 นี้ เป็นการศึกษาผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพในพื้นที่เกิดไฟป่า ภาคเหนือ และผลกระทบในเขตอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งมีการจัดทำข้อมูลประเมินความเสี่ยงของผลกระทบในรูปแบบของแผนที่เสี่ยง ด้วยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังภาวะมลพิษ การดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ผลศึกษาวิจัย จัดทำเป็นบทความ 2 เรื่อง คือ

1. Pungkhom, P. and Jinsart, W., 2014 “Health Risk Assessment from bush fire air pollutants using statistical analysis and Geographic Information System: case study in the northern Thailand” International Journal of Geoinformatics, 10(1), 17-24

เป็นการศึกษาผลต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ของ ประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศจากหมอกควันในช่วงฤดูแล้ง มีสาเหตุจากไฟป่า พบว่า ความถี่ของการเกิดไฟป่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณมลพิษอากาศ ในช่วงเกิดไฟป่ามีปริมาณมลพิษสูงกว่าช่วงปกติ การรับสัมผัสก๊าซโอโซนมีอันตรายต่อสุขภาพ และประชาชนที่ได้รับสัมผัส สารอินทรีย์ระเหยง่าย มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง

2. Teerapatlada N., Wathanapanich Y., and Jinsart W 2015 “ Health risk assessment of industrial emissions in Map Ta Phut Thailand using AERMOD modeling and GIS based maps” ” International Journal of Geoinformatics, revision

เป็นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากร ที่มีที่พักอาศัย อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมลพิษ ในระยะ 5 กิโลเมตร ปริมาณ มลพิษในบรรยากาศทั่วไป คาดการณ์จาก แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD จากนั้น คาดการณ์เขตที่มีความเสี่ยง โดยใช้การคำนวณ ดัชนีอันตราย Hazard Index รวบรวมผล และจัดทำ แผนที่ ความเสี่ยงด้วยโปรแกรม ระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์

3. ศึกษาระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อมของผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพ

ในส่วนที่สามนี้ เป็นการศึกษาผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพทางเดินหายใจ ในเขตอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยทำการตรวจสอบสภาพปอด ของเด็กนักเรียน ในพื้นที่เสี่ยง ประกอบข้อมูลจาก แบบสอบถามด้านสุขภาพปอด การดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ผลศึกษาวิจัย จัดทำเป็นบทความ 1 เรื่อง ซึ่งอยู่ระหว่างรอการตอบรับ เพื่อตีพิมพ์ คือ

1. Asa, P., Jinsart W. and Yano E. 2015 “Lung function impairment and respiratory symptoms in school children expose to petrochemical pollution in Rayong province, Thailand” revision

เป็นการศึกษาผลสุขภาพของเด็กที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสมลพิษอากาศในปริมาณสูง กลุ่มศึกษาคือเด็กที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรม ตำบลมาบตาพุด จังหวัดระยอง กลุ่มควบคุม คือเด็กที่อยู่ห่างจากเขตอุตสาหกรรม มีที่พักอยู่ในตำบลเนินพระ จังหวัดระยอง ทำการตรวจสอบสภาพปอด และวิเคราะห์อาการของการ

หายใจ ของเด็กนักเรียน ด้วยแบบสอบถาม เปรียบเทียบกับกลุ่มประชากร ที่อยู่ ห่างจากแหล่งกำเนิดมลพิษใน ระยะต่างกัน 1 กิโลเมตร 5 กิโลเมตร และ 10 กิโลเมตร

## สรุป

โครงการวิจัยนี้มีผลการดำเนินงานทั้งหมด เผยแพร่สู่สาธารณะจำนวน 7 เรื่อง รายละเอียด ของ บทความทั้งหมดที่เป็นผลการวิจัยของโครงการนี้ อยู่ในภาคผนวกของรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การวิจัยต่อเนื่องจากโครงการวิจัยนี้ จะเป็นเรื่องต่อเนื่องกัน คือ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับ สัมผัสสารมลพิษทางอากาศของประชาชนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งอยู่ภายใต้ โครงการ การศึกษาผลกระทบ จากการแพร่กระจายของสารพิษในอากาศจาก การเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในที่โล่ง ซึ่งได้รับการ สนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ปีงบประมาณ ๒๕๕๘

๒๒ มิถุนายน ๒๕๕๘

วนิดา จีนาศาสตร์



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	
กิตติกรรมประกาศ	
บทรายงานสรุปผู้บริหาร.....	iv
สารบัญ .....	viii
สารบัญตาราง .....	ix
สารบัญภาพ .....	x
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	xi
<b>บทที่ 1</b>	<b>บทนำ..... 1-1</b>
<b>บทที่ 2</b>	<b>เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 2-1</b>
	2.1 การทบทวนวรรณกรรม สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง..... 2-1
<b>บทที่ 3</b>	<b>วิธีดำเนินการวิจัย..... 3-1</b>
	3.1 ศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมอากาศโดยรวมของประเทศไทยและมลพิษอากาศในเขตเมือง.....3-2
	3.2 ศึกษาผลกระทบมลพิษอากาศกับสุขภาพด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์..... 3-3
	3.3 ศึกษาระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อมของผลกระทบมลพิษอากาศกับสุขภาพ.....3-11
<b>บทที่ 4</b>	<b>ผลการวิจัยและอภิปรายผล ..... 4-1</b>
	4.1 ศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมอากาศโดยรวมของประเทศไทยและมลพิษอากาศในเขตเมือง.....4-2
	4.2 ศึกษาผลกระทบมลพิษอากาศกับสุขภาพด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.....4-3
	4.3 ศึกษาระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อมของผลกระทบมลพิษอากาศกับสุขภาพ.....4-3
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปและเสนอแนะ ..... 5-1</b>
	5.1 ผลจากการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศกลุ่มสารที่ไม่ก่อมะเร็งและสารที่มีความเป็นพิษเรื้อรัง..... 5-2
	5.2 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสมลพิษอากาศในเขตอุตสาหกรรมมาตาพุด จังหวัดระยอง..... 5-5
	5.3 ข้อเสนอแนะ ..... 5-9
เอกสารอ้างอิง.....	x-1
ภาคผนวก 1: ผลงานวิจัย บทความที่มีการเผยแพร่ .....	x-4
ภาคผนวก 2: ประวัตินักวิจัยและคณะพร้อมหน่วยงานสังกัด .....	x-58

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย..... 3-2
ตาราง 3.2	สถานีตรวจวัดปริมาณมลพิษอากาศและพิกัดของสถานีในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ..... 3-4
ตาราง 3.3	ขนาดสัมพัทธ์กับการตอบสนองของร่างกาย..... 3-7
ตาราง 3.4	ค่าระดับความเข้มข้นอ้างอิงในอากาศ..... 3-8

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1	พื้นที่ศึกษาใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ..... 3-4
รูปที่ 3.2	แผนที่แสดงนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ..... 3-5
รูปที่ 3.3	แสดงขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง ..... 3-6

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AT	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ได้รับสัมผัสสาร (Averaging Time)
BTEX	สารกลุ่ม เบนซีน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene) และไซลีน (Xylene)
CH <sub>4</sub>	ก๊าซมีเทน (Methane)
CO	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide)
CO-Hb	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จับตัวกับฮีโมโกลบินเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin)
C	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในอากาศ (Contaminant concentration in air)
CDI	ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารที่ได้รับในแต่ละวัน (Chronic daily intake)
CR	ความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogenic risks)
CSF	ค่าแสดงถึงศักยภาพของสารเคมีที่จะทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (Cancer Slope Factor )
df	ค่าที่ใช้เพื่อชดเชย ความผิดพลาดของตัวอย่าง (Degrees of freedom)
EC	ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัสในแต่ละวัน (exposure concentration)
ET	เวลาในการรับสัมผัส (exposure time)
EF	ความถี่ในการรับสัมผัส (exposure frequency)
ED	ระยะเวลาที่รับสัมผัสสาร (exposure duration)
EPA	สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency)
GIS	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ : Geographic Information System
GC/MS	เครื่อง Gas Chromatography / Mass Spectrometry
GPS	ระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก โดยอาศัยการคำนวณจากความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลกซึ่งทราบตำแหน่ง ทำให้ระบบนี้สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดที่สามารถรับสัญญาณได้ทั่วโลก (Global Positioning System)
HI	ดัชนีความเสี่ยงอันตรายต่อการเกิดโรคจากการสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็ง เป็นผลรวมของ HQ ของสารทุกตัว (Hazard Index)

H <sub>2</sub> O	น้ำ (water)
HQ	ค่าสัดส่วนความเสี่ยงอันตรายต่อการเกิดโรคจากการสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็ง (Hazard Quotient)
IARC	องค์การระหว่างประเทศด้านการศึกษาวิจัยเรื่องโรคมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer)
IUR	ค่าความเสี่ยงที่เป็นอันตรายเมื่อได้รับทางการหายใจ (Inhalation Unit Risk)
LOAEL	ปริมาณสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของร่างกายอย่างใดอย่างหนึ่ง (Lowest-Observed-Adverse-Effect Level)
LOEL	ปริมาณสารเคมีที่น้อยที่สุด ซึ่งได้รับแล้วทำให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียต่อร่างกายอย่างใดอย่างหนึ่ง (Lowest-Observed-Effect Level)
m	เมตร (Meter)
min	นาที (minute)
ml/min	มิลลิลิตรต่อนาที (milliliter per minute)
MODIS / Aqua	ดาวเทียมระบบ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer / Aqua
N/D	ทำการตรวจวัดแต่ไม่พบ (Not Detected)
NH <sub>4</sub>	ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia)
NO <sub>2</sub>	ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (nitrogen dioxide)
NOAEL	ปริมาณของสารเคมีที่มากที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษหรือผลเสียใดๆ ต่อร่างกาย หรือระดับการรับสัมผัสสูงสุด ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือไม่ได้มีนัยสำคัญทางชีวภาพเพิ่มขึ้น (No-Observed-Adverse-Effect Level)
NOEL	ปริมาณสารเคมีที่มากที่สุด ซึ่งได้รับทุกวันแล้วไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ต่อร่างกาย (No-Observed – Effect Level)
O <sub>3</sub>	ก๊าซโอโซน (Ozone)
O <sub>2</sub>	ก๊าซออกซิเจน (Oxygen)
PAHs	โพลีไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons)
ppb	การแสดงผลด้วยค่าของลิบต่อล้านล้านส่วน (parts per billion)
ppm	การแสดงผลด้วยค่าของลิบต่อล้านส่วน (parts per million)

PM	ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate Matter)
PM <sub>2.5</sub>	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Particulate Matter less than 2.5 micron in diameter)
PM <sub>10</sub>	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Particulate Matter less than 10 micron in diameter)
RfD	ปริมาณสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบทหรือความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพของมนุษย์ (Reference Dose)
RfCi	ความเข้มข้นสารเคมีที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจทุกวัน โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบทหรือความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพของมนุษย์ (inhalation reference concentration)
RS	การสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing System)
RR	ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk)
REL	ระดับสารเคมีที่มนุษย์ได้รับ โดยไม่ทำให้เกิดผลกระทบทหรือความผิดปกติใดๆ ต่อสุขภาพของมนุษย์ (Reference Exposure Level)
sec	วินาที (Second)
Sig.	ความสัมพันธ์ทางสถิติ (Statistical significance)
SO <sub>2</sub>	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide)
TDU/GC-MS	เทคนิคการวิเคราะห์ปริมาณสารอาศัยการแพร่ของสารที่ต้องการศึกษาเข้าไปยังสารดูดซับที่อยู่ในอุปกรณ์ (Thermal Desorption / Gas Chromatography - Mass Spectrometry)
THC	ปริมาณกลุ่มก๊าซไฮโดรคาร์บอนรวม (Total hydrocarbon)
TVOCs	ปริมาณกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยรวม (Total Volatile organic compounds)
U.S. EPA	สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมประเทศสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency)
UF	เป็นค่าที่นำมาใช้เพื่อแก้ไขหรือปรับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการนำเอาค่า NOAEL ในสัตว์ทดลองมาคำนวณหาค่า RfD สำหรับมนุษย์ (Uncertainty Factor )
UV-B	แสงอุลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet B)

VOCs	สารอินทรีย์ระเหย (Volatile organic compounds)
WHO	องค์การอนามัยโลก (World Health Organization)
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (microgram / cubic meter)
$\mu\text{m}$ .	ไมโครเมตร (micrometer)
$^{\circ}\text{C}$	หน่วยอุณหภูมิ องศาเซลเซียส (Celsius)

# บทที่ 1

## บทนำ



## 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ในประเทศไทย การศึกษาทางด้านระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อม เกี่ยวกับผลของมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพประชาชน ยังมีการวิจัยไม่มากนัก ทั้งที่ ระดับมลพิษและแหล่งกำเนิดมีเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่มาจากภัยพิบัติจากธรรมชาติและอุตสาหกรรม ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ อาการเจ็บป่วยและอัตราการตายที่เพิ่มขึ้นตามมา สาเหตุเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของเขตเมือง และชุมชนอุตสาหกรรม มีรายงานการศึกษาเบื้องต้นหลายบทความ รายงานผลของมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Langkulsen et al, 2006 พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร มีผลต่ออาการเรื้อรังของระบบทางเดินหายใจ และสมรรถภาพปอด ของเด็กนักเรียนในโรงเรียนที่ตั้งอยู่บริเวณการจราจรหนาแน่น Buadong et al, 2009 พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเข้ารับการรักษาโรกระบบหลอดเลือดหัวใจ Aekplakorn et al., 2003 ศึกษา ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ากับอาการระบบทางเดินหายใจของเด็ก และ Rumchev et al, 2004, Wilson et al, 2008 ได้รายงานไว้ว่า สารอินทรีย์ระเหยง่ายกับมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอาการหอบหืด จากตัวอย่างที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่ามลพิษทางอากาศเป็นภัยใกล้ตัว ที่มีผลต่อสุขภาพ ซึ่งควรมีการศึกษาวินิจฉัย ให้ข้อมูลแก่ประชากร เพื่อการควบคุมภาวะมลพิษและการป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพในพื้นที่ภัยพิบัติและอุตสาหกรรม
2. หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษกับอาการโรกระบบทางเดินหายใจ
3. จัดทำข้อมูลประมวลผลของผลกระทบในรูปแบบของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- พื้นที่ศึกษา 3 แห่ง ได้แก่ เขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งได้รับมลพิษหลักจากไฟป่า เขตพื้นที่ชายฝั่งตะวันออก ได้รับมลพิษหลักจากอุตสาหกรรม และ เขตพื้นที่ภาคใต้ ได้รับมลพิษหลักจากหมอกควันข้ามแดน

- ตัวแปร

- ตัวแปรต้น : มลพิษทางอากาศ ในพื้นที่ศึกษา
- ตัวแปรตาม : อาการระบบทางเดินหายใจ และผลของสมรรถภาพปอด
- ตัวแปรควบคุม : อายุ, การสูบบุหรี่, อาศัยในพื้นที่มากกว่า 3 ปี และไม่มีประวัติโรคทางเดินหายใจตั้งแต่เกิด

- ระยะเวลาวิจัย : 1 ปี

## 1.4 ทฤษฎี สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

ฝุ่นละอองหมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่มีอยู่ในอากาศ โดยเกิดจากกิจกรรมต่างๆทั้งโดยธรรมชาติและจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นละอองที่สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 100 ไมครอนเรียกว่า ฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศ (Total Suspended Particulates: TSP) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) เป็นฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากสามารถเข้าไปสะสมในระบบทางเดินหายใจได้ และถ้าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) จะเพิ่มผลกระทบต่อสุขภาพมากขึ้น เนื่องจากสามารถเข้าไปถึงถุงลมในปอดได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสามารถเข้าไปในระบบทางเดินหายใจผ่านโพรงจมูกเข้าไปถึงถุงลมในปอด รายงานจากการศึกษาวิจัยพบว่าพื้นที่ซึ่งมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในปริมาณมากจะมีจำนวนผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจมากขึ้นด้วย (Buadoung et al 2009, Nantavarn et al., 2008)

โอโซน ประกอบด้วยอะตอมออกซิเจน 3 อะตอม เป็นก๊าซที่เกิดจากการแตกตัวของโมเลกุลออกซิเจน เป็นเป็นอะตอมอิสระ โดยพลังงานจากดวงอาทิตย์และเกิดการรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจน เกิดเป็นโอโซน ด้วยปฏิกิริยาที่เรียกว่า โฟโตเคมีคอลออกซิเดชัน โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสีหรือมีสีฟ้าอ่อน มีกลิ่นฉุน ละลายน้ำได้เล็กน้อย ก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศในธรรมชาตินั้นมีอยู่แล้วในปริมาณที่เหมาะสม แต่เมื่อมีปริมาณสูงขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดทั้งจากยานพาหนะ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม คลังน้ำมัน และการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศก่อให้เกิดสภาพโฟโตเคมีคอลสโมค ซึ่งมีลักษณะเหมือนหมอกสีขาวๆปกคลุมอยู่ทั่วไปในอากาศ นอกจากนี้เมื่อมีปริมาณก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศที่มนุษย์อาศัยอยู่เพิ่มขึ้นทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต เนื่องจากโอโซนมีฤทธิ์กัดกร่อน ก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและเยื่อต่างๆ ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่ เป็นโรคปอดเรื้อรัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าสาร VOCs มาจากคำว่า Volatile organic Compounds หมายถึงกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอได้ง่าย กระจายตัวไปในอากาศได้ในอุณหภูมิและความดันปกติ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักของสาร ได้แก่ อะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และมีองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ออกซิเจน ฟลูออไรด์ คลอไรด์ โบรมีนด์ ซัลเฟอร์ และไนโตรเจน สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ใน

บรรยากาศจัดเป็นอากาศพิษ (Toxic Air) ซึ่งในชีวิตประจำวันเราได้รับสาร ชนิดนี้จากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้าน ควันบุหรี่ น้ำยาฟอกสี สารตัวทำลายในการพิมพ์ ฝุ่นสีรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับย้อมผม และตัดผม สารกำจัดศัตรูพืช สารที่เกิดจากการเผาไหม้ และปนเปื้อนในอากาศ น้ำดื่ม อาหาร และเครื่องดื่ม สารอินทรีย์ระเหยง่ายมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยมีผลโดยตรงต่อระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้สารอินทรีย์ระเหยง่ายบางตัวจัดเป็นสารก่อการกลายพันธุ์ และเป็นสารที่มีความเสี่ยงในการก่อมะเร็ง สารอินทรีย์ระเหยง่ายสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ การหายใจ การกิน-การดื่ม และการสัมผัสทางผิวหนัง หลังจากเข้าสู่ร่างกายแล้วจะถูกกำจัดโดยตับ ซึ่งจะมีเอนไซม์และระบบการเผาผลาญที่แตกต่างกัน กลไกการพิษของสารVOCs ต้องอาศัยความรู้ด้านเภสัชวิทยาและพิษจุลศาสตร์ เช่น สารพิษถูกเปลี่ยนแปลงทางเมตาบอลิซึมในตับ แล้วถูกขับออกทางปัสสาวะซึ่งความเป็นพิษต่อร่างกายจะมากขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ ได้แก่ 1) ช่วงครึ่งชีวิต (half life) ของสารVOCsในร่างกาย 2) สภาวะความสมบูรณ์และความแข็งแรงของร่างกาย และ 3) การทำงานของระบบขับถ่ายของเสีย (กรมควบคุมมลพิษ,2554)

สมมติฐานของงานวิจัยนี้คือ มลพิษทางอากาศในพื้นที่ภัยพิบัติและอุตสาหกรรม ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ในเรื่องของอาการระบบทางเดินหายใจ และผลของสมรรถภาพปอดของประชากรในพื้นที่ดังกล่าว

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบอุบัติการณ์อาการระบบทางเดินหายใจของประชากรในพื้นที่ศึกษา
- 2) ทราบความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ กับผลสุขภาพ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการจัดการมลพิษและป้องกันการเกิดผลกระทบในอนาคต
- 3) ผลศึกษาอาจนำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อพัฒนาระบบประกันสุขภาพของคนในพื้นที่เสี่ยง

## บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

Rumchev et. al., 2004 ศึกษาความสัมพันธ์ของการสูดหายใจรับสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับอาการหอบหืดในเมือง Perth ประเทศออสเตรเลีย ในเด็กเล็กช่วงอายุ 6 เดือน ถึง 3 ปี จำนวน 88 คนซึ่งรักษาอาการหอบหืดและกลุ่มควบคุมจำนวน 104 คน โดยการใช้แบบสอบถาม การสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ในสิ่งแวดล้อมช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนภายในห้องนั่งเล่นของบ้าน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายสูงมากกว่ากลุ่มควบคุม ชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญกับอาการหอบหืดคือ เบนซิน เอทิลเบนซินและโทลูอีน ตามลำดับ และทุกๆ 10 ยูนิต ที่เพิ่มขึ้นของโทลูอีนและเบนซิน มีความเสี่ยงกับการเกิดหอบหืดเกือบ 2 และ 3 เท่า ตามลำดับ

Wilson et al., 2008 ศึกษาความสำคัญของมลพิษสิ่งแวดล้อมในประชากรกับความเสี่ยงของระบบทางเดินหายใจ เพื่อหาอุบัติการณ์การเกิดโรคทางเดินหายใจจากปัจจัยด้านความเป็นปัจเจกบุคคล อาชีพและสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมหนัก ในปีค.ศ. 2002 ประชากรผู้ใหญ่จำนวน 31,704 คน จาก 6 เมืองในจังหวัด Liaoning ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน โดยใช้แบบสอบถามประเมินตนเอง ในเรื่องข้อมูลทั่วไป และอาการของโรคระบบทางเดินหายใจ ผลการศึกษาพบว่า อุตสาหกรรมเกิด(PRs) ของอาการไอ อาการมีเสมหะ เสี่ยงวิตและหอบหืด เท่ากับร้อยละ 2.3, 3.8, 2.1 และ 1.0 ตามลำดับ ค่าสถิติ odd<sub>s</sub> ratios (ORs) ของทั้ง 4 อาการ มีการเพิ่มขึ้น ได้แก่เรื่อง การสูบบุหรี่(ORs ตั้งแต่ 2.06 ถึง 5.02) ฝุ่นจากการทำงาน(ORs ตั้งแต่ 1.35 ถึง 1.72) แก๊สจากการทำงาน (ORs ตั้งแต่ 1.48 ถึง 1.72) และการระคายเคืองจากควันในระหว่างการทำอาหาร (ORs ตั้งแต่ 1.54 ถึง 2.22)

Fernando et al., 2009 ศึกษาาระบาดวิทยาแสดงถึงความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างมลพิษทางอากาศและระบบทางเดินหายใจ มีวัตถุประสงค์ศึกษาผลกระทบของมลพิษจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและสุขภาพทางเดินหายใจของเด็กอายุ 6-12 ปี ผู้ซึ่งอาศัยใกล้โรงงานปิโตรเคมีในเมือง La Plata ประเทศอาร์เจนติน่า จำนวน 282 คน เปรียบเทียบกับผู้อาศัยในพื้นที่การจราจรหนาแน่นจำนวน 270 คน และพื้นที่ปลอดมลพิษจำนวน 639 คน ได้สู่มิสระเด็กจำนวน 181คนเพื่อตรวจปอด สุ่มตรวจฝุ่นภายนอกและภายในอาคารรวมถึงระดับสารอินทรีย์ระเหย(VOCs) ในช่วงเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า เด็กที่อาศัยใกล้โรงงานปิโตรเคมีมีอาการหอบหืดร้อยละ 24.8 ซึ่งมากกว่าเด็กในพื้นที่อื่น(ร้อยละ 10.1-11.5) เด็กที่อาศัยใกล้โรงงานปิโตรเคมีมีอาการของระบบทางเดินหายใจ เช่น มีเสียงวีด, หอบเหนื่อยเมื่อออกแรง และเยื่อจมูกอักเสบ และมีค่าฟังก์ชันปอดต่ำกว่า เด็กที่อาศัยในพื้นที่อื่น

Pan et al., 2010 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศภายนอกอาคาร และความเจ็บป่วยของสุขภาพทางเดินหายใจของเด็ก ในจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย จำนวนเด็กทั้งหมด 11,860 คน ช่วงอายุ 3-12 ปี เลือกใน 18 ตำบลของ 6 เมือง ในจังหวัด Liaoning โดยได้ข้อมูลจากพ่อแม่ของเด็ก ผลการศึกษาพบว่าปริมาณมลพิษทางอากาศในพื้นที่ดังกล่าวได้แก่ ค่าฝุ่นละอองรวม(188-689 มค.ก./ลบ.ม.) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (14-140 มค.ก./ลบ.ม.) และไนโตรเจนไดออกไซด์(29-94 มค.ก./ลบ.ม.) มลพิษทางอากาศทั้ง 3 พารามิเตอร์นี้มีผลกับการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของอาการไอ (ร้อยละ21-28) การมีเสมหะ(ร้อยละ21-30) และการมีหอบหืด(ร้อยละ 39-56) สรุปผลการศึกษาพบว่ามลพิษทางอากาศสูงนี้มีผลโดยตรงกับอาการระบบทางเดินหายใจของเด็ก และพบว่ามลพิษของฝุ่นละอองรวม มากกว่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์

Buadoung et al, 2009 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน กับโรคระบบหลอดเลือดหัวใจในกรุงเทพมหานคร โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของจำนวนผู้ป่วยรายวันที่มารักษาตัวในสามโรงพยาบาลใหญ่ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฝุ่นละอองในหนึ่งวันที่ผ่านมา มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจในกลุ่มผู้สูงอายุ( $\geq 65$  ปี) โดยเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.10 (95% CI คือ 0.03, 0.19) เมื่อปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นระดับ  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Tony, Ward and Garon. (2000) ทำการเปรียบเทียบปริมาณมลพิษอากาศในช่วงก่อนเกิดไฟป่าและหลังเกิดไฟป่าโดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศในช่วงก่อนเกิดไฟป่าและหลังเกิดไฟป่า ในปี 2000 ซึ่งตัวอย่างที่สนใจศึกษา ได้แก่  $\text{PM}_{2.5}$   $\text{PM}_{10}$  CO และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds; VOCs) จำนวน 54 ชนิด ในเมือง มิสซูลา รัฐมอนแทนา ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า ปริมาณ  $\text{PM}_{2.5}$   $\text{PM}_{10}$  CO ในช่วงหลังเกิดไฟป่าสูงกว่าก่อนเกิดไฟป่าและมีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์การเกิดไฟป่า และจากการสกัดสาร VOCs พบว่ามีสาร เบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และ ไซลีน เพิ่มขึ้นหลังเกิดไฟป่า โดยปริมาณของเบนซีนและโทลูอีน มีความสัมพันธ์กับอุบัติการณ์การเกิดไฟป่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Johnston et al. (2002) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ  $\text{PM}_{10}$  จากหมอกควันกับจำนวนผู้ป่วยรายวันที่เข้ารับรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคหอบหืดในช่วงที่เกิดไฟป่า ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ  $\text{PM}_{10}$  มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคหอบหืดอัตรารายสัปดาห์ ร้อยละ 1.20 (95% CI คือ 1.09 - 1.34;  $p < 0.001$ ) เมื่อปริมาณ  $\text{PM}_{10}$  เฉลี่ยเพิ่มขึ้นระดับ  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อ  $\text{PM}_{10}$  สูงกว่า  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  มีผลทำให้ต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคหอบหืด ร้อยละ 2.39 (95% CI คือ 1.46 - 3.90) เมื่อเทียบกับวันที่ปริมาณ  $\text{PM}_{10}$  ต่ำกว่า  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Viswanathan et al. (2006) ได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากไฟฟ้าที่มีต่อคุณภาพอากาศและสุขภาพของผู้อาศัยอยู่ในซานดิเอโก โดยใช้ข้อมูลผลการตรวจวัดปริมาณสารมลพิษอากาศ ได้แก่  $PM_{10}$ , 24 ชั่วโมง  $CO$ ,  $O_3$  และก๊าซที่ทำให้โอโซนเพิ่มขึ้น ได้แก่  $CH_4$  และ Total hydrocarbon (THC) พบว่า ปริมาณสารมลพิษอากาศเพิ่มสูงขึ้น โดย  $PM_{10}$  และ  $CO$  มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานกำหนด ส่วน  $O_3$ ,  $CH_4$  และ Total hydrocarbon (THC) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดเนื่องจากไม่มีแสงแดดและเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ป่วยรายวันที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล 15 แห่งด้วยโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ หอบหืด หลอดลมฝอยอักเสบ ถุงลมโป่งพองและมีอาการเจ็บหน้าอก พบว่า มีผู้ป่วยเข้ารับการรักษาทั้งหมดจำนวน 31,321 คน เฉลี่ย 1,423 คนต่อวัน และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณมลพิษอากาศอย่างมีนัยสำคัญ

Buadong et al. (2009) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน กับโรคระบบหลอดเลือดหัวใจในกรุงเทพมหานคร โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของจำนวนผู้ป่วยรายวันที่มารักษาตัวในสามโรงพยาบาลใหญ่ ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฝุ่นละอองในหนึ่งวันที่ผ่านมา มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มจำนวนของผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจในกลุ่มผู้สูงอายุ ( $\geq 65$  ปี) โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.10 (95% CI คือ 0.03, 0.19) เมื่อปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยเพิ่มขึ้นระดับ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Pengchai et al. (2009) ศึกษาการแหล่งที่มาของ  $PM_{10}$  และ  $PM_{10}$ - bound PAHs ในอากาศทั่วไปของจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนโดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  และ  $PM_{10}$ - bound PAHs ทุก 3 วันเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตั้งแต่เดือนมิถุนายนปี 2005 ถึงมิถุนายน 2006 ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  และ  $PM_{10}$ - bound PAHs เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมและสูงสุดในเดือนมีนาคมก่อนที่จะลดลงในช่วงปลายเดือนเมษายน และพบว่าสาเหตุเกิดจากการการเกษตรและไฟป่ามากที่สุด รองลงมาคือจากการไอเสียของยานพาหนะและอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 46-82, 12-49 และร้อยละ 3-19 ตามลำดับ และในฤดูฝนพบว่าความเข้มข้นของสารทั้งหมดมาจากไอเสียของยานพาหนะมากที่สุดร้อยละ 16-37

Martins et al. (2011) ศึกษาผลกระทบจากไฟฟ้าที่มีต่อระดับ  $PM_{10}$  และ  $O_3$  ในพื้นที่ตอนเหนือของประเทศโปรตุเกสเป็นระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี 2003 – 2005 โดยใช้ LOTOS - EUROS โมเดลในการสร้างแบบจำลองลักษณะการกระจายตัวของมลพิษอากาศจากไฟฟ้าและพื้นที่ที่ถูกเผา เมื่อเปรียบเทียบช่วงที่เกิดไฟฟ้าและไม่เกิดไฟฟ้า พบว่าปริมาณ  $PM_{10}$  และ  $O_3$  ในช่วงที่เกิดไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 20 และปี 2005 มีปริมาณ  $PM_{10}$  และ  $O_3$  สูงสุด

## บทที่ 3

# วิธีดำเนินงานวิจัย



## วิธีดำเนินงานวิจัย

ศึกษาผลกระทบสุขภาพของมลพิษทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่ภัยพิบัติและเขตอุตสาหกรรม โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับมลพิษกับอาการโรคระบบทางเดินหายใจและจัดทำข้อมูลประมวลผลของผลกระทบในรูปแบบของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังและติดตามตรวจสอบต่อไป โดยทำการศึกษาในพื้นที่ 3 แห่ง ได้แก่ ชุมชนเขตเมือง กรุงเทพมหานคร ที่มีปัญหามลพิษจากการจราจร เขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งได้รับมลพิษหลักจากไฟป่า และเขตพื้นที่ชายฝั่งตะวันออก ได้รับมลพิษหลักจากอุตสาหกรรม การดำเนินการวิจัยแบ่งสามส่วนคือ

### ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม	เดือน												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	←→												
สำรวจพื้นที่ เลือกกลุ่มประชากร		←→											
ดำเนินการวิจัย			←→										
วิเคราะห์ข้อมูล								←→					
ประมวลผล									←→				
ทำรายงานสรุป									←→				
เผยแพร่ผลงานวิจัย										←→			

### 3.1 ศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมอากาศโดยรวมของประเทศไทย และมลพิษอากาศในเขตเมือง

ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมอากาศโดยรวมของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ กับปริมาณมลพิษอากาศ รวมทั้งศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ต่อมาศึกษาการปล่อยมลพิษอากาศในพื้นที่เสี่ยง ในเขตชุมชนเมืองเขตอุตสาหกรรม และเขตพื้นที่ป่าภาคเหนือ ในช่วงแรกนี้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ และโปรแกรมทางสถิติ คาดการณ์ภาวะมลพิษของประเทศไทยในอนาคต

3.1.1 การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และคาดการณ์สภาวะการเปลี่ยนแปลงของค่าการสะสม ความร้อน และปริมาณน้ำฝน เปรียบเทียบตั้งแต่ปี ค.ศ.2012 อีก 30 ปี ค.ศ.2042 และจนถึง ปี ค.ศ.2092 ใช้ โปรแกรมการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ SIMCLIM

3.1.2 ตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในช่วงที่มีไฟฟ้า ศึกษาผลกระทบต่อทัศนวิสัยและการเดินทาง โดยใช้ การคำนวณระยะมองเห็นจากภาพถ่าย ที่กำหนดพิกัดด้วย Global Positioning System เพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองกับระยะการมองเห็น

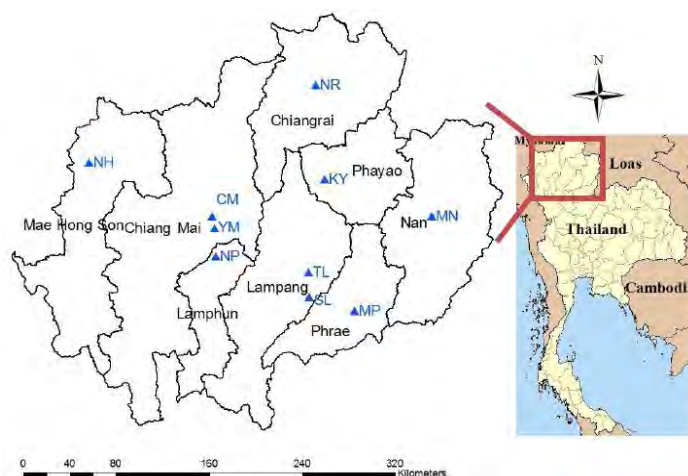
3.1.3. ใช้โปรแกรมทางสถิติและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณมลพิษในอนาคต โดยเฉพาะปริมาณโอโซนในเขตเมือง หาสาเหตุการเกิดสารเคมีที่ทำให้ปริมาณโอโซนสูงขึ้น ทำการประเมินและ คาดการณ์การเกิดโอโซนในเขตเมือง เนื่องมาจากปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สูงขึ้นโดยการคำนวณจาก Photochemical Ozone creation Potential Indices และโปรแกรมทางสถิติ Generalized Additive Model

### 3.2 ศึกษาผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศและระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์

ในส่วนนี้เป็นการศึกษาผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพในพื้นที่ ภาคเหนือ และผลกระทบในเขต อุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งมีการจัดทำข้อมูลประเมินความเสี่ยงของผลกระทบในรูปแบบของแผน ที่เสี่ยง ด้วยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังภาวะมลพิษ

#### 3.2.1 กำหนดพื้นที่ศึกษา

3.2.1.1 ในเขตภาคเหนือทำการศึกษาในพื้นที่ 8 จังหวัด ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย พะเยา แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน ลำพูน ลำปาง (รูปที่ 3.1) ซึ่งเป็นพื้นที่ประสบปัญหาหมอกพิษ อากาศและหมอกควันทุกปีในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม - เมษายน) เกษตรกรมักทำการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการทำการเกษตรในฤดูกาลต่อไป ทำให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศขึ้น จึงได้นำข้อมูล ผลการตรวจวัดปริมาณมลพิษจากสถานีตรวจวัด 10 สถานี (ตารางที่ 3.2) ในพื้นที่ 8 จังหวัด ทั้งหมด 4 ชนิด คือ ฝุ่นละออง  $PM_{10}$  ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โอโซน และสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX จากสถานีตรวจวัดใน พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการตรวจวัดมลพิษทางอากาศเพิ่มเติมในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอนและพะเยา เพื่อนำ ข้อมูลมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในเขตพื้นที่ภาคเหนือในช่วงที่เกิดไฟป่า และไม่เกิดไฟป่า



รูปที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน จำนวน 10 สถานี

ตารางที่ 3.2 สถานีตรวจวัดปริมาณมลพิษอากาศและพิกัดของสถานีในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน

จังหวัด	สถานี	พิกัด (UTM 47N)	
		x	Y
ลำปาง	อนามัยสบป่าด (Sob Pad, SL)	580762	2018151
	อนามัยท่าสี่ (Ta See, TL)	579879	2039236
เชียงใหม่	ศาลากลาง (City Hall Chiang mai ,CM)	496709	2088015
	โรงเรียนยุพราช (Yupparaj wittalai school, YM)	498803	2077766
เชียงราย	ทสจ. เชียงราย (ศูนย์บรรเทาสาธารณภัย) (Natural Resources and Environment office Chiangrai, NR)	586166	2201696
แม่ฮ่องสอน	ทสจ.แม่ฮ่องสอน (Natural Resources and Environment office Mae Hong Son, NH)	392292	2134528
ลำพูน	ทสจ.ลำพูน (Natural Resources and Environment office Lamphun, NP)	499848	2053317
กว๊านพะเยา	กว๊านพะเยา (Knowledge park Phayao, KY)	594257	2119842
แพร่	อุตุนิยม (Meteorological Phrae, MP)	619922	2005915
น่าน	เทศบาลเมือง (Muang Nan Municipality office, MN)	686341	2087939

### 3.2.1.2 เขตอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง

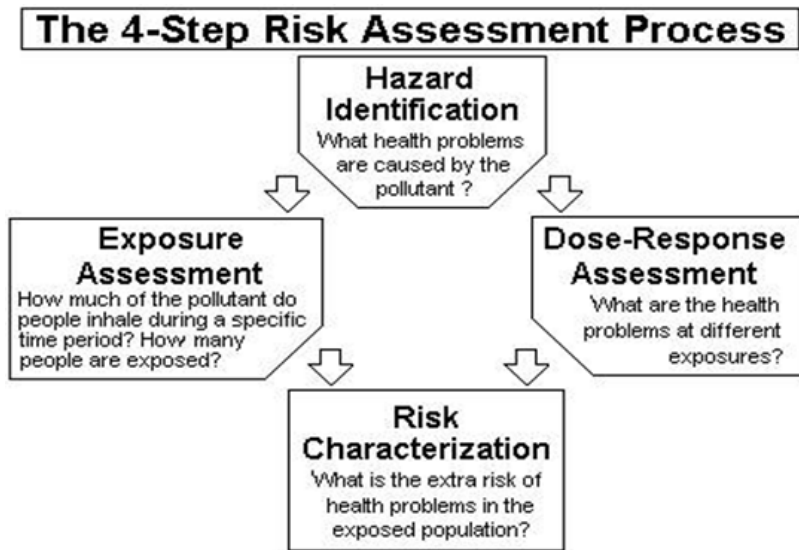
นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีจำนวนโรงงานทั้งสิ้น 60 โรงงานเช่น โรงงานปิโตรเคมี โรงงานกลั่นน้ำมัน โรงงานผลิตปุ๋ยและเคมีภัณฑ์ โรงผลิตไฟฟ้า และนอกจากนี้ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมนอกเขตนิคมที่มีการประกอบอุตสาหกรรม โรงงานเหล่านี้มีการใช้และผลิตสารเคมีอันตรายหลายชนิด ที่สำคัญได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน ออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารอินทรีย์ระเหย กกรด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารโลหะหนัก นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ในปัจจุบันตั้งอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของเขตเทศบาลเมืองมาบตาพุด เทศบาลตำบลบ้านฉาง และเทศบาลเมืองบ้านฉาง จังหวัดระยอง เนื้อที่ 3,552 ตารางกิโลเมตร จังหวัดระยองตั้งอยู่ทิศตะวันออกเฉียงของประเทศไทย ระหว่างเส้นรุ้งที่ 12-13 องศาเหนือ และเส้นแวงที่ 101-102 องศา



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดและบริเวณโดยรอบ : ■ ขอบเขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และ 📍 พื้นที่เสี่ยงได้รับผลกระทบ

### 3.2.2 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงของสุขภาพ (Health Risk Assessment) คือ กระบวนการประเมินโอกาสและความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นกับ มนุษย์ หรือสิ่งแวดล้อมจากการได้รับหรือสัมผัสความเสี่ยงของมลพิษหรือสิ่งที่ก่อผลเสียต่อสุขภาพ การประเมินความเสี่ยงจัดเป็น “กระบวนการ” ของความคิด ที่ทาเพื่อจะให้ได้รู้ว่าคุณเสี่ยงนั้นมากน้อยเพียงใด มีกระบวนการ 4 ขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

1. การบ่งชี้สิ่งคุกคาม (Hazard identification) คือกระบวนการในการบ่งชี้ว่าสิ่งใดหรือภาวะใดเป็นปัจจัยคุกคาม และการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาคาตอบว่า มลพิษนั้นมีอยู่จริงหรือไม่และมลพิษมีผลเสียต่อสุขภาพอนามัยหรือไม่อย่างไร ในการวิจัยนี้สิ่งคุกคามที่นำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โอโซน (O<sub>3</sub>) สารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน BTEX ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ซึ่งเป็นสารมลพิษที่ใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป

2. การประเมินขนาดสัมผัสกับผลกระทบที่เกิดขึ้น (Dose-response assessment) คือ กระบวนการที่ประเมินขนาดของการสัมผัสระดับใดจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากน้อยเท่าใด เป็นการแสดงความสัมพันธ์ถึงปริมาณที่ได้รับกับความรุนแรงของความเป็นพิษทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ในขั้นตอนนี้สามารถแบ่งความเป็นพิษของสารเคมีออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.1 สารไม่ก่อมะเร็ง (non-carcinogen) รวมถึงสารที่ไม่มีผลต่อยีน และความเป็นพิษอย่างอื่นที่ไม่ใช่การเกิดมะเร็ง หลักเกณฑ์ที่บ่งบอกว่าสารไม่เป็นสารก่อมะเร็งคือ สารกลุ่มนี้ แสดงค่า threshold คือ ปริมาณสารเคมีมากที่สุดที่สามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ทุกวันโดยไม่ทำให้เกิดความผิดปกติใดๆ ในขั้นตอน dose-respond assessment

2.2 สารก่อมะเร็งที่มีผลต่อยีน (genetic carcinogen) สำหรับสารก่อมะเร็งจะใช้แนวความคิดที่ว่าสารกลุ่มนี้ไม่มี ค่ากำหนดขั้นต่ำที่จะไม่ก่อให้เกิดโรคซึ่งหมายความว่า ไม่ว่าจะได้รับสารก่อมะเร็งปริมาณมากน้อยเพียงใดก็ตาม แม้เพียง 1 โมเลกุลก็มีโอกาส (probability) ที่จะเกิดมะเร็งได้

ระดับการตอบสนองของร่างกายของสารมลพิษที่ศึกษา มีความแตกต่างกัน ตามปริมาณ และ อวัยวะเป้าหมาย ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.3 ค่าความเข้มข้นอ้างอิง RfC ก็แตกต่างกันตามชนิดของสาร ดังตัวอย่างในตารางที่ 3.4 ส่วนไนโตรเจนไดออกไซด์ และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่ใช่สารก่อมะเร็งและไม่มีการระบุค่า RfC ในการวิจัยนี้จึงใช้ค่ามาตรฐานของ WHO ในการเปรียบเทียบผลกระทบ

ตารางที่ 3.3 ขนาดสัมผัสกับการตอบสนองของร่างกาย

สารมลพิษ	REL type	Inhalation REL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Hazard Index Target Organs	species
CO	A	$2.3 \times 10^4$	ระบบหัวใจและหลอดเลือด	H
O <sub>3</sub>	A	$1.8 \times 10^2$	ตา และระบบทางเดินหายใจ	H
Benzene	A	$1.3 \times 10^3$	ระบบสืบพันธุ์/พัฒนาการ ระบบภูมิคุ้มกัน ระบบเลือด	R
	C	$6.0 \times 10^1$	ระบบเลือด ระบบประสาทและพัฒนาการ	H
Toluene	A	$3.7 \times 10^4$	ระบบทางเดินหายใจและระบบประสาท	H
	C	$3.0 \times 10^2$	ระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาท ตา ระบบสืบพันธุ์และพัฒนาการ	R
Ethylbenzene	C	$2.0 \times 10^3$	ระบบทางเดินอาหาร(ตับ) ไต ระบบต่อมไร้ท่อ และพัฒนาการ	M, R
Xylene	A	$2.2 \times 10^4$	ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจและตา	H
	C	$7.0 \times 10^2$	ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจและตา	H

ที่มา: ดัดแปลงจาก OEHHA. (2003)

- Reference Exposure Level (REL) type : A = acute (พิษเฉียบพลัน) และ C = chronic (พิษเรื้อรัง)
- Species ที่ใช้ในการศึกษาเพื่อพัฒนาค่า REL : H = human; R = rat; M = mouse

3. การประเมินการสัมผัส (Exposure assessment) คือ การคำนวณปริมาณที่มนุษย์หรือสิ่งแวดล้อมได้รับสัมผัสสิ่งคุกคามโดย คำนึงถึงขนาดการสัมผัส (dose) ระยะเวลาที่สัมผัส (duration) ถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการประเมินความเสี่ยง ความรุนแรงของความเป็นพิษของสารเคมีขึ้นอยู่กับปริมาณของสารที่ได้รับ ถ้าการประเมินปริมาณสารที่ได้รับมีความผิดพลาดจากความเป็นจริง การคำนวณความเสี่ยงก็就会有คลาดเคลื่อนสูง ในขั้นตอนการประเมินการสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ร่างกาย จำเป็นต้องทราบถึงลักษณะของสารว่าเป็นสารเคมีหรือสารทางชีวภาพ ระดับความเข้มข้นของสารมลพิษที่มีการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เช่น ในน้ำ ดิน อากาศ อาหาร นอกจากนี้ต้องทราบระยะเวลาในการสัมผัสสารว่าได้รับสัมผัสสารในช่วงเวลาสั้นๆ หรือได้รับสัมผัสสารเป็นระยะเวลานาน และความถี่ในการสัมผัสสารว่ามีการสัมผัสสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมบ่อยครั้งแค่ไหน เพื่อที่จะได้นำมาคำนวณหาปริมาณสารที่เราได้รับสัมผัสเข้าสู่ร่างกาย โดยขั้นตอน Exposure Assessment สามารถแบ่งการประเมินการสัมผัสสารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสารไม่ก่อมะเร็ง และกลุ่มสารก่อมะเร็ง

ตารางที่ 3.4 ค่าระดับความเข้มข้นอ้างอิงในอากาศ (RfC) และ Inhalation Unit Risk

สารมลพิษ	Inhalation RfC (mg/m <sup>3</sup> )	แหล่งข้อมูล	Inhalation Unit Risk (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	แหล่งข้อมูล
CO	23.00	EPA	-	-
O <sub>3</sub>	0.18	EPA	-	-
Benzene	0.03	IRIS	7.8 × 10 <sup>-6</sup>	IRIS
Toluene	5.00	IRIS	-	-
Ethylbenzene	1.00	IRIS	2.50 × 10 <sup>-6</sup>	CAL/EPA
Xylene	0.10	IRIS	-	-

ที่มา : ดัดแปลงจาก U.S.EPA. (2013)

Exposure Assessment ของสารไม่ก่อมะเร็ง

$$EC \text{ (mg/m}^3\text{)} = (C \times ET \times EF \times ED) / AT \dots\dots\dots (3.1)$$

Exposure Assessment ของสารก่อมะเร็ง

$$CDI \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)} = (C \times ET \times EF \times ED) / AT \dots\dots\dots (3.2)$$

เมื่อ  $CDI$  = ค่าเฉลี่ยของปริมาณสารก่อมะเร็งที่ได้รับในแต่ละวัน ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$EC$  = ปริมาณสารที่ได้รับสัมผัสในแต่ละวัน ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$C$  = ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ

$ET$  = เวลาในการรับสัมผัส (24 ชั่วโมง/วัน)

$EF$  = ความถี่ในการรับสัมผัส (350 วัน/ปี)

$ED$  = ระยะเวลาที่รับสัมผัสสาร (30 ปี)

$AT$  = ระยะเวลาในการรับสัมผัสสาร (สารไม่ก่อมะเร็งใช้  $ED \times 365$  และ สารไม่ก่อมะเร็งใช้  $70 \times 365$ )

4. การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) คือกระบวนการนี้จะต้องบอกให้ได้ว่าความเสี่ยงต่อปัจจัยคุกคามที่สนใจนั้น ระดับของความเสี่ยงมีมากน้อยแค่ไหน มีความเสี่ยงอย่างไร เป็นการรวบรวมเอาข้อมูลต่างๆ ที่ได้คำนวณและวิเคราะห์ของทั้ง 3 ขั้นตอนข้างต้นมาตรวจสอบและนามาประเมินความเสี่ยงหรือโอกาสที่จะเกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์จากการได้รับสัมผัสสารเคมีนั้น พร้อมกับสรุปข้อมูลเพื่อเป็นการสนับสนุนของความเสี่ยงที่ได้รับจากการสัมผัสการปนเปื้อนมลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยลักษณะของความเสี่ยงที่คำนวณได้จะเป็นการช่วยตัดสินใจของผู้ประเมินความเสี่ยงว่าสารมลพิษที่เราสนใจนั้นมีความเสี่ยงมากน้อยหรือไม่ พร้อมกับข้อมูลเกี่ยวกับวิธีในการประเมินความเสี่ยงสำหรับในขั้นตอน Risk Characterization จะแยกการประเมินออกเป็น 2 กลุ่ม ตามผลกระทบของสารเคมีต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนี้

สารไม่ก่อมะเร็ง  $HQ = EC / RfC \dots\dots\dots(3.3)$

สารก่อมะเร็ง  $HQ = CDI \times UR \dots\dots\dots(3.4)$

Hazard Index  $HI = \sum HQ \dots\dots\dots(3.5)$

Carcinogenic risks  $CR = IUR \times CDI \dots\dots\dots(3.6)$

### 3.2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ AERMOD

แบบจำลอง AERMOD เป็นแบบจำลองที่ U.S. EPA และอีกหลายประเทศกำหนดให้เป็น Preferred regulatory model ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบด้านคุณภาพในบรรยากาศจากการเคลื่อนที่และกระจายตัวของมลพิษจากแหล่งกำเนิดในระยะทางไม่เกิน 50 กิโลเมตรในทุกสภาพพื้นที่และลักษณะอุตุนิยมวิทยา สามารถใช้ได้สำหรับหลายประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษและลักษณะพื้นที่ เช่น ใช้ได้กับแหล่งกำเนิดทั้งแบบจุด



แบบพื้นที่ และแบบปริมาตร (Point, Area and Volume Sources) ใช้กับแหล่งกำเนิดบนผิวดิน เหนือผิวดิน และมีระดับความสูงต่ำของพื้นที่ ใช้ได้กับพื้นที่ทั้งแบบนอกเมืองและในเมือง (Rural and Urban Areas) ใช้ศึกษาในพื้นที่ราบทั่วไปและในพื้นที่ซึ่งมีความซับซ้อน (Complex Terrain) และใช้ศึกษาความเข้มข้นของมลพิษในระดับความละเอียดได้ตั้งแต่ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงถึงค่าเฉลี่ยรายปี

### 3.2.4 ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System : GIS คือกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โปรแกรม ArcGIS เป็นชุดโปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โปรแกรมหนึ่ง ที่ใช้ในการจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ของหน่วยงานทั้งภาครัฐ เอกชน และสถานศึกษา ประกอบด้วยชุดโปรแกรม 3 ส่วน ArcView, ArcEditor, ArcInfo เพื่อการนำเข้า แก้ไข วิเคราะห์ และแสดงผล

#### 3.2.4.1 องค์ประกอบของ ArcGIS

ArcMap ใช้สำหรับในการแสดงภาพ ปรับแก้ข้อมูลเชิงพื้นที่ สร้างแผนที่ กราฟ และรายงานฐานข้อมูล GIS จะแสดงบนแผนที่ที่เรียกว่าชั้นข้อมูลหรือ Layer ในแต่ละชั้นข้อมูลจะแยกเป็นข้อมูลแต่ละประเภทที่จัดเก็บอยู่ในบริเวณ Table of Content (TOC)

ArcToolbox เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลชั้นสูงของ GIS เช่นใช้ในการแปลงระบบพิกัดหรือแปลงข้อมูลต่างๆ ไปเป็น Geodatabase

#### 3.2.4.2 การประมาณค่าข้อมูลด้วย ArcGIS

ข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ในโปรแกรม ArcGIS จะต้องอยู่ในรูปแบบ Delimiter Text (\*.txt) หรือตารางใน excel (.xlsx) โดยเป็นข้อมูลเชิงตัวเลข (Digital Data) จะต้องมีการพิกัด x, y coordinate เพื่อนำมา digitize โดยใช้ระบบ UTM WGS1984 Northern Hemisphere 10 47N ซึ่งเป็นบริเวณตำแหน่งของประเทศไทย และนำเข้าโปรแกรมและเซฟออกมาให้อยู่ในรูป Shapefile(.shp) และจากนั้นจึงจะสามารถประมาณค่า (Interpolation) การประมาณค่ามีหลายวิธีเช่นวิธี IDW, Kriging เป็นต้น โดยวิธีการแทรกค่าแบบ Inverse Distance Weighted มีหลักการในการแทรกค่าโดยทำการสุ่มจุดตัวอย่างแต่ละจุดจากตำแหน่งที่สามารถส่งผลไปยังเซลล์ที่ต้องแทรกค่าทำให้มีได้ค่าน้อยลงเรื่อยๆ ตามระยะทางที่ไกลออกไปจากเซลล์ที่ต้องการแทรกค่า ดังนั้นจุดที่อยู่ใกล้กับเซลล์ที่ต้องการคำนวณค่าจะมีค่าน้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ไกลออกไปโดยเราสามารถระบุจำนวนจุดหรืออาจจะใช้ทุกจุดที่อยู่ในรัศมีที่กำหนดมาคำนวณหาให้เซลล์ผลลัพธ์ได้ วิธีการแทรกค่าแบบ Kriging เป็นวิธีการแทรกที่ทำการสันนิษฐานจากระยะทางหรือทิศทางระหว่างจุดตัวอย่างแต่ละจุดจะแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ที่สามารถ

นำมาใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวได้ด้วยวิธีการ Kriging นี้จะทำการเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมกับจุดตัวอย่างที่เลือกไว้หรือจุดตัวอย่างทั้งหมดภายในรัศมีที่กำหนดเพื่อให้ค่าผลลัพธ์ในแต่ละพื้นที่ออกมาวิธีนี้มีกระบวนการหลายขั้นตอนโดยผสมผสานการสำรวจวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูลการทำแบบจำลองแบบ Variogram การสร้างพื้นผิวและยังมีส่วนเสริมให้สามารถตรวจดูความแปรปรวนของพื้นผิวได้อีก เมื่อเลือกใช้วิธีการประมาณค่าได้แล้ว ผลที่ได้จะแสดงออกมาเป็นรูปภาพ JPEG File จึงสามารถนำภาพที่ได้นั้นไปใช้วัตถุประสงค์ที่ต้องการ

### 3.3 ศึกษาขนาดวิทยาลัยสิ่งแวดล้อมของผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพ

เป็นการศึกษาผลกระทบมลพิษทางอากาศกับสุขภาพทางเดินหายใจในเขตอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง โดยทำการตรวจสอบรูปภาพปอด ของเด็กนักเรียน ในพื้นที่เสี่ยง ประกอบข้อมูลจากแบบสอบถามด้านสุขภาพปอด

#### 3.3.1 พื้นที่ศึกษาและข้อมูลประชากร

พื้นที่ศึกษาและประชากร เลือกโรงเรียนประถมศึกษาในเขตอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ซึ่งเป็นเขตควบคุมมลพิษ อันได้แก่ ต.มาบตาพุด ต.ห้วยโป่ง ต.เนินพระ และ ต.ทับมา อ.เมือง ต.มาบข่า อ.นิคมพัฒนา ต.บ้านฉาง อ.บ้านฉาง นักเรียนประถมศึกษาอายุระหว่าง 10 - 12 ปี อยู่ในพื้นที่มากกว่า 3 ปี ไม่สูบบุหรี่ ไม่มีประวัติโรคทางเดินหายใจตั้งแต่เกิด

แบ่งประชากรเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 โรงเรียนที่อยู่รอบนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ประมาณไม่เกิน 1 กิโลเมตร จำนวน 4 โรงเรียน ได้จำนวนตัวอย่าง 444 ตัวอย่าง

กลุ่มที่ 2 โรงเรียนที่อยู่ห่างจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ประมาณ 5 กิโลเมตร จำนวน 2 โรงเรียน ได้จำนวนตัวอย่าง 143 ตัวอย่าง

กลุ่มที่ 3 โรงเรียนที่อยู่ห่างจากนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ประมาณ 10 กิโลเมตร จำนวน 2 โรงเรียน ได้จำนวนตัวอย่าง 270 ตัวอย่าง รวมจำนวนตัวอย่าง 857 ตัวอย่าง

### 3.3.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

#### 3.3.2.1 แบบสอบถามระบบทางเดินหายใจ

แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ข้อมูลเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ปรับปรุงจาก ATS-DLD-78-C respiratory questionnaires มีเนื้อหาข้อมูลทั่วไป (ได้แก่อายุ เพศ ที่อยู่อาศัยใกล้ถนน หรือในเขตอุตสาหกรรม ระยะเวลาที่อยู่อาศัย สิ่งแวดล้อมในบ้าน การสูบบุหรี่ การใช้เชื้อเพลิงหุงต้มอาหาร สภาพ-เศรษฐกิจสังคม สถิติประชากร) และข้อมูลระบบทางเดินหายใจ (ได้แก่ อาการไอ อาการมีเสมหะ อาการหายใจมีเสียง ความเจ็บป่วยอื่นๆ และประวัติครอบครัว)

#### 3.3.2.2 สมรรถภาพปอด

การวัดสมรรถภาพปอด (Lung function) ด้วยเครื่อง spirometer การตรวจสมรรถภาพปอดจะสามารถบ่งชี้ถึงการเสื่อมของการทำงานของปอด ก่อนที่จะมีอาการเกิดขึ้น ทำให้รู้ค่าที่สำคัญ ได้แก่

- Forced Expiratory Volume in One Second (FEV1) เป็นปริมาตรอากาศที่ถูกขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างรวดเร็วและแรงเต็มที่จากการหายใจเข้าเต็มที่ มีหน่วยเป็นลิตรที่อุณหภูมิกาย แรงดันบรรยากาศซึ่งอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (BTPS)
- Forced Vital Capacity (FVC) เป็นปริมาตรสูงสุดของอากาศที่ขับออกโดยการหายใจออกเร็วและแรงเต็มที่ จนสุดจากการหายใจเข้าเต็มที่ มีหน่วยเป็นลิตรที่อุณหภูมิกาย แรงดันบรรยากาศซึ่งอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (BTPS)
- FEV1/FVC% เป็นการนำเอาค่า FEV1 และ FVC มาประเมินร่วมกัน เพื่อเปรียบเทียบดูว่า “ปริมาตรอากาศที่หายใจออกมาได้ใน 1 วินาที จะเป็นจำนวนกี่เปอร์เซ็นต์ของอากาศที่มีอยู่ในปอดของคนนั้น” ซึ่งโดยปกติควรหายใจออกมาได้ไม่น้อยกว่า 70 %
- Forced Expiratory Flow Between 25 and 75% Expired Volumes (FEF25-75%) หรือค่า MMEF (Maximum Mid Expiratory Flow rate) เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศในช่วงกลางของ FVC ซึ่งเป็นส่วนใหญ่ที่ไม่ขึ้นกับความพยายามของผู้ป่วย มีค่าเป็นลิตรต่อวินาที หรือลิตรต่ออนาที

### 3.3.3 สถิติวิเคราะห์

สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS

#### 3.3.3.1 ANOVA ศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษอากาศเปรียบเทียบในพื้นที่ศึกษากับพื้นที่ควบคุม

3.3.3.2 Yates' Chi-Square Test ใช้ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ได้แก่ ตัวแปรอาการระบบทางเดินหายใจ(อาการไอ มีเสมหะ หอบหืด หลอดลมอักเสบ ฯ) สมรรถภาพปอด เปรียบเทียบในพื้นที่ศึกษากับพื้นที่ควบคุม

3.3.3.3 Binary Logistic Regression Technique ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ได้แก่ ตัวแปรต่างๆจากแบบสอบถาม (เพศ อายุ ระยะเวลาที่อาศัย ขนาดบ้าน จำนวนสมาชิกในครอบครัว ประวัติการสูบบุหรี่หรือของพ่อแม่ การใช้เครื่องปรับอากาศ การเลี้ยงสัตว์ ฯลฯ) กับตัวแปรอาการระบบทางเดินหายใจ และสมรรถภาพปอด

# บทที่ 4

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 ศึกษาสภาพสิ่งแวดล้อมอากาศโดยรวมของประเทศไทย และมลพิษอากาศในเขตเมือง

ได้มีผลวิจัยเผยแพร่ 4 บทความ ดังนี้

1. Jinsart W., and Thepanondh S. 2014 “Effects of climate change on heat accumulation and precipitation in Thailand” International Journal of Environmental Science and Development, 5(4), 340-343

เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทย และคาดการณ์สภาวะการเปลี่ยนแปลงของค่าการสะสมความร้อน และปริมาณน้ำฝน เปรียบเทียบตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 อีก 30ปี ค.ศ.2042 และจนถึง ปี ค.ศ. 2092 พบว่า ค่าสะสมความร้อนมีปริมาณสูงขึ้นไปมากในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2. Jinsart W., Arbmanee D, Ngeabprasert R and Pungkhom P. 2014 “ Impact on Visibility and Air Quality from Bushfire Smog in Northern Thailand” A&WMA's 2014 Annual Conference & Exhibition Navigating Environmental Crossroads, June 24-27, 2014, Long Beach, CA,USA

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ในบรรยากาศทั่วไป มีปริมาณสูงมาก ในช่วงที่มีไฟป่า มีผลกระทบต่อทัศนวิสัยและการเดินทาง การวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละออง กับ ระยะการมองเห็น

3. Saengsai S. and Jinsart W 2015 “Ozone Formation Potential of Oxygenated Hydrocarbons: Phasing-in of Gasohol in Bangkok Thailand” IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology , 9(1), pp35-41

การวิจัยนี้ใช้โปรแกรมทางสถิติและแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์ปริมาณมลพิษในอนาคต ของปริมาณไอโซนในเขตเมือง สารเคมีที่ทำให้เกิดไอโซนอยู่ในกลุ่มสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เป็นสาเหตุสืบเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์อย่างมาก ในกรุงเทพมหานคร

4. Saengsai S. and Jinsart W 2015 “Evaluation of Urban Ozone Formation by Photochemical Ozone creation Potential Indices and Generalized Additive Model” BCEE-2015 International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering, February 3-4, 2015, Bali, Indonesia

ไอโซน เป็นมลพิษทุติยภูมิเกิดจากปฏิกิริยาเคมีเชิงแสงของมลพิษอากาศหลัก การวิจัยนี้เป็นการประเมินและคาดการณ์การเกิดไอโซนในเขตเมือง เนื่องจาก ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สูงขึ้น โดยการคำนวณจาก Photochemical Ozone creation Potential Indices และโปรแกรมทางสถิติ Generalized Additive Model

## 4.2 ศึกษาผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศกับสุขภาพด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การดำเนินงานเสร็จสิ้นแล้ว ผลศึกษาวิจัย จัดทำเป็นบทความ 2 เรื่อง คือ

1. Pungkhom, P. and Jinsart, W., 2014 “Health Risk Assessment from bush fire air pollutants using statistical analysis and Geographic Information System: case study in the northern Thailand” International Journal of Geoinformatics, 10(1), 17-24

เป็นการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ของ ประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศจากหมอกควันในช่วงฤดูแล้ง มีสาเหตุจากไฟป่า พบว่า ความถี่ของการเกิดไฟป่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณมลพิษทางอากาศ ในช่วงเกิดไฟป่ามีปริมาณมลพิษสูงกว่าช่วงปกติ การรับสัมผัสก๊าซโอโซนมีอันตรายต่อสุขภาพ และประชาชนที่ได้รับสัมผัส สารอินทรีย์ระเหยง่าย มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง

2. Teerapatlada N., Wathanapanich Y., and Jinsart W 2015 “ Health risk assessment of industrial emissions in Map Ta Phut Thailand using AERMOD modeling and GIS based maps” ” International Journal of Geoinformatics, revision

เป็นการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชากร ที่มีที่พักอาศัย อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดมลพิษ ในระยะ 5 กิโลเมตร ปริมาณ มลพิษในบรรยากาศทั่วไป คาดการณ์จาก แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD จากนั้น คาดการณ์เขตที่มีความเสี่ยง โดยใช้การคำนวณ ดัชนีอันตราย Hazard Index รวบรวมผล และจัดทำ แผนที่ ความเสี่ยงด้วยโปรแกรม ระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์

## 4.3 ศึกษาระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อมของผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศกับสุขภาพ

ผลศึกษาวิจัย จัดทำเป็นบทความ 1 เรื่อง ซึ่งอยู่ระหว่างรอการตอบรับ เพื่อตีพิมพ์ คือ

1. Asa, P., Jinsart W. and Yano E. 2015 “Lung function impairment and respiratory symptoms in school children expose to petrochemical pollution in Rayong province, Thailand” Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health, revision

เป็นการศึกษาผลสุขภาพของเด็กที่มีความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสมลพิษอากาศในปริมาณสูง กลุ่มศึกษาคือเด็กที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรม ตำบลมาบตาพุด จังหวัดระยอง กลุ่มควบคุม คือเด็กที่อยู่ห่างจากเขตอุตสาหกรรม มีที่พักอยู่ในตำบลเนินพระ จังหวัดระยอง ทำการตรวจสมรรถภาพปอด และวิเคราะห์อาการของการหายใจ ของเด็กนักเรียนจำนวน 806 คน โดยใช้แบบสอบถามมาตรฐานของสมาคมโรคปอด สหรัฐอเมริกา AST-DLD version 78C และตรวจสมรรถภาพปอดด้วย Automated spirometry (CHESTGRAPH HI-101, CHEST, JAPAN) เปรียบเทียบกับกลุ่มประชากร ที่อยู่ในระยะห่างจากแหล่งกำเนิดมลพิษในระยะ 1 กิโลเมตร 5 กิโลเมตร และ 10 กิโลเมตร พบว่าประชากรที่อยู่อาศัยในระยะทางใกล้แหล่งกำเนิด มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการโรคทางระบบทางเดินหายใจได้มากกว่ากลุ่มควบคุม ผลงานอยู่ระหว่างรอการตีพิมพ์ในวารสารที่มีค่า Impact Factor



## บทที่ 5

### สรุปและเสนอแนะ

## การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศ

5.1 ผลจากการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศกลุ่มสารไม่ก่อมะเร็งและสารที่มีความเป็นพิษเรื้อรัง ได้แก่ CO, O<sub>3</sub> และสารอินทรีย์ระเหย BTEX ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ปี 2554 - 2556 พบว่า การรับสัมผัส CO และ สารอินทรีย์ระเหย BTEX ในอากาศไม่มีความรุนแรงจนก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน (HI < 1) แต่การรับสัมผัส O<sub>3</sub> ที่ปนเปื้อนในอากาศเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน (HI > 1) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสี่ยง (HI) ของ CO และ O<sub>3</sub> กับความถี่การเกิดไฟป่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันในระดับสูง (r = 0.822 และ 0.783) และค่าความเสี่ยงจากการสัมผัสสาร Benzene และ Xylene มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันในระดับต่ำ (r = 0.211 และ 0.218) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 จากแผนที่ทำนายความเสี่ยงจากการสัมผัสมลพิษ พบว่า ช่วงเกิดไฟป่ามีค่า HQ ของ CO และ O<sub>3</sub> สูงกว่า 0.057 และ 0.3198 ช่วงไม่เกิดไฟป่ามีค่า HQ ต่ำกว่า 0.050 และ 0.2017 ตามลำดับ สำหรับค่า HQ จากการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยกลุ่ม BTEX พบว่า ในช่วงเกิดไฟป่าจังหวัดเชียงใหม่มีค่า HQ สูงสุดโดยเฉพาะในเขตเมืองและมีค่า HQ ต่ำสุดในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งแตกต่างจากช่วงไม่เกิดไฟป่าจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีค่า HQ สูงสุดเนื่องจากเป็นช่วงเทศกาลทุ่งดอกบัวตองบานทำให้เกิดการเดินทางมากขึ้นในช่วงเดือนตุลาคมของทุกปี เมื่อประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสาร Benzene และ Ethylbenzene ในอากาศต่อการเกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ Carcinogenic risks (CR) ในจังหวัดเชียงใหม่ปี 2554 - 2556 พบว่า ประชาชนที่ได้รับสัมผัสสาร Benzene และ Ethylbenzene ในอากาศมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง (CR > 1×10<sup>-6</sup> μg/m<sup>3</sup>) โดยช่วงเกิดไฟป่ามีค่าระหว่าง 1.28×10<sup>-6</sup> - 9.30×10<sup>-6</sup> และ 1.18×10<sup>-6</sup> - 8.84×10<sup>-6</sup> ตามลำดับ และในช่วงที่เกิดไฟป่ามีค่าระหว่าง 9.30×10<sup>-6</sup> - 2.92×10<sup>-6</sup> และ 4.97×10<sup>-6</sup> - 2.57×10<sup>-6</sup> ตามลำดับ และจากผลการตรวจเพิ่มเติมในจังหวัดแม่ฮ่องสอนและพะเยา พบค่า CR ของสาร Benzene และ Ethyl benzene มากกว่า 1×10<sup>-6</sup> μg/m<sup>3</sup> ทั้งในช่วงที่เกิดไฟป่าและไม่เกิดไฟป่า โดยค่า CR ของ Benzene และ Ethylbenzene มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับความถี่การเกิดไฟป่า (r = 0.956 และ r = 0.309) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p < 0.05)

**5.2 การประเมินความเสี่ยงการรับสัมผัสของมลพิษอากาศเฉลี่ยรายปี และแผนที่การกระจายความเสี่ยงของมลพิษในบริเวณเขตอุตสาหกรรม มาบตาพุด จังหวัดระยอง**

การประเมินความเสี่ยงค่า Hazard Quotient (HQ) ของทั้ง 2 มลพิษ จะพบว่าค่า HQ ของไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1 แสดงให้เห็นว่าการรับสัมผัสสารยังไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัย แต่ค่าของ HQ ของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีค่าเกิน 1 อยู่ที่ เมืองใหม่มาบตาพุด และรองลงมาชุมชนอิสลาม และอนามัยมาบตาพุด ซึ่งมีค่าเกิน 1 ดังนั้นการรับสัมผัสสารอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพอนามัย และเมื่อรวมเป็นค่า Hazard Index (HI) พบว่า ค่า HI ที่มากกว่า 1 พบในตำบลมาบตาพุด ซึ่งสอดคล้องกับแผนที่การกระจายความเสี่ยงของมลพิษ นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นอีกว่าในตำบลมาบตาพุดเป็นบริเวณที่ใกล้นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด และอยู่ในทางทิศลมที่พัดมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยตำบลมาบตาพุดมีจำนวนประชากรรวมประมาณ 22,573 คน ดังนั้นการรับสัมผัสมลพิษทั้งสองบริเวณตำบลมาบตาพุดจะส่งผลให้ มีสารมลพิษเข้าสู่ร่างกายปริมาณมากกว่าปริมาณอ้างอิง ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อสุขภาพประชาชน

การประเมินความเสี่ยงของทั้ง 2 มลพิษแสดงให้เห็นว่า ความเสี่ยงที่เกิดขึ้นมีผลมาจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และมาจากนิคมอุตสาหกรรมเป็นหลัก

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากหลายแห่ง แล้วนำมาประมวลผลร่วมกัน จำเป็นต้องใช้เวลาในการศึกษาความน่าเชื่อถือของข้อมูล ประกอบด้วย จึงอาจทำให้ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นจากระเบียบวิธีวิจัยที่ได้กำหนดไว้ แต่ทั้งนี้ คณะผู้วิจัย ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทำให้ บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการได้ตามกำหนด

โครงการวิจัยนี้มีผลการดำเนินงานทั้งหมด เผยแพร่สู่สาธารณะจำนวน 7 เรื่อง รายละเอียด ของบทความทั้งหมดที่เป็นผลการวิจัยของโครงการนี้ อยู่ในภาคผนวกของรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การวิจัยต่อเนื่องจากโครงการวิจัยนี้ จะเป็นเรื่องต่อเนื่องกัน คือ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศของประชาชนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ซึ่งอยู่ภายใต้ โครงการ การศึกษาผลกระทบจากการแพร่กระจายของสารพิษในอากาศจาก การเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในที่โล่ง ซึ่งได้รับการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล ปีงบประมาณ 2558

## เอกสารอ้างอิงของการวิจัย

- กรมควบคุมมลพิษ. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_airsnd01.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html), 2556 สืบค้นวันที่ 25 มกราคม 2558
- กรมควบคุมมลพิษ. การดำเนินการแก้ไขปัญหาหมอกพิษในพื้นที่มาบตาพุด [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/pol\\_maptapoot\\_plan.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/pol_maptapoot_plan.html), 2550 สืบค้นวันที่ 1 ธันวาคม 2557
- Aekplakorn W, Loomis D, Vichit-Vadakan N, Shy C and Plungchuchon S. 2003. Acute effects of SO<sub>2</sub> and particles from a power plant on respiratory symptom of children, Thailand. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 34(4):906-14.
- Buadoung D, Jinsart W, Funatagawa I, Karita K, and Yano E, 2009, Association between PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> levels and hospital visits for cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand” *J. Epidemiol*, 19(4), 182-188
- Cheng H.R., Saunders S.M., H Guo, H., Louie P.K.K and Jiang, F. Photochemical trajectory modeling of ozone concentrations in Hong Kong. *Environmental Pollution* 180, 2013, 101-110.
- Chonghua Yin, Yinpeng Li, Wei Ye, Janet F. Bornman and Xiaodong Yan “Statistical downscaling of regional daily precipitation over southeast Australia based on self-organizing maps” *Theor Appl Climatol* 2010, DOI 10.1007/s00704-010-0371-y
- Fernando A. Wichmann, Andrea Müller, Luciano E. Busi, Natalia Cianni, Laura Massolo, Uwe Schlink, Andres Port and Peter David Sly . 2009 . Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution. Journal of Allergy and Clinical Immunology, Volume 123 Issue 3, 632-638.
- Jinsart, W., Kaewmanee, C. , Inoue, M., Hara, K. S Hasegawa, S., Karita, K., Tamura, K. and Yano, E. 2012, Driver exposure to particulate matter in Bangkok, *JAWMA*, 62:1, 64-71
- Jinsart W, Sripraparkorn, C, Siems, ST. Hurley, P.J. and S. Thepanondh, 2010 Application of The Air Pollution Model (TAPM) to the urban airshed of Bangkok, Thailand, *Int. J. Environment and Pollution*, 42, 68-84

- Jonathan A. Patz, Diarmid Campbell-Lendrum, Tracey Holloway and Jonathan A. Foley “Impact of regional climate change on human health” *Nature* Vol 438|17, 310-31, 2005
- Langkulsen, U., Jinsart, W., Karita, K., and Yano, E., 2006, Respiratory symptoms and lung function in Bangkok school children. *The European Journal of Public Health*. 16(6):676-681.
- Meng Wang, Yinpeng Li, Wei Ye, Janet F. Bornman and Xiaodong Yan “Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province”, China, *Clim Res*. Vol. 46: 223–242, 2011
- Nuntavarn Vichit-vadakan, Nitaya Vajanapoom and Bart Ostro. (2008). The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Project: Estimating the Mortality Effects of Particulate Matter in Bangkok, Thailand. *Environmental Health Perspectives*. 116:1179-1182.
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA). (2003). Air Toxics Hot Spots Program Risk Assessment. Guidelines The Air Toxics Hot Spots Program Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessments. [Online]. Available from: [http://oehha.ca.gov/air/hot\\_spots/pdf/HRAguidefinal.pdf](http://oehha.ca.gov/air/hot_spots/pdf/HRAguidefinal.pdf). [2013, February 7]
- Pengchai, P.;Chantara, S.;Sopajaree, K.;Wangkarn, S.;Tengcharoenkul, U.; andRayanakorn, M. (2009) Seasonal variation, risk assessment and source estimation of PM<sub>10</sub> and PM<sub>10</sub>-bound PAHs in the ambient air of Chiang Mai and Lamphun, Thailand. *Journal of Environmental Monitoring*, 154(1-4): 197 - 218.
- Pimpisut D, Jinsart W and Hooper M. (2005). Modeling of the BTEX Species based on an Emission Inventory of Sources at the Map Ta Phut Industrial Estate in Thailand. *Science Asia*, Vol.31 No.2: 103-112
- Pan, B. and Li, B. (2010). Air pollution and children’s respiratory symptoms in six cities of Northern China. *Respiratory Medicine*. 104: 1903-1911.
- Riediker, M., Williams, R, Devlin R., Griggs T and Bromberg, P. Exposure to particulate matter, volatile organic compounds, and other air pollutants inside patrol cars. *Environmental science & technology*37(10), 2003, 2084-2093.
- Rumchev,K., Spickett,J., Bulsara,M., Phillips,M., Stick,S. (2004). Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax*. 59: 746-751.

- Tamura K, Jinsart W, Yano E, Karita K, Buadong D. (2003). Particulate Air Pollution and Chronic Respiratory Symptoms among Traffic Policemen in Bangkok. Archives of Environmental Health: An International Journal. Vol. 58: No4. 201-207.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2013a). Air & Radiation, Six Common Pollutants, Carbon Monoxide Health, Health. [Online]. Available from:  
<http://www.epa.gov/airquality/carbonmonoxide/health.html>[2013, February 3]
- U.S. Environmental Protection Agency. (2013b). Air & Radiation, Six Common Pollutants, Ground Level Ozone, Health Effects. [Online]. Available from:  
<http://www.epa.gov/air/ozonepollution/health.html> [2013, February 3]
- U.S. Environmental Protection Agency. (2013) Regional Screening Level (RSL) Resident Air Supporting Table. Regional Screening Levels (Formerly PRGs). [Online]. Available from:  
[http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration\\_table/Generic\\_Tables/docs/resair\\_sl\\_table\\_run\\_NOV2013.pdf](http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/rb-concentration_table/Generic_Tables/docs/resair_sl_table_run_NOV2013.pdf) [2013, February 8]
- Viswanathan, S.; Eria, L.; Diunugala, N.; Johnson, J.; and Mc Clean, C. (2006). An Analysis of Effects of San Diego Wildfire on Ambient Air Quality. Journal of the Air and Waste Management Association, 56: 56-67.
- Wilson, D., Takahashi, K., Pan, G., Chan, C.C., Zhang, S., Feng, Y., Hoshuyama, T., Chuang, K.J., Lin, R.T. and Hwang, J.S. (2008). Respiratory symptoms among residents of a heavy-industry province in China: Prevalence and risk factors. *Respiratory Medicine*. 102: 1536-1544.
- World Health Organization (WHO). (2003). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, WHO Air quality guidelines. [Online]. Available from:  
[http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf). [2013, February 7]
- Yinpeng Li, Wei Ye, Meng Wang, Xiaodong Yan, “Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts” *Clim Res*. Vol. 39: 31–46, 2009
- Yinpeng Li and Wei Ye, “Applicability of ensemble pattern scaling method on precipitation intensity indices at regional scale” *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 8, 5227–5261, 2011

# Effects of Climate Change on Heat Accumulation and Precipitation in Thailand

W. Jinsart and S. Thepanondh

**Abstract**—The impact of future climate change on heat accumulation and precipitation in Thailand were simulated by the regional circulation model (RCM) in SIMCLIM system. The model was run under four Special Report on Emission Scenarios (SRES) A1B, A1FI, A2 and B1. The temperature variability in regional scales was analyzed using the observed daily data from 1951 to 2011. The year 1992 was used as a base year in this analysis. The heat accumulation, in 2042 was increased 14%, 15%, 12 % and 11% and in 2092 was increased 33%, 49%, 41% and 22% for A1B, A1FI, A2 and B1 scenarios, respectively. The precipitation was simulated using the year 2012 as a base year. The increase precipitation in June, for worst case A1F1 was 3.42% in 50 years and 5.85% in 100 years. In A1B1 with taking care of global warming, the precipitation in June will increase 2.67% in 50 years and 3.93% in 100 years.

**Index Terms**—Climate change, heat accumulation, precipitation, Thailand.

## I. INTRODUCTION

Climate variability is very important for agriculture. Even the slightly changing of weather conditions could have the effect to the productivity. There are many studies on climate change impact model found the evidence of the association between crop yield and global warming [1]-[3].

Thailand, as a big rice production country, should prepare the impact data for the future warming climate adaptation. From the literature reports in next 50 and 100 years, the average temperature overall Thailand will gradually increase and the average precipitation will potentially decrease [4]. However, there are variations of temperature and precipitation in the different regional areas therefore we attempted to predict the future crop yield related parameters, heat accumulation and precipitation in this study.

## II. METHOD

Heat accumulation and precipitation in Thailand were simulated by the regional circulation model (RCM) in SimCLIM system. The standard GCM pattern of temperature change with high sensitivity was applied in the model simulation. The ensemble method was used to construct the

future climate change scenarios to address the key uncertainties of GCM projections. For a specific atmospheric state, an ensemble of possible values was generated for the prediction following the 20 general circulation model (GCM) climate change patterns. This relative change pattern or normalized pattern is preferable to averaging GCM outputs because it controls for differences in climate sensitivity across models.

### A. Model Description

SIMCLIM is a computer-based modeling system for examining the effects of climate variability and change over time and space. It is a customized GIS which includes tools for the spatial analysis of climate variability and change and associated impacts on various social-economic sectors. The users can customize the model for their geographical area and spatial resolution and to attach impact models. With the program, the sensitivity analysis and examine sector impacts of climate change can be conducted as well as the integrated impact analysis at various scales.

### B. Emission Scenarios

The most accessible scenarios on GHG Emissions are from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report on Emissions Scenarios (SRES). These scenarios were used in the IPCC Fourth Assessment Report (AR4) analyses. The business as usual scenario or SRES A1 corresponds to the highest emission associated with the highest temperature change, while SRES B1 corresponds to the lowest. These scenarios correspond to a range of approximately 540-970 ppm of carbon dioxide in the atmosphere in 2100 [5]. Four emission scenarios with different climate sensitivities, A1B A1F A2 and B1 were used in this study. The worst case scenario A1F1 was assumed rapid economic growth, population peak and unlimited fossil fuel supplies. The best case, B1 was the best condition for environmental sustainability.

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### A. Heat Accumulation

The measure of accumulated heat is known as physiological time or thermal time which is often expressed and approximated in units called degree-days. The calculations of this parameter are based on the area under the diurnal temperature curve and between the thresholds. For a site with maximum and minimum temperatures data available, the different methods for calculating degree-days are single sine, double sine, single triangle, and double triangle. All of these are linear methods because the rate of development is presumed to be a straight line directly related

Manuscript revised October 15, 2013; revised December 18, 2013. This work was supported by The National Research University Project of CHE and the Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund (CC307A) and National Research Council of Thailand grant 2013-2014.

W. Jinsart is with the Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330 Thailand (e-mail: jwanida@chula.ac.th).

S. Thepanondh is with the Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400 Thailand (e-mail: sarawut.the@mahidol.ac.th).

to temperature [6], [7]. In SIMCLIM impact model, a spatial model calculated degree day from monthly mean temperature data and a site specific model calculated degree day from daily time series of maximum and minimum temperatures. From our results, heat accumulation in the central area of Thailand was found increasing with the global warming GCM pattern, in various scenarios (A1B, A1FI, A2 and B2). The north east of Thailand was become a risk area of increasing the accumulation areas, Fig. 1. The % increase of heat accumulation was related to the emission scenarios, Table I. In 2042 heat accumulation was increased 14%, 15%, 12 % and 11% and in 2092 was increased 33%, 49%, 41% and 22% for A1B, A1FI, A2 and B1 scenarios, respectively. Under the B1 scenario, heat accumulation was predicted to be increased up to about 22% from the base year 1992. SRES A1FI, heat accumulation was highest and nearly 50% increase in next 100 years due to global warming.

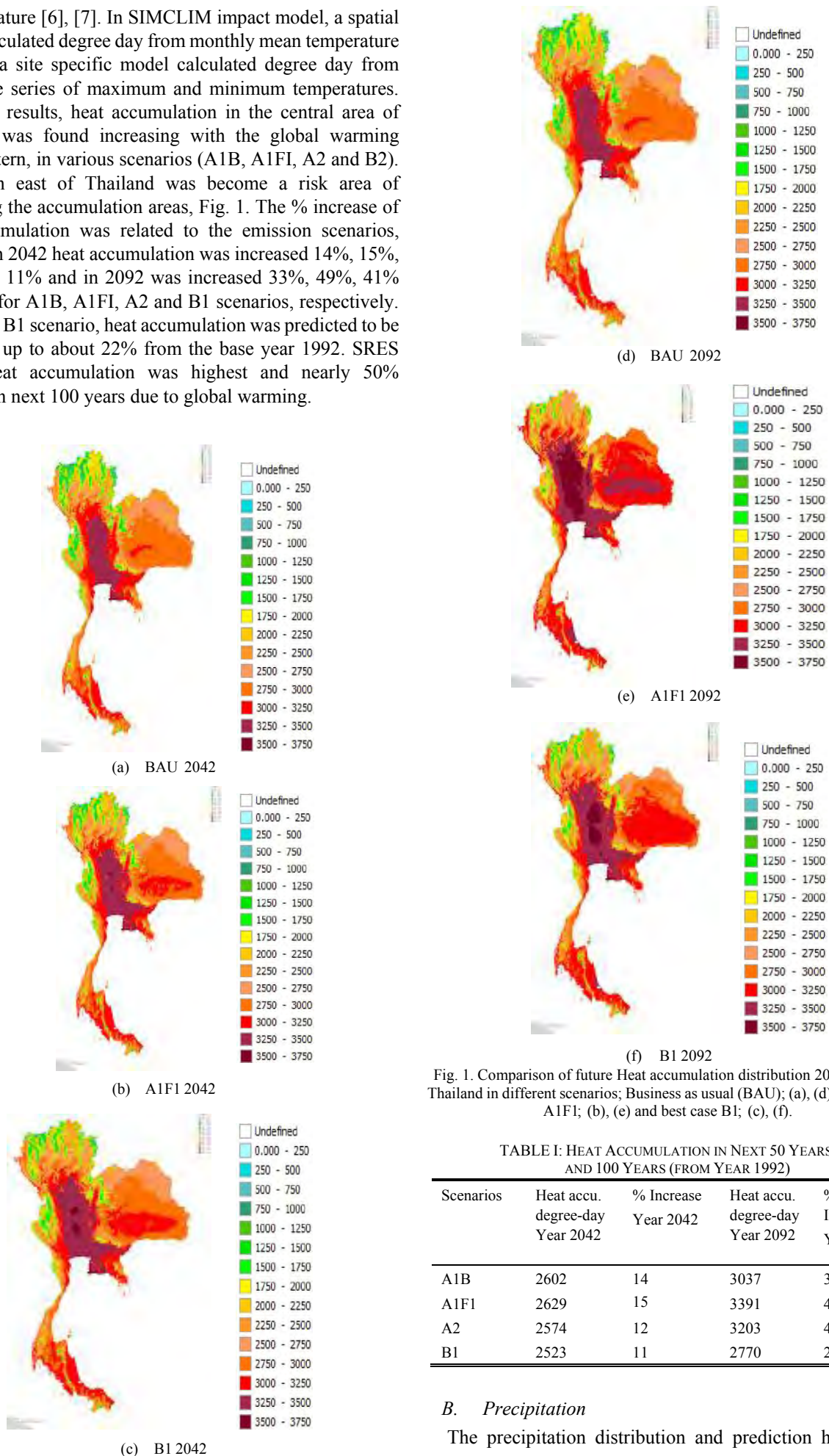


Fig. 1. Comparison of future Heat accumulation distribution 2042-2092 in Thailand in different scenarios; Business as usual (BAU); (a), (d), worst case A1FI; (b), (e) and best case B1; (c), (f).

TABLE I: HEAT ACCUMULATION IN NEXT 50 YEARS AND 100 YEARS (FROM YEAR 1992)

Scenarios	Heat accu. degree-day Year 2042	% Increase Year 2042	Heat accu. degree-day Year 2092	% Increase Year 2092
A1B	2602	14	3037	33
A1FI	2629	15	3391	49
A2	2574	12	3203	41
B1	2523	11	2770	22

### B. Precipitation

The precipitation distribution and prediction have been



studied in many regions, particularly for agriculture application [2]-[8]. For model development, C. Yin *et al.*, 2010 used statistical downscaling method to simulate precipitation distribution maps over southeast Australia [9]. They simulated local precipitation for each downscaling precipitation grid for the validation period 1988–2008 to test their model quality. Y. Li and W. Ye, 2011 used GCM output with ensemble pattern to correct the uncertainty on precipitation intensity indices at regional scale [10]. In this study, with SIMCLIM, GCM outputs were used as lateral boundary conditions to drive regional climate models (RCMs) together with 21 ensemble patterns. The monthly simulation of precipitation was run using the year 1992 as the baseline. The input observed precipitation data were obtained from Thai Meteorology Department. The annual precipitation simulation did not show the significant changing with various scenarios. However when we analyzed data monthly, we found season variations effect to the distribution. The monthly precipitation distribution in the country is different. The driest month is in April with some tropical rain in the south peninsular and the beginning of the growing crop or the start of wet season in May and June. The distribution and amount of rain in these three months in baseline year 2012 were compared in Fig. 2. In April and May with all tested scenarios, the precipitation significantly decreased but in June was increased from the baseline year.

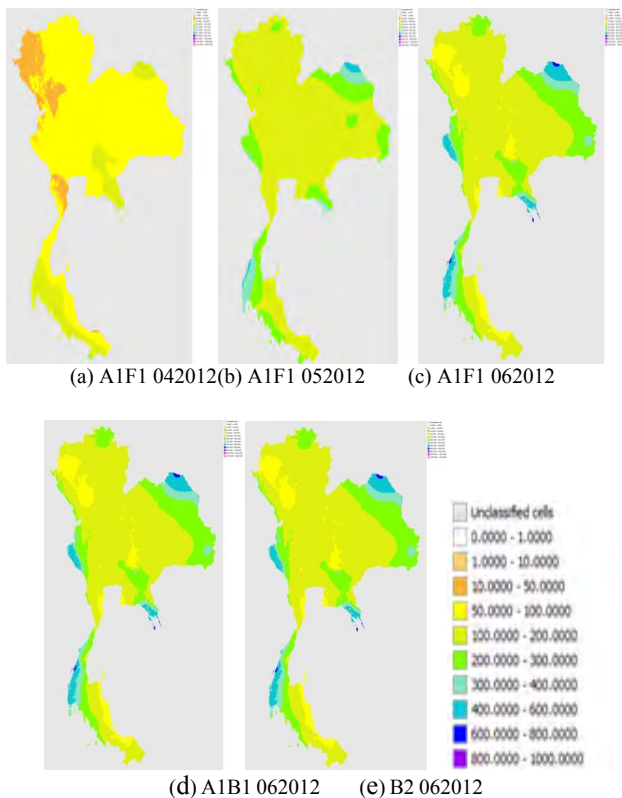


Fig. 2. Comparison of monthly precipitation (mm/day) in 2012.

The comparison of worst case A1F1 in April was shown in Fig. 3. There will be less precipitation in the future than in the baseline year 1992, particularly in the west and northwest of Thailand. The precipitation mm/day and % change in 5 different emission scenarios (A1B1 A1F1 A2 B1 and B2), were summarized in Table II. The prediction of future precipitations in next 50 years and 100 years were compared. The increase precipitation in June, for worst case A1F1 was

3.42% in 50 years and 5.85% in 100 years. In A1B1 with taking care of global warming, the precipitation in June will increase 2.67% in 50 years and 3.93% in 100 years.

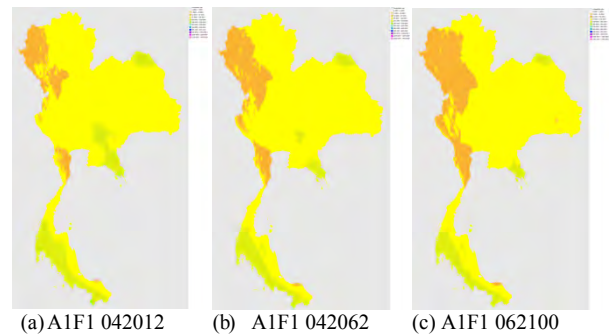


Fig. 3. The Comparison of predicted precipitation (mm/day) in April in worst case A1F1 in next 50 years and 100 years (scale color as in Fig. 2).

TABLE II: PRECIPITATION (MM/DAY) AND % CHANGE FROM BASELINE DATA

Scenario	Apr-2012	May-2012	June2012	June2062	June2100
Baseline	79.03	184.39	183.55	183.55	183.55
A1B1	77.89 (-1.44%)	183.75 (-0.35%)	184.51 (0.52%)	188.45 (2.67%)	190.76 (3.93%)
A1F1	77.83 (-1.51%)	183.73 (-0.36%)	184.56 (0.55%)	189.83 (3.42%)	194.28 (5.85%)
A2	77.81 (-1.54%)	183.72 (-0.36%)	184.58 (0.56%)	-	-
B1	77.86 (-1.48%)	183.75 (-0.35%)	184.53 (0.53%)	-	-
B2	77.77 (-1.59%)	183.7 (-0.37%)	184.63 (0.59%)	-	-

#### IV. CONCLUSION

The results indicated Thailand future climate change will potentially affect on crop-yield parameters, heat accumulation and precipitation. Flood and drought areas could also increase. Climate change adaptation and related crop species could be focused in future researches.

#### ACKNOWLEDGMENT

The authors are deeply appreciated the observation data from Meteorological Department Thailand. Thank you for the valuable suggestion from SIMCLIM research group.

#### REFERENCES

- [1] S. Peng *et al.*, "Rice yields decline with higher night temperature from global warming," *PNAS*, vol. 127, pp. 9971-9975, July 2004.
- [2] M. Wang, Y. Li, W. Ye, J. F. Bornman, and X. Yan, "Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province China," *Clim. Res.*, vol. 46, pp. 223-242, July 2011.
- [3] Y. Li, W. Ye, M. Wang, and X. Yan, "Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts," *Clim. Res.*, vol. 39, pp. 31-46, July 2009.
- [4] *Thailand's First Assessment Report on Climate Change*, Thai Research Fund documents, 2011, pp. 242.
- [5] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2001*, Cambridge University, pp. 881, 2001.
- [6] G. L. Baskerville and P. Emin, "Rapid Estimation of Heat Accumulation from Maximum and Minimum Temperatures," *Ecology*, vol. 50, no. 3 pp. 514-517, May, 1969.

- [7] L. T. Wilson and W. W. Barnett, "Degree-Days: An Aid in Crop and Pest Management," *California Agriculture*, vol. 37, pp. 4-7, 1983.
- [8] M. Tadross *et al.*, "Growing-season rainfall and scenarios of future change in Southeast Africa: implications for cultivating maize." *Clim. Res.*, vol. 40, pp. 147-161, 2009
- [9] C. Yin, Y. Li, W. Ye, J. F. Bornman, and X. Yan, "Statistical downscaling of regional daily precipitation over southeast Australia based on self-organizing maps," *Theor. Appl. Climatol.*, 2010
- [10] Y. Li and W. Ye, "Applicability of ensemble pattern scaling method on precipitation intensity indices at regional scale," *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, vol. 8, pp. 5227-5261, 2011



**Wanida Jinsart** was born in Bangkok in 1960. She received B.Sc. in chemistry and then started working at Chulalongkorn university in 1982. With part-time study, she got M.Sc. Chemistry from Chulalongkorn university then she got the scholarship for postgraduate study in La Trobe University, Melbourne, Australia. Her Ph.D. in chemistry and biochemistry was granted in 1992.

In 1997, she had worked at Teikyo University, Japan as a research fellow. She had gained the experiences in air pollution and environmental epidemiology research. Her current job position is an Associate Professor in Environmental Science department, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

Dr. Jinsart is an active member of Air and Waste Management Association.

# Impact on Visibility and Air Quality from Bushfire Smog and in Northern Thailand

Paper # No. 33393

**WanidaJinsart, DaraneeArbmanee, RawewanNgeabprasert**

Chulalongkorn University, Environmental Science Department, Faculty of Science,  
Phayatai Rd., Patumwan, Bangkok 10330 Thailand

**PunsaPungkhom**

Chulalongkorn University, Inter-department of Environmental Science, Graduate School,  
Phayatai Rd., Patumwan, Bangkok 10330 Thailand

## ABSTRACT

Bushfire events frequently occur during the dry season in northern Thailand. From December to May, this region experiences persistent dry weather and low moisture which create ideal conditions for fire. The sources could be from natural bushfires or burning of agricultural waste materials spreading to the forest. Statistical analysis of daily PM<sub>10</sub>, daily visibility estimates and frequency of bush fire data from 2011 to 2013 were used to establish correlations between pollutant levels in the region and the visibility problems. Based on the monthly averages in 8 provinces, there was a significant correlation between PM<sub>10</sub> and fire frequency,  $r = 0.93$ , 95%CI with  $p < 0.05$ . The reverse correlation (-r) between PM<sub>10</sub> data and visibility distance were 0.91, 0.92 and between frequency of fire and visibility distance were 0.86, 0.83 in Chiang Mai and Chiang Rai provinces, respectively. In addition to the daily meteorological visibility data, the local visibilities were determined by photographic analysis, video-camera recordings and global positioning system (GPS). The observed images during periods without bushfires had better visibility than during bushfires. These results indicated the association between visibility and fire events. This work is aimed at creating awareness of the impact on visibility due to bushfires and its pollutants. The results could be applied in fire control planning and bush burning impact studies. Visibility monitoring in the future could involve imaging analysis, meteorological forecasting resources, including real-time satellite imaging and accurate air quality forecasts.

## INTRODUCTION

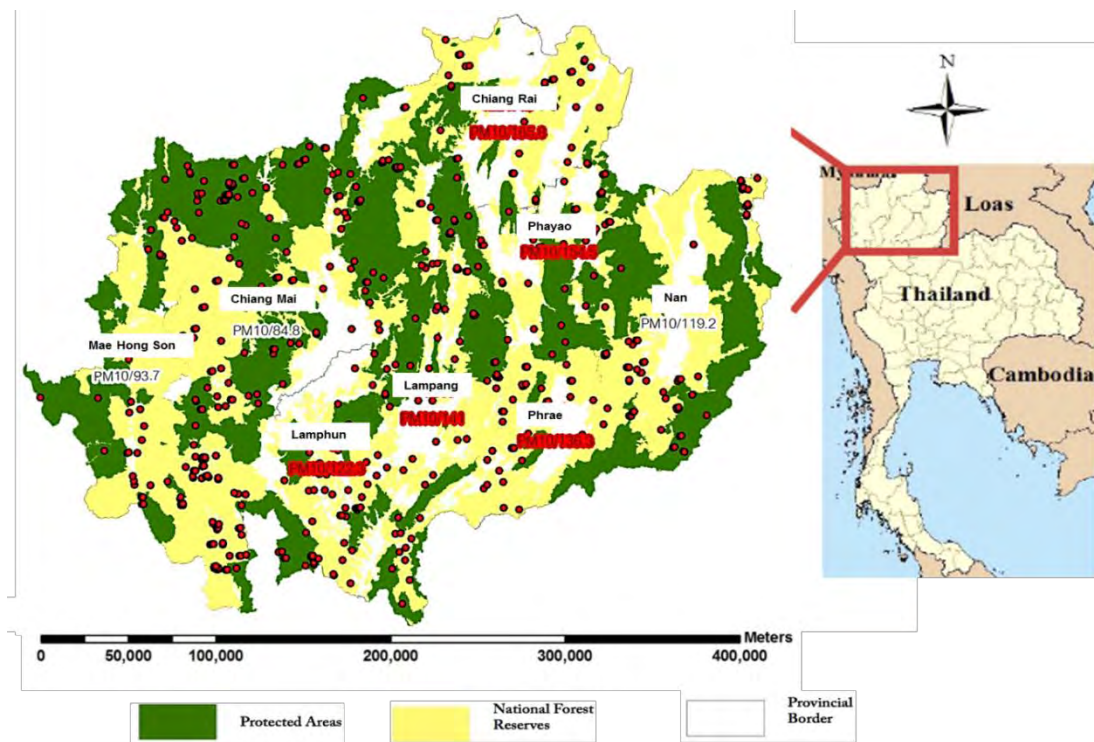
Bushfire smog is an environmental issue in the northern part of Thailand which mainly results from the burning of agricultural waste materials in preparation for agricultural planting. These fires often spread to the forest nearby. The Forest Fire Control Division of the Royal Forest Department (FFCD), Thailand reports that forest fires occur each year during dry season from December to May.<sup>1</sup> The frequency and extent of bushfires from 2009 to 2013 have increased annually in the areas of far-north Thailand.<sup>2</sup> The information was compared and summarized in Table 1. The highest frequency of bushfires occurred in 2010. The burned areas have been surveyed by the FFCD since 2003.<sup>1,2</sup> Numbers of hotspots are representative of open burning in the area. The most significant fires were observed during the period of January to May, with a peak in March. An example of the impact area with hotspots in eight provinces, namely, Chiang Mai, Chiang Rai, Lamphun,

Lampang, Phrae, Nan, Phayao and Mae Hong Son is shown in Figure 1. Many research papers report that dust, smoke, fog, haze and air pollutants from bushfires effect the visibility and ambient air quality.<sup>3,4</sup> In this study, we aim to illustrate the impact of bushfires on both the air quality and the visibility reduction in the northern Thailand.

Table1. The annual comparison between frequency of fire (time) and the impact area (1 rai = 0.4 acre) in 8 provinces, northern Thailand

Provinces	2009		2010		2011		2012		2013	
	(time)	(rai)	(time)	(rai)	(time)	(rai)	(time)	(rai)	(time)	(rai)
Chiang Mai	1,388	8,945.3	1,633	11,127.8	448	2,795.9	865	6,263.5	1,361	14,541.4
Mae HongSon	395	2,477	361	2,091	176	820	413	2,499.3	506	2,940.5
Lampang	322	1,895	272	1,638	131	669	242	1,462.6	304	1,941
Lamphun	321	2,378	497	3,796	162	943	219	1,557	166	1,449
Chiang Rai	145	709.3	179	986.9	31	84.5	181	921.5	99	708.8
Phayao	139	590	117	536	39	165	76	317	38	195
Phrae	112	591	100	686	42	227	158	1,470	147	1,010.5
Nan	5	45	39	517	2	8	29	311	123	1,259.5
Total	2,827	17,630.5	3,198	21,378.6	1,031	5,712.4	2,183	14,801.9	2,744	24,045.6

Figure 1: Hotspots and PM<sub>10</sub> daily average in the 8 provinces during the bushfires on 23 February 2012 [http://www.dnp.go.th/forestfire/hotspot/2555/23\\_02\\_55.htm](http://www.dnp.go.th/forestfire/hotspot/2555/23_02_55.htm)



## Experimental Methods

### *Studied Sites and data information*

The studied locations were in 8 provinces in northern of Thailand, namely, Chiang Mai, Chiangrai, Lamphun, Lampang, Phrae, Nan, Phayao and Mae Hong Son (Figure 1). Visibility data were from Meteorological Station at Chiang Mai and Chiang Rai airports. The frequency of fire records were from Fire Control Department. , PM<sub>10</sub> data was obtained from Pollution Control Department, measured by beta attenuator air sampling average 24 hour intervals measured in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### *Visibility measurement*

There are several general approaches to measure visibility with a camera such as roadside camera, video records and aerial photograph.<sup>5,6</sup> In this study, the local visibilities were determined by photographic analysis in comparison between with and without bushfire scenarios. Qualitative measurement was illustrated from the photos taken by roadside camera, video records and aerial photographs. Quatitative visibility was analyzed in comparison to the visual distance during fire and without fire episodes. The visibility length ( $L_v$ ) was directly measured by GPS and Google earth mapping. The changing in lighting conditions of the photos was analyzed from the luminosity histogram.

## Results and Discussion

In the presence of dust, smoke, fog, haze or air pollutants, visibility is reduced. Low visibility is obviously a problem of transportation safety and significantly effects to environmental aesthetic reasons. For example, low visibility in Chiang Mai was dramatically illustrated by the photograph in Figure 2. This poor visualization was associated with most frequency of fires in Table 1. The visibility at ground level was directly measured as visibility length ( $L_v$ ) by GPS and Google earth mapping. The result in comparison to with and without fire are shown in Figure 3. The ground level  $L_v$  of without bushfire (3a),  $L_v = 400$  m, was higher than with bushfire (3b),  $L_v = 140$  m. These  $L_v$  values were associated with PM<sub>10</sub> average in October 2012 ( $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and in February 2013 ( $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), data from [www.pcd.gov.th](http://www.pcd.gov.th).

Figure 2: Aerial photograph of Chiang Mai taken on 9 March 2010 at 5:42 pm, indicated severe visibility effect from the highest frequency of fire in 2010 (data in Table1)

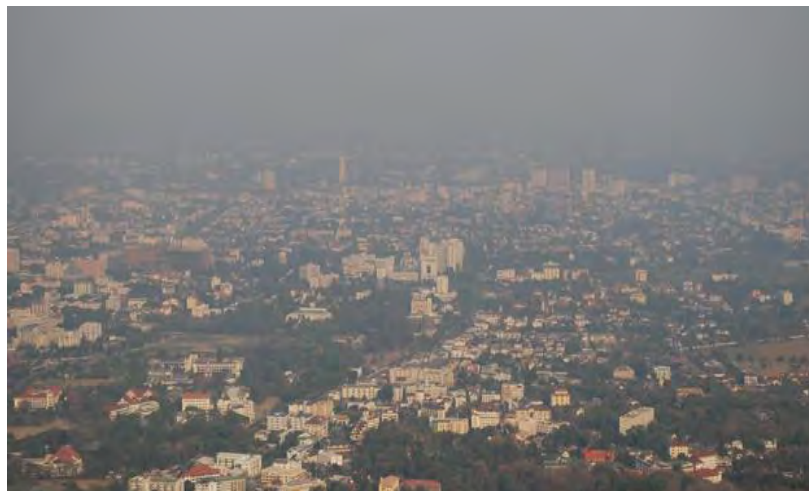
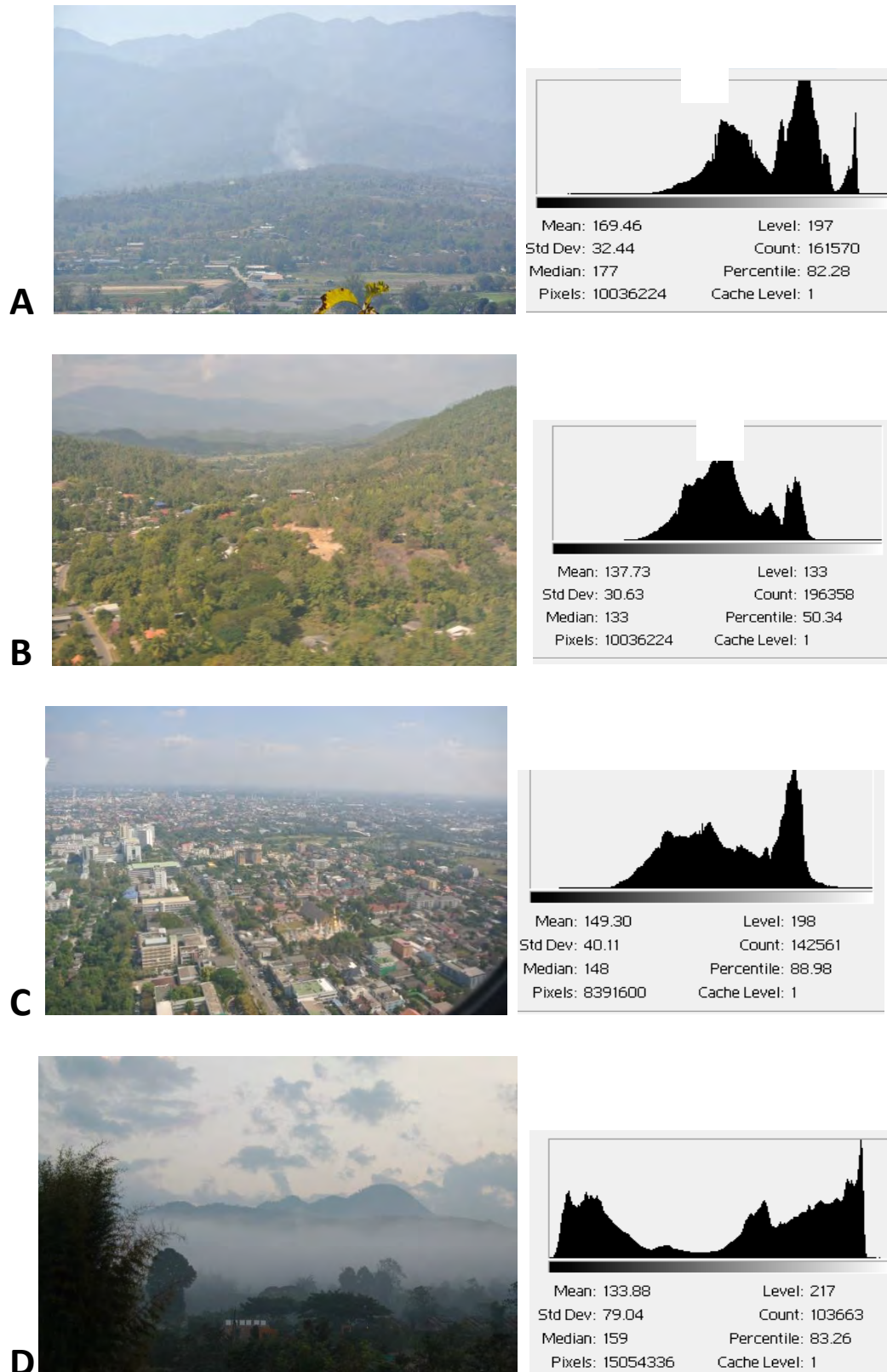


Figure 3: The images from CCTV record from one intersection in Chiang Mai downtown were compared. The visibility lengths,  $L_v$  (a) without fire 0.40 m. (b) with fire 0.14 m.



Figure 4: The ground level and aerial photographs taken in Mae Hong Son Province in January- February 2014: (A) during Bushfire (B) on the clear sunny day in the mountains range (C) urban photochemical smog in the city area (D) Morning Natural fog in small district *Note: These photos are originally used in this project only.*



Imaging analysis is a technique based on the gradient magnitude selected by applying Lambert's law with respect to changes in lighting conditions.<sup>5,6</sup> The visibility variations are determined by calculating the gradient of the image against illumination changes in the scene.<sup>4</sup> In this case, we use histogram calculation in Adobe photoshop program to calculate the luminosity of the images. The relative visibility can be compared from photographs and their luminosity histogram as shown in Figure 4. In the sunny afternoon, the average luminosity during the bushfire, Figure (4A) was highest which resulted from the white detection covering with smoke in the image. This indicated the visibility reduction from the bushfire smog. The urban smog in dispersed areas, figure (C) has an effect on visibility but the luminosity was less than in the case of open fire burning. However, this photochemical smog could be toxic to human health more than the carbonaceous smog. The natural fog occurred in the cold morning of winter time in tropical country like Thailand shown in figure 4D was considered as a beautiful and relaxing scene containing low luminosity.

### ***PM<sub>10</sub> correlation with Number of fire***

PM<sub>10</sub> increasing is directly related to the increase frequency of fire, total 2,784 times in 2013 and 2,183 times in 2012, Table 1. PM<sub>10</sub> concentration and number of fire, monthly average in 8 provinces were summarized in Table 2. There is a significantly correlated between PM<sub>10</sub> and fire frequency,  $r = 0.93$ , 95%CI with  $p < 0.05$ .

Table 2. PM<sub>10</sub> concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and number of fire (time) in 8 provinces

Month	Chiang Rai	Chiang Mai	Nan	Phayao	Phrae	Mae Hong Son	Lampang	Lumphun	Average	Bushfire
Jan,2011	52	49.35	43	58.1	57.1	30.2	34.6	51.7	46	6
Feb,2011	59.7	54.45	57.7	91.4	81	40.3	49.5	68.9	60.68	386
Mar,2011	59.4	49.5	44.6	54.8	47.1	57.4	47.3	53.4	51.03	391
Apr,2011	57.5	48.4	61.4	58.8	52.4	68.5	48.4	46.7	53.89	248
May,2011	33.8	29.25	26.1	20.2	31.6	24.1	30.0	21.4	27.83	0
Jun,2011	26.7	20	22.8	12.6	27.2	15.3	30.5	17.3	22.6	0
Jul,2011	23.4	18.525	18.2	12.8	20.1	12.6	18.4	17	18.07	0
Aug,2011	20.5	19.625	15.5	12.4	20.8	11.1	17.8	19.5	17.81	0
Sep,2011	22.9	18	17.1	13.3	22.6	13	19.3	16.9	18.51	0
Oct,2011	30	25.4	26	23.1	32.8	18.5	28.8	29.7	27.51	0
Nov,2011	37.9	25.675	32.5	35.9	47	20.3	30.3	41.3	33.34	0
Dec,2011	51.5	35.6	41.1	51.4	59.6	31.1	44.2	59.8	46.6	0
Jan,2012	47.1	36.475	45.6	50.1	66.7	29.1	52.5	63.2	48.39	107
Feb,2012	105.4	78.825	90.7	122.5	124.3	79.1	110.0	118.1	101.85	916
Mar,2012	174	109.7	125.9	138.7	121.2	221.7	116.0	113.4	135.32	920
Apr,2012	69.4	43.9	55.2	70.1	63.7	66.5	58.6	56.1	59.36	232
May,2012	37.4	22.85	27.1	44.6	31.8	27.9	30.5	26.4	30.78	9
Jun,2012	28	28.6	23.9	34.2	29.7	19.2	27.8	21.7	26.77	0
Jul,2012	21.2	25.65	18.3	11.5	22.1	13.5	23.7	16.8	19.99	0
Aug,2012	21.3	25.25	17.6	13.6	20.4	11.6	24.1	17.6	19.87	0
Sep,2012	23.1	24.725	18.5	23.4	18.2	13.4	25.7	18.4	21.36	0
Oct,2012	31.9	35.725	30.1	29	44.9	17.3	42.3	31.2	33.76	0
Nov,2012	30.5	32.5	28.6	24.8	41.8	14.9	30.8	27.5	29.11	0
Dec,2012	44.7	43.075	43.8	46.2	62.5	19.3	40.2	43.7	42.24	0



### **Visibility correlation with PM<sub>10</sub>**

Daily Meteorological visibility data were obtained from Chiang Mai International airport which were measured by light scattering convention method from 2 meters above ground level. The comparison of PM<sub>10</sub>, number of fire and visibility length in Chiang Mai and Chiang Rai were shown in Table 3. The reverse correlation (-r) between PM<sub>10</sub> data and visibility length were 0.91, 0.92 and between frequency of fire and Visibility length were 0.86, 0.83 in Chiang Mai and Chiang Rai, respectively.

Table 3. PM<sub>10</sub>, number of fire and visibility length in Chiang Mai and Chiang Rai

Month	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )			Visibility (Km)		
	Chiang Mai	Chiang Rai	Average	Chiang Mai	Chiang Rai	Average
Jan,2011	49.35	52	50.68	9.4	10.45	9.925
Feb,2011	54.45	59.7	57.08	9.89	11.06	10.475
Mar,2011	49.5	59.4	54.45	9.35	9.53	9.44
Apr,2011	48.4	57.5	52.95	9.51	8.95	9.23
May,2011	29.25	33.8	31.53	10.1	12.45	11.275
Jun,2011	20	26.7	23.35	10.29	13.27	11.78
Jul,2011	18.525	23.4	20.96	10.23	13.16	11.695
Aug,2011	19.625	20.5	20.06	9.67	12.6	11.135
Sep,2011	18	22.9	20.45	9.8	12.8	11.3
Oct,2011	25.4	30	27.70	10.12	12.21	11.165
Nov,2011	25.675	37.9	31.79	10.43	12.21	11.32
Dec,2011	35.6	51.5	43.55	9.53	9.94	9.735
Jan,2012	36.475	47.1	41.79	10.08	11.91	10.995
Feb,2012	78.825	105.4	92.11	7.95	7.02	7.485
Mar,2012	109.7	174	141.85	6.56	4.36	5.46
Apr,2012	43.9	69.4	56.65	9.58	9.97	9.775
May,2012	22.85	37.4	30.13	10.16	12.37	11.265
Jun,2012	28.6	28	28.30	10.02	13.71	11.865
Jul,2012	25.65	21.2	23.43	9.8	12.62	11.21
Aug,2012	25.25	21.3	23.28	9.87	13.35	11.61
Sep,2012	24.725	23.1	23.91	9.75	12.71	11.23
Oct,2012	35.725	31.9	33.81	9.81	9.41	9.61
Nov,2012	32.5	30.5	31.50	9.95	N/A	9.95
Dec,2012	43.075	44.7	43.89	9.72	N/A	9.72

### **SUMMARY**

Severe visibility reduction was found during bushfire events. The relative visibility involved further digital imaging analysis for the development of standard visibility in the smoke fire areas. Frequency of fires, PM<sub>10</sub> and visibility are all effect to environmental quality. In the future, the local visibility data could be a data for air pollution calculation in the remote places where no monitoring stations.

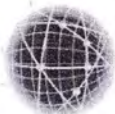
### **ACKNOWLEDGMENTS**

This study was supported by National Research University Project of CHE and the Ratchada- phiseksomphot Endowment Fund, Chulalongkorn University (CC307A) 2013 and National Research Council of Thailand Grant 2014. The authors are grateful for valuable suggestions in Adobe Photoshop program from Asst. Prof. Rachanee Napamorakot, Department of Imaging and Printing Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

## REFERENCES

1. FFCD-Forest Fire Control Division National Park, **2011**: Forest fire description  
<http://www.dnp.go.th/forestfire/Eng/description.htm>
2. FFCD-Forest Fire Control Division National Park, **2011**: Forest fire statistics.  
<http://www.dnp.go.th/forestfire/2546/firestatistic%20Th.htm>
3. Tombach, I.; Allard, D. *J. Air Pollution Control Assoc.* **1980**, 30:2, 134-142
4. Viswanathan, S.; Eria, L.; Diunugala, N.; Johnson, J.; McClean, C. *JAWMA.*, **2006**, 56:1, 56-67
5. Liaw, J. J.; Lian, B. S.; Huang, F.Y. and Chen, C.R. **In** Atmospheric Visibility Monitoring Using Digital Image Analysis Techniques, Jiang, X. and Petkov N., Ed.; Computer Analysis of Images and Patterns , Lecture Notes in Computer Science; Springer, Volume 5702, 2009, pp 1204-1211
6. Kwon, M.T. , Atmospheric visibility measurements using video cameras: relative visibility, Technical report document, Department of Electrical and Computer Engineering University of Minnesota Duluth, CTS 04-03, July 2004

# IOSR Journals



**IOSR Journals**  
International Organization  
of Scientific Research



*International Organization  
of Scientific Research  
Community of Researchers*

Is hereby honoring this certificate to

*Sirithorn Saengsai*

In recognition of the Publication of Manuscript entitled

*Ozone Formation Potential of Oxygenated Hydrocarbons: Phasing-in of  
Gasohol in Bangkok, Thailand*

Published in IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and  
Food Technology  
Vol. 9, Issue 1, January 2015

E-mail id : [iosrjesft@gmail.com](mailto:iosrjesft@gmail.com)  
Web.: [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)

Editor-In-Chief  
IOSR-JESTFT



----- Forwarded message -----

From: **IOSR JESTFT** <[iosrjestft@gmail.com](mailto:iosrjestft@gmail.com)>

Date: Mon, Jan 12, 2015 at 6:36 AM

Subject: IOSR Journals: Review Report (Article id: N51010 )

To: Sirithorn Saengsai <[s.sirithorncca@gmail.com](mailto:s.sirithorncca@gmail.com)>

Dear Researcher,

The independent review upon your research article titled “**Ozone Formation Potential of Oxygenated Hydrocarbons: Phasing-in of Gasohol in Bangkok, Thailand**” has been provided by the concerned referees. The referees have suggested **Accepted** your paper in **IOSR Journals**.

#### **Reviewers Comments:**

1. Quality of Manuscript is good.
2. Consolidated Decision: Accepted for publication

Kindly send the scan copy of filled & signed copyrights transfer form (can be downloaded from [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org)) along with bank receipt of manuscript handling charges **USD 75** To the following Account.

(If you want to get hard copy of Journal, you have to pay extra charges: 45 USD.)

Account detail: You can deposit fees through your nearby bank or online/net banking transfer (for online fees transfer, please mail us transition id of payment transfer)

After receiving the manuscript charges, we will take your paper for further publication process.

Should you need any clarification, please reply back to this mail.

--

With Warm Regards,  
Editorial Board,  
IOSR Journals  
International Organization of Scientific Research (IOSR)

## **Ozone Formation Potential of Oxygenated Hydrocarbons: Phasing-in of Gasohol in Bangkok, Thailand**

Sirithorn Saengsai<sup>1</sup>, Wanida Jinsart<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The International Postgraduate Program in Hazardous Substance and Environmental Management,  
Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup>Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University,  
Bangkok 10330, Thailand

---

**Abstract:** The levels of ozone formation potential for four oxygenated hydrocarbons, namely formaldehyde, acetaldehyde, acrolein and propionaldehyde, were estimated using photochemical ozone creation potential indices. During the transformation period for the enforcement of gasohol cleaner fuels in Bangkok from 2008 to 2013, the average OFPs of formaldehyde were the foremost levels (480.54/509.16; pre-/post-enforcement;  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), followed by acetaldehyde OFPs (302.82/289.03), propionaldehyde OFPs (48.86/43.53) and acrolein OFPs (30.38/33.20) subsequently. The Mann-Whitney U-test was conducted to determine the significance of gasohol on the quantities of the four carbonyl OFPs and atmospheric ozone. The results suggested that the maximum ozone concentrations (135.53/160.42;  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) for Bangkok and its vicinity areas were significantly increased after the compliance of gasohol fuels, whereas the OFP levels of four carbonyl compounds were statistically insignificant ( $p < 0.05$ , 2-tailed).

---

**Keywords:** Photochemical ozone creation potential, ozone formation potential oxygenated hydrocarbons, carbonyl VOCs, gasohol fuels

---

### **I. Introduction**

Urban ozone pollution is one of the most important environmental problems in Bangkok [1] affected by rapid urbanization, economic development and increases in number of transport vehicles [2-3]. Oxygenated volatile organic compounds (VOCs), as hazardous air pollutants (HAPs) [4] and ozone precursors [5-6], are emitted into the atmosphere extensively. Oxygenated VOCs and ozone are not only the major species of photochemical smog but also the important human health hazards, exclusively to the respiratory system [7]. On-road vehicles and industrial sources are typically the major anthropogenic sources of global environmental concerns [8-9]. Additionally, Thailand VOCs emission was high, about 14% of all countries in South East Asia (SEA), added by road transport, whereas 96.84% of greenhouse gases containing non-methane volatile organic compounds (NMVOCs) released by Thailand's transport sector was from road mode [10].

In Bangkok and its adjacent areas, Thailand, the maximum levels for 1-hour average of ground level ozone have been exceeded the standard (100 ppb) [11] from 1996 to 2013 [1, 12-13]. In addition, the national promotion programs for phasing out of methyl tertiary butyl ether (MTBE) in gasoline, which has been contaminated in surface and ground waters, and phasing in of ethanol-gasoline blended in 2004 [14] and gasohol cleaner-fuel under the enforcement for Euro IV emission standards in 2012 [15], have been applied as the environmental control strategies. These may have possibly been the additional emission sources for urban ozone precursors because the levels of oxygenated hydrocarbons emitted from gasohol are higher than gasoline fuels [14, 16-17].

The objective of this research is to evaluate the levels for regional ozone formation potentials (OFPs) of oxygenated VOCs ozone precursors and atmospheric ozone in Bangkok and its vicinity, Thailand during the transformation period of gasoline-to-gasohol usage. This was achieved using the framework of Mann-Whitney U-test to collate the levels of surface ozone and OFPs of target aldehyde compounds from 2008 to 2013.

### **II. Materials and Methods**

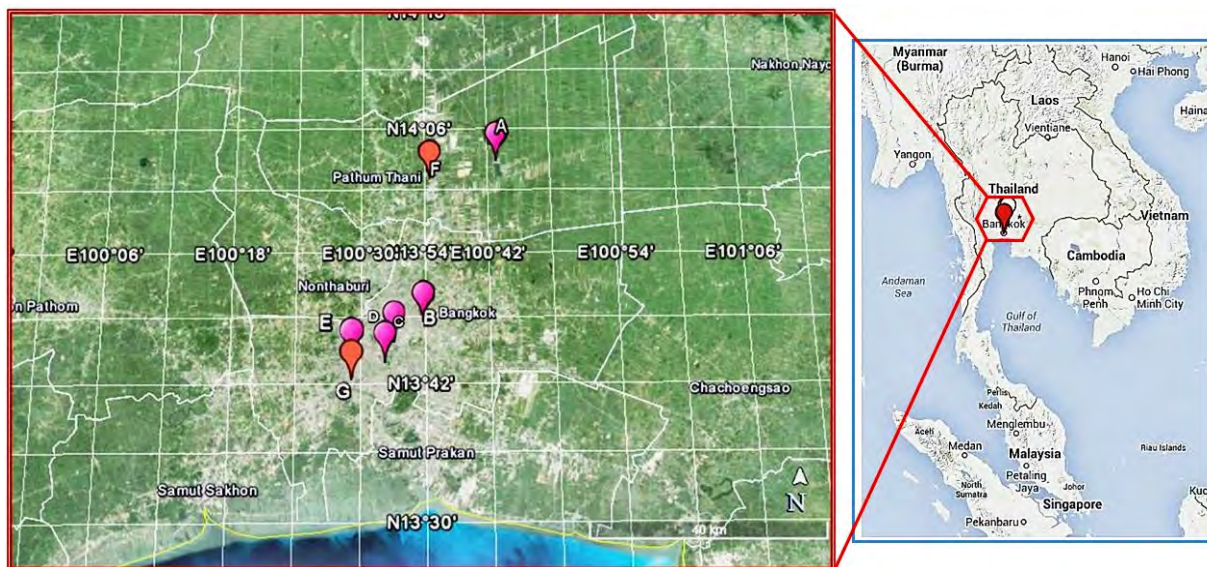
#### **2.1 Study area**

The study sites for evaluating the potential of surface ozone formation were consisted of three inner districts and one outer district of Bangkok comparable to its suburban area in PathumThani province, located at the north-east of Bangkok, showed in Table 1 and Fig. 1. The study stations, with a distance of 50 kilometers (approximately 31 miles), were selected based on a year-round wind direction at upwind and downwind, which mainly impacted by SW and NE monsoon of the center of Bangkok.

**Table 1.** OFPs and ozone monitoring sites

Monitoring Station*	Geographic Location	Province
(A) Environmental Research & Training Center, ERTC	14°03' N 100°43' E	Residential/General PathumThani
(B) Chokchai Police-Station, CC4	13°48' N 100°36' E	Urban Bangkok
(C) DinDaeng National Housing Authority, DD	13°46' N 100°33' E	Urban Bangkok
(D) King Chulalongkorn Memorial Hospital, CUH	13°44' N 100°32' E	Urban Bangkok
(E) Bansomdej Chaoprava Rajabhat University, BSD	13°44' N 100°29' E	Residential/General Bangkok

\*The (F) & (G) sites in Bangkok University at Rangsit (BU) and Thonburi Power Sub-Station (ThBri) were employed as the alternative stations of (A) and (D) stations for air quality data other than oxygenated VOCs samples data respectively.



**Fig.1.** Map for OFPs and ozone monitoring sites: (A) ERTC, (B) CC4, (C) DD, (D) CUH, (E) BSD, (F) BU and (G) ThBri

## 2.2 Data acquisition

All monitoring data, including four carbonyl compounds, specifically formaldehyde, acetaldehyde, acrolein and propionaldehyde, and ozone were acquired from Pollution Control Department (PCD), Thailand. The four compounds of oxygenated VOCs were actively sampled on adsorbent cartridge coated with 2,4-dinitrophenylhydrazine (2,4-DNPH) and quantified the hydrazone derivatives by high performance liquid chromatography (HPLC) equipped with ultraviolet (UV) detection [18]. In addition, ozone was determined by continuous chemiluminescence detection, was based on the U.S EPA ambient standard method [19]. The data of daily maximum 1-hour average of ozone samples was extracted correspondingly to monthly oxygenated VOCs samples data.

## 2.3 Ozone formation potentials

The OFPs of four oxygenated VOCs were estimated from the photochemical ozone creation potential (POCP) method, which was developed by Derwent et al. [20] and the POCP indices were quantified from the formation of ozone relatively to the capacity of ethylene using photochemical trajectory model allowing for long range transport, as expressed in equation (1-2) and listed in Table 2 [21-23].

$$POCP_i = \frac{O_{3i} - O_{3basecase}}{O_{3ethylene} - O_{3basecase}} \times 100 \quad (1)$$

$$OFP_i [\mu g \cdot m^{-3}] = C_{VOC_i} (\mu g \cdot m^{-3}) \times POCP_i \quad (2)$$

Where  $O_{3basecase}$  refers to the ozone mixing ratio along the trajectory in the base case,  $O_{3i}$  with an additional of the  $i^{th}$  VOC species,  $O_{3ethylene}$  refers to that with the same mass of ethylene,  $OFP_i$ ,  $C_{VOC_i}$  and  $POCP_i$  are the ozone formation potential, the concentration and the photochemical ozone creation potential coefficient of  $i^{th}$  VOC respectively.

**Table 2.** POCP indices for target oxygenated VOCs [22]

VOCs	POCP
Formaldehyde	46
Acetaldehyde	55
Acrolein	90.4
Propionaldehyde	72

## 2.4 Statistical analysis

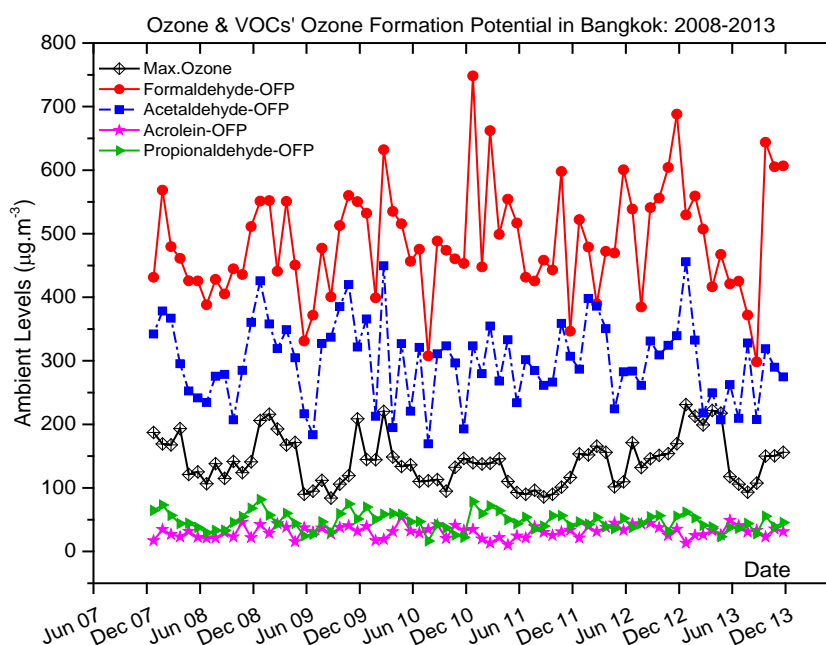
The Mann-Whitney U-test was used to compare the significant differences ( $p < 0.05$ ) in the intervals before (Jan 2008 to Jun 2012) and after (Jul 2012 to Dec 2013) the compliance of gasohol as cleaner-fuels [24-26]. All data was examined using IBM SPSS Statistics 22.

## III. Results and Discussion

The monthly OFPs of aldehyde compounds and maximum ozone concentrations obtained in this study are shown in Fig. 2-3 and Table 3-4. In order to compare the differences of sample means for the quantities of monthly maximum ozone and oxygenated VOCs' OFPs in the two periods of time, before and after the enforcement of gasohol application as cleaner fuels for Euro IV emission standards. Ethanol blended fuels have been legally enforced to be the cleaner gases in Bangkok since July 2015 [15], whereas gasohol fuels have been used as an alternatively additive for MTBE in Thailand since 2004 [14].

### 3.1 OFP levels of oxygenated hydrocarbons

Table 3 presented the OFP levels of oxygenated VOCs (formaldehyde, acetaldehyde, acrolein and propionaldehyde) were varied across sites. However, the OFP levels of carbonyl compounds in core areas of Bangkok trended to be greater than the OFP levels in suburb areas, according to high density of vehicular emission sources in the central districts of Bangkok [27-28]. In addition, there were upward tendencies for the OFP levels of formaldehyde over almost all of areas around Bangkok after the enforcement of gasohol fuels, while other species were diverse across the sites. The formaldehyde OFPs were the highest levels, followed by the acetaldehyde OFPs and appeared to have similar trends to ground level ozone concentrations (in Fig. 2), due to they were the major carbonyl species released from biomass and biofuels oxidation which created from exhaust gases [29-30]. Moreover, the emission of carbonyls VOCs (e.g. formaldehyde, acetaldehyde) from ethanol blended fuels were higher than from gasoline fuels [14, 16-17, 31].



**Fig. 2.** Levels of ozone and the ozone formation potentials of target carbonyls compounds in Bangkok (2008-2013)

**Table3.** The average monthly levels of ambient ozone and VOCs' OFPs during 2008 to 2013

Site	Variable ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Pre-enforcement	Post-enforcement
		Mean $\pm$ SD*, n = 54	Mean $\pm$ SD, n = 18
ERTC	Max. ozone	149.59 $\pm$ 53.30	184.22 $\pm$ 77.84
	Formaldehyde-OFP	397.60 $\pm$ 120.24	351.21 $\pm$ 166.09
	Acetaldehyde-OFP	254.04 $\pm$ 93.27	221.34 $\pm$ 94.16
	Acrolein-OFP	29.71 $\pm$ 18.31	28.40 $\pm$ 16.17
	Propionaldehyde-OFP	40.37 $\pm$ 23.15	21.92 $\pm$ 8.15
CC4	Max. ozone	122.96 $\pm$ 43.40	139.56 $\pm$ 43.92
	Formaldehyde-OFP	510.28 $\pm$ 130.52	618.84 $\pm$ 206.20
	Acetaldehyde-OFP	366.33 $\pm$ 133.09	340.35 $\pm$ 110.30
	Acrolein-OFP	19.07 $\pm$ 19.07	16.79 $\pm$ 20.85
	Propionaldehyde-OFP	53.19 $\pm$ 22.97	47.58 $\pm$ 29.84
DD	Max. ozone	108.34 $\pm$ 45.53	126.11 $\pm$ 39.55
	Formaldehyde-OFP	580.78 $\pm$ 179.27	594.81 $\pm$ 197.57
	Acetaldehyde-OFP	326.68 $\pm$ 89.63	324.13 $\pm$ 103.57
	Acrolein-OFP	37.69 $\pm$ 21.36	44.02 $\pm$ 21.42
	Propionaldehyde-OFP	55.00 $\pm$ 19.66	37.56 $\pm$ 17.69
CUH	Max. ozone	148.37 $\pm$ 51.58	178.89 $\pm$ 56.13
	Formaldehyde-OFP	549.72 $\pm$ 104.50	533.82 $\pm$ 137.52
	Acetaldehyde-OFP	315.89 $\pm$ 95.72	306.17 $\pm$ 125.82
	Acrolein-OFP	33.49 $\pm$ 19.38	44.45 $\pm$ 24.84
	Propionaldehyde-OFP	55.52 $\pm$ 17.64	47.91 $\pm$ 29.12
BSD	Max. ozone	148.39 $\pm$ 51.16	173.33 $\pm$ 56.00
	Formaldehyde-OFP	364.32 $\pm$ 97.93	447.09 $\pm$ 154.62
	Acetaldehyde-OFP	251.16 $\pm$ 91.59	253.17 $\pm$ 164.70
	Acrolein-OFP	31.93 $\pm$ 15.25	32.34 $\pm$ 11.02
	Propionaldehyde-OFP	40.24 $\pm$ 26.24	62.62 $\pm$ 27.31
BKK**	Max. ozone	135.53 $\pm$ 35.72	160.42 $\pm$ 42.00
	Formaldehyde-OFP	480.54 $\pm$ 81.59	509.16 $\pm$ 105.41
	Acetaldehyde-OFP	302.82 $\pm$ 65.41	289.03 $\pm$ 62.36
	Acrolein-OFP	30.38 $\pm$ 9.38	33.20 $\pm$ 9.13
	Propionaldehyde-OFP	48.86 $\pm$ 14.86	43.52 $\pm$ 10.71

\*SD= standard deviation, Grubbs' test statistic, G (0.05, 72) < 3.1

\*\*BKK = Bangkok (average from 5 sites), n = 72 for each site (72 months), 5 sites,

The Mann-Whitney U-test, abridged in Table 4, was employed to evaluate the hypothesis that the levels of monthly maximum ozone and the aldehyde-VOC OFPs (formaldehyde, acetaldehyde, acrolein and propionaldehyde) after the compliance of gasohol cleaner fuels would higher, on the average, than their levels before the compliance of gasohol fuels. It was observed that the monthly maximum ozone concentrations for the BSDsite and overall Bangkok area were significantly increased after the compliance of gasohol cleaner fuels. Whereas, the OFP levels of four carbonyl compounds were varied at different sites: (1) Formaldehyde OFPs were statistically significant in the core district sites of CC4 and BSD; (2) Acetaldehyde OFPs were insignificantly changed for all sites; (3) Acrolein OFPs were substantially raised up in the site of CUH; (4) Propionaldehyde OFPs were noticeably enlarged in the stations of ERTC, DD and BSD ( $p < 0.05$ , 2-tailed). By the findings of this study, the enforcement of gasohol fuels was probably one of the factors caused to rise the levels of aldehyde OFPs and maximum ozone. According to emission products of ethanol gasoline blended fuels, for example, formaldehyde is reactively to form ozone [32-33], acrolein is one the most efficient ozone producers [34] and carbonyls compounds (formaldehyde, acetaldehyde, propionaldehyde) are observed to form ozone [35-36].

**Table 4.** Result for test of significant differences using Mann-Whitney U-test

Site	Variable ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Pre-enforcement	Post-enforcement	Mann-Whitney, n <sub>1</sub> = 54, n <sub>2</sub> = 18, p < 0.05 (2-tailed)*	
		Mean rank	Mean rank	U	Z
ERTC	Max. ozone	34.41	42.78	373.00	-1.47
	Formaldehyde-OFP	38.36	30.92	385.50	-1.31
	Acetaldehyde-OFP	38.35	30.94	386.00	-1.30
	Acrolein-OFP	36.77	35.69	471.50	-1.90
	Propionaldehyde-OFP	40.82	23.53	252.50	-3.04*
CC4	Max. ozone	34.51	42.47	378.50	-1.40
	Formaldehyde-OFP	33.35	45.94	316.00	-2.21*
	Acetaldehyde-OFP	38.20	31.39	394.00	-1.20
	Acrolein-OFP	37.90	32.31	410.50	-1.00
	Propionaldehyde-OFP	38.46	30.61	380.00	-1.38
DD	Max. ozone	34.16	43.53	359.50	-1.65
	Formaldehyde-OFP	36.31	37.06	475.50	-0.14
	Acetaldehyde-OFP	37.19	34.44	449.00	-0.48
	Acrolein-OFP	35.02	40.94	406.00	-1.04
	Propionaldehyde-OFP	40.91	23.28	248.00	-3.10*

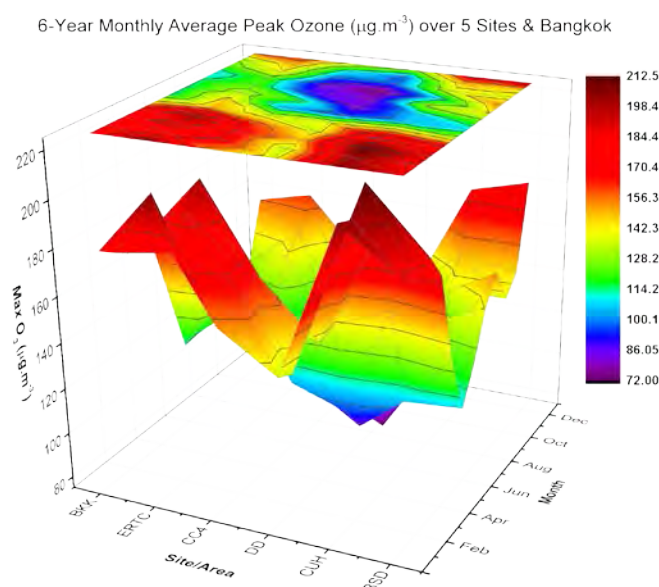


**Table 4.** Result for test of significant differences using Mann-Whitney U-test (Cont'd)

Site	Variable ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Pre-enforcement	Post-enforcement	Mann-Whitney, $n_1 = 54, n_2 = 18,$ $p < 0.05$ (2-tailed)*	
		Mean rank	Mean rank	U	Z
CUH	Max. ozone	33.74	44.78	337.00	-1.94
	Formaldehyde-OFP	37.69	32.94	422.00	-0.83
	Acetaldehyde-OFP	38.06	31.83	402.00	-1.09
	Acrolein-OFP	34.05	43.86	353.50	-1.72*
	Propionaldehyde-OFP	38.39	30.83	384.00	-1.33
BSD	Max. ozone	33.80	44.61	340.00	-1.90*
	Formaldehyde-OFP	32.94	47.17	294.00	-2.50*
	Acetaldehyde-OFP	36.81	35.56	469.00	-0.22
	Acrolein-OFP	36.31	37.06	476.00	-0.13
	Propionaldehyde-OFP	32.63	48.11	277.00	-2.72*
BKK	Max. ozone	33.14	46.58	304.50	-2.36*
	Formaldehyde-OFP	34.91	41.28	400.00	-1.12
	Acetaldehyde-OFP	37.87	32.39	412.00	-0.96
	Acrolein-OFP	34.78	41.67	393.00	-1.21
	Propionaldehyde-OFP	38.56	30.33	375.00	-1.44

### 3.2 Levels of maximum ozone

The levels of monthly maximum ozone over five sites and overall areas of Bangkok were from 112.78 to 158.25  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , displayed in Fig. 3. The lowest peak ozone concentration was found at DD site, the inner district of Bangkok and the highest level by BU site, the alternative site of ERTC, in PathumThani Province (downwind site during November and April) located at the NE suburb of Bangkok. These suggested that the mechanisms of photochemical reactions required time to cook and yield ozone with long range transport at downwind suburb area. These were similarly to the previous reports, revealing that the area of Bangkok and the adjacent provinces were impacted by SW and NE monsoon [30, 37]. However, the ozone levels of the other suburban sites, namely BSD and the alternative site of CUH (ThBri) were also higher than the ozone concentrations of inner districts of Bangkok. These advised that the two SW suburban sites of Bangkok, where were closely to the gulf of Thailand, were associated with vehicular and industrial emission sources in SamutPrakan and SamutSakhon provinces coupled with additional effects from sea breeze. Mixing of chlorine (Cl) in sea salt and urban  $\text{NO}_x$  could available create decisive conditions to produce nitryl chloride ( $\text{ClNO}_2$ ), which cooperated in photodecomposition during the daytime yielded chlorine radicals, regenerated nitrogen dioxide ( $\text{NO}_2$ ) and ozone production might raise from their reactions [38-39]. The maximum ozone concentrations in the post-enforcement period of gasohol fuels were found to be greater than the pre-enforcement period for all sites, summarized in Table 3.



**Fig. 3.** 3D plot of 6-year monthly averages of maximum ozone concentrations over 5 sites and overall areas for Bangkok and its vicinity.

#### IV. Conclusion

Photochemical ozone creation potential indices was used to estimate the levels of ozone formation potential of four carbonyl VOCs: formaldehyde, acetaldehyde, acrolein and propionaldehyde in order to investigate the effect of the enforcement of gasohol cleaner fuels in Bangkok from 2008 to 2013 on the ground level ozone. The average OFPs of formaldehyde and acetaldehyde were the first two main species come after by propionaldehyde and acrolein respectively. The effect of gasohol enforcement on the levels of the four carbonyl OFPs and ambient ozone was examined using the Mann-Whitney U-test. From the results of this study, the compliance of gasohol might be one of significant factors affected on the maximum ozone concentrations in Bangkok and the adjacent area. However, the OFP levels were not significantly observed to be increased by the gasohol enforcement.

#### Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the Thailand Pollution Control Department for associating the air quality and meteorological data. Additionally, the authors would like to thank for all valuable suggestions from Asst. Prof. Dr. Sarawut Thepanondh, Department of Sanitary Engineering, Mahidol University, Thailand.

#### References

- [1]. Pollution Control Department [PCD], Thailand State of Pollution Report 2012 (Bangkok, BTS, 2012).
- [2]. Y. Hayashi, D. Kenji, Y. Masaharu and K. Masako, Urban transport sustainability: Asian trends, problems and policy practices, *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 4(1), 2004, 27-45.
- [3]. A.N. Amin, Reducing emissions from private cars: Incentive measures for behavioural change (2009).
- [4]. A.W. Reitze, Air pollution control law: compliance and enforcement (Washington, D.C., Environmental Law Institute, 2001).
- [5]. U.S. EPA. Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants volume II of III (Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, 2006).
- [6]. R. Atkinson, *Atmospheric Chemistry of VOCs and NOx*. *Atmospheric Environment* 34, 2000, 2063-2101.
- [7]. Y. Zhang, M. Yuqing, L. Junfeng and M. Abdelwahid, Levels, sources and health risks of carbonyls and BTEX in the ambient air of Beijing, China, *Journal of Environmental Sciences* 24(1), 2012, 124-130.
- [8]. The International Bank for Reconstruction, Ground-level ozone, in *Pollution prevention and abatement handbook 1998 toward cleaner production* (Washington, D.C., The World Bank Group, 1999).
- [9]. Institute for Global Environmental Strategies. Air Pollution Control in the Transportation Sector: Third Phase Research Report of the Urban Environmental Management Project (Sato Printing, Yokohama, 2007).
- [10]. Office of transport & traffic policy and planning. The study to develop master plan for sustainable transport system and mitigation of climate change impacts (Bangkok, 2013).
- [11]. The Royal Thai government gazette [GG], Notification of national environmental board No. 24, B.E. 2547 (2004) under the enhancement and conservation of national environmental quality act B.E.2535 (1992), in the Royal Thai Government Gazette No. 121 Special Part 104 D dated September 22, B.E.2547 (2004) (Bangkok, 2004).
- [12]. PCD, Thailand State of Pollution Report 2011 (Bangkok, The Interest, 2011).
- [13]. PCD, Summary for Thailand State of Pollution 2013(in Thai) (Bangkok, 2013).
- [14]. PCD, Determination of Gasohol Exhaust Emission: The Final Report (in Thai) (Bangkok, Chulalongkorn University Printing House, 2008).
- [15]. Asian Development Bank, Final Consultants' Report: Road map for cleaner fuels and vehicles in Asia (2008).
- [16]. A.N. Shah, G. Yun-Shan and H. Zhao, Aldehyde and BTX emissions from a light duty vehicle fueled on gasoline and ethanol-gasoline blend, operating with a three-way catalytic converter. *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering* 4, 2010, 340-345.
- [17]. H.H. Yang, L. Ta-Chuan, C. Chia-Feng and E. Lee, Effects of ethanol-blended gasoline on emissions of regulated air pollutants and carbonyls from motorcycles, *Applied Energy* 89(1), 2012, 281-286.
- [18]. The United States Environmental Protection Agency. Compendium Method TO-11, Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Active Sampling Methodology] (1999).
- [19]. GG, Notification of National Environmental Board No.28, B.E 2550 (2007) under the Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act B.E.2535 (1992), in the Royal Thai Government Gazette No.124 Part 58 dated May 14, B.E.2550 (2007) (Bangkok, 2007).
- [20]. R.G. Derwent, M.E. Jenkin and S.M. Saunders, Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions, *Atmospheric Environment* 30(2), 1996, 181-199.
- [21]. R.G. Derwent, M.E. Jenkin, N.R. Passant and M.J. Pilling, Reactivity-based strategies for photochemical ozone control in Europe. *Environmental Science & Policy* 10, 2007, 445-453.
- [22]. R.G. Derwent, M.E. Jenkin, N.R. Passant and M.J. Pilling, Photochemical ozone creation potentials (POCPs) for different emission sources of organic compounds under European conditions estimated with a Master Chemical Mechanism. *Atmospheric Environment* 41(12), 2007, 2570-2579.
- [23]. H.R. Cheng, S.M. Saunders, H. Guo, P.K.K. Louie and F. Jiang, Photochemical trajectory modeling of ozone concentrations in Hong Kong. *Environmental Pollution* 180, 2013, 101-110.
- [24]. M. Riediker, R. Williams, R. Devlin, T. Griggs and P. Bromberg, Exposure to particulate matter, volatile organic compounds, and other air pollutants inside patrol cars. *Environmental science & technology* 37(10), 2003, 2084-2093.
- [25]. T. Vuorinen, A.M. Nerg, and J. K. Holopainen, Ozone exposure triggers the emission of herbivore-induced plant volatiles, but does not disturb tritrophic signaling. *Environmental Pollution* 131(2), 2004, 305-311.
- [26]. P. Depuydt, G.F. Joos, and R.A. Pauwels, Ambient ozone concentrations induce airway hyperresponsiveness in some rat strains. *European Respiratory Journal* 14(1), 1999, 125-131.
- [27]. United Nations, *Cities and Sustainable Development: Lessons and Experiences from Asia and the Pacific*, 2004
- [28]. T. Burapatana and W. Ross, Bangkok: Suburbanizing and unsustainable, *Environment and Natural Resources Journal* 5(1), 2007
- [29]. W. Wei, W. Shuxiao, C. Satoru, K. Zbigniew, C. Janusz and H. Jiming. Emission and speciation of non-methane volatile organic compounds from anthropogenic sources in China. *Atmospheric Environment* 42(20), 2008, 4976-4988.
- [30]. N. T. Kim Oanh, M. Martel, P. Pongkiatkul and R. Berkowicz, Determination of fleet hourly emission and on-road vehicle emission

- factor using integrated monitoring and modeling approach. *Atmospheric Research* 89(3), 2008, 223-232.
- [31]. R. Suarez-Bertoa, A. Zardini, H. Keukenand C.Astorga, Impact of ethanol containing gasoline blends on emissions from a flex-fuel vehicle tested over the Worldwide Harmonized Light duty Test Cycle (WLTC). *Fuel*, 2014.
- [32]. Y. Akutsu, F. Toyoda, K.I. Tomita, F.Yoshizawa, M. Tamura and T. Yoshida. Effect of exhaust from alcohol fuel on ozone formation in the atmosphere, *Atmospheric Environment. Part A. General Topics* 25(7), 1991, 1383-1389.
- [33]. J.S. Gaffney and N.A. Marley. The impacts of combustion emissions on air quality and climate—From coal to biofuels and beyond, *Atmospheric Environment* 43(1), 2009, 23-36.
- [34]. Y. Andersson-Sköld, P.Grennfelt and K. Photochemical ozone creation potentials: a study of different concepts.*Journal of the Air & Waste Management Association* 42(9), 1992, 1152-1158.
- [35]. E. Grosjean, J.B. de Andrade and D. Grosjean, Carbonyl products of the gas-phase reaction of ozone with simple alkenes. *Environmental science & technology* 30(3), 1996, 975-983.
- [36]. A.J. Haagen-Smit and M.M. Fox, Ozone formation in photochemical oxidation of organic substances, *Industrial & Engineering Chemistry* 48(9), 1956, 1484-1487.
- [37]. P. Suwattiga and W. Limpaseni. Seasonal source apportionment of volatile organic compounds in Bangkok ambient air. *ScienceAsia* 31, 2005, 395-401.
- [38]. N. L.Wagner, T. P. Riedel, J. M. Roberts, J. A. Thornton, W. M. Angevine, E. J. Williams and B. M. Lerner et al., The sea breeze/land breeze circulation in Los Angeles and its influence on nitryl chloride production in this region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012) 117(D21), 2012.
- [39]. Hov, Øystein. The effect of chlorine on the formation of photochemical oxidants in southern Telemark, Norway. *Atmospheric Environment* (1967) 19(3), 1985, 471-485.

# Evaluation of Urban Ozone Formation by Photochemical Ozone Creation Potential Indices and Generalized Additive Model

Sirithorn Saengsaï<sup>1</sup> and Wanida Jinsart<sup>2</sup>

**Abstract**—Ozone formation potential (OFP) of 43 VOCs species were analyzed using the ambient concentrations data from 2008 to 2013 and the Photochemical ozone creation potential indices, the indicator of a VOCs' capacity to contribute to the photochemical ozone formation. The ozone production potential contribution (OPC) can then be calculated as the percentage of individual OFP to the summation of all VOCs' OFPs. The predicted ozone formation potential species were verified by Generalized Additive Model (GAM). The impacts of the photochemical ozone creation potential to surface ozone level were analyzed. Halogenated hydrocarbons were found to be the main group that affected to the ozone production 40.2% with the overall mean of response and  $r^2$  changes (9.4%). Although from the calculation, the OFP level of Hydrocarbons (59.5%) and oxygenated hydrocarbons (39.4%) were high but from GAM results, their effects to ozone production (6.0% and 1.6%) were lower than those of halogenated hydrocarbons.

**Keywords**—generalized additive model, ozone formation potential, photochemical ozone creation potential, volatile organic compound

## I. INTRODUCTION

BANGKOK'S air quality was affected by rapid urbanization, economic development, and increases in number of transport vehicles. On-road vehicles and industrial sources are typically the major sources of common urban air pollutants e.g. ozone and VOCs, [1]. The trace gas ozone and halogenated VOCs in the troposphere are interchange media for air pollution and climate change [2]. In Thailand, the surface levels of 1-hour and 8-hour average of ozone recording 1996-2013 have been exceeded the standard (100 ppb) over many areas, especially in Bangkok and its vicinity [3]. Furthermore from other reports, Zhang and Kim Oanh [4],[5] revealed that the ratios of  $\text{NO}_x$  to Non-methane Hydrocarbons (NMHCs) toward tropospheric ozone formation were VOC-sensitive reactions occurred in inner Bangkok, whereas outer Bangkok sites were  $\text{NO}_x$  sensitive condition with higher concentrations, at downwind. On the other hand, the increasing of oxygenated hydrocarbons could be resulted from the National promotion program for phasing out of methyl tertiary butyl ether (MTBE) in gasoline and phasing in of ethanol-gasoline blended since 2004.

The funding research for this work was supported by National Research Council of Thailand 2013 GRB\_APS\_20572304.

Sirithorn Saengsaï<sup>1</sup> was with Interdisciplinary Program in Environmental and Hazardous Waste Management (International Program), Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand e-mail: ssaengsaï@gmail.com

Wanida Jinsart<sup>2</sup> is with the Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330 Thailand (corresponding author's phone: 66-81-8375127 ; e-mail: [jwanida2013@gmail.com](mailto:jwanida2013@gmail.com) or [jwanida@chula.ac.th](mailto:jwanida@chula.ac.th)).

These have possibly been the additional emission sources for urban ozone precursors because the levels of oxygenated hydrocarbons emitted from gasohol are higher than gasoline fuels [6].

The objective of this research is to quantify the extent in which regional photochemical creation potential of volatile organic compounds, as ozone precursors, respond to atmospheric ozone in Bangkok and vicinity, Thailand. This was achieved by the application of generalized additive model (GAM) to estimate the response of ozone ( $\text{O}_3$ ) affected from VOCs' reactivity associated with other ozone precursors, namely nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ), carbon monoxide (CO) and local meteorological variables.

## II. METHOD

### A. Study Area

The study sites for evaluating the potential of surface ozone formation were consisted of three inner districts and one outer district of Bangkok comparable to its suburban area in Pathum Thani province, located at the north-east of Bangkok, showed in Figure 1. The monitoring stations, with roughly 50 kilometer-long, were selected based on a year-round wind direction at upwind and downwind, which mainly impacted by SW and NE monsoon of the center of Bangkok.

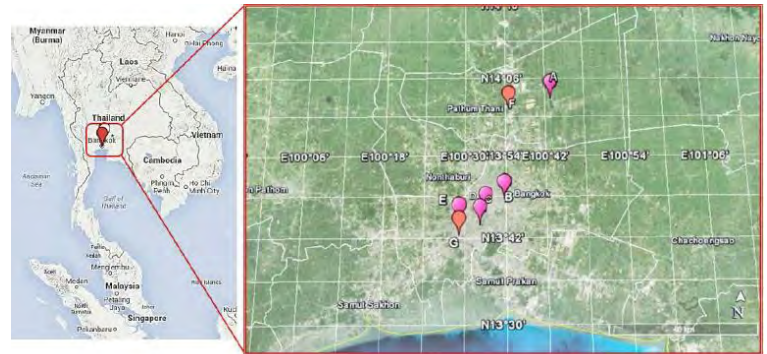


Fig. 1 Map of Bangkok with the monitoring sites in this study

### B. Data Information

All monitoring data, including 43 VOCs,  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$  and CO, together with surface meteorological parameters during 2008 to 2013, were obtained from Pollution Control Department, Thailand. VOCs samples were quantified by the standard operating procedures equivalent to US EPA method TO-11A and TO-15A. In addition,  $\text{NO}_x$  and  $\text{O}_3$  were determined by continuous chemiluminescence detections along with CO that analyzed by online non-dispersive infrared analyzers equivalent to U.S EPA ambient standard methods [7]-[9]. All

data were extracted correspondingly to monthly VOCs samples data. The input data were air pollutants concentrations ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), temperature (K), pressure (mmHg), relative humidity(%), wind speed ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), wind direction ( $^{\circ}$ ) and global radiation ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) respectively.

### C. Ozone formation potential (OFP)

VOCs have been concerned as the reactive species in photochemical oxidations of  $\text{O}_3$ . Individual VOC participates in the complex reactions of ozone formation differently because of its reactivity, its mechanism and the ratio of VOC to other precursors and meteorological parameters [10]-[12]. Several methods were used to study the competency of ozone formation throughout VOCs' reactivity such as the maximum increment reactivity (MIR) scale, which is relevant to the change of ozone creation to unit amount of added chemical in the system [12] and the photochemical ozone creation potential (POCP) scale that quantified the formation of ozone relatively to the capacity of ethylene using photochemical trajectory model allowing for long range transport, as expressed in (1) and (2) indicated the calculation for the VOCs' OFP using POCP indices [13].

$$POCP_i = \frac{O_{3i} - O_{3basecase}}{O_{3ethylene} - O_{3basecase}} \times 100 \quad (1)$$

$$OFP_i [\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}] = C_{VOC_i} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}) \times POCP_i \quad (2)$$

where  $O_{3basecase}$  refers to the ozone mixing ratio along the trajectory in the base case,  $O_{3i}$  with an additional of the  $i^{\text{th}}$  VOC species,  $O_{3ethylene}$  refers to that with the same mass of ethylene,  $OFP_i$ ,  $C_{VOC_i}$  and  $POCP_i$  are the ozone formation potential, the concentration and the photochemical ozone creation potential coefficient of  $i^{\text{th}}$  VOC respectively. The ozone production potential contribution (OPC) can then be calculated as the percentage of individual OFP to the summation of all VOCs' OFPs.

### D. Statistical model

Generalized Additive Model (GAM): As an alternative model of non-parametric regression, GAM has become a prevalent tool for prediction of air pollution levels because it can be applied with various flexible frameworks and input data [14]. GAM illustrates non-linear relationships by estimating non-parametric functions of covariate variables using loess or splines smoother performed with respect to the partial residuals [15]. The relationships between the response and explanatory variables in generalized additive model are described by  $\eta = g(\mu)$ , where  $\eta$  is the linear predictor and  $g(\mu)$  denotes a link function. The fundamental of generalized linear model is expressed as:  $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ , where  $\mu$  is an overall mean,  $\tau_i$  denotes  $i^{\text{th}}$  treatment effects and  $\varepsilon_{ij}$  indicates the experimental residual. Then the simple additive model can be defined in (3).

$$\log(y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^n S_j(x_{ij}) + \varepsilon_i \quad (3)$$

where  $y_i$  is the  $i^{\text{th}}$  ozone concentration,  $\beta_0$  is the overall mean of the response or an intercept of the scatter plot and  $S_j(x_{ij})$  is the smooth function of  $i^{\text{th}}$  value of covariate  $j$  (ie. temperature, pressure, ..., global radiation,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{VOC}_1$ ,  $\text{VOC}_2, \dots, \text{VOC}_{38}$ , excluding VOCs with POCP indices equal to zero) and  $n$  is the total number of covariates, and  $\varepsilon_i$  is the  $i^{\text{th}}$  residual.

The Poisson regression model using smoothing splines smoother, with the categorized predictors of the study sites and the sampling months, were used to investigate the interactive effects between atmospheric ozone level and its precursors, in terms of VOCs OFP levels and concentrations of  $\text{NO}_x$  and  $\text{CO}$ , associated with local meteorological conditions. The quantile (Q-Q) plots were accomplished by auto-regression GAM at 95% confident level. The impacts of all predictors to ozone formation were tested from six distinct models as follows: (a) average ozone against meteorological predictors, (b) average ozone against meteorological predictors + inorganic ozone precursors, (c) average ozone against meteorological predictors + inorganic ozone precursors + oxygenated hydrocarbons, (d) average ozone against meteorological predictors + inorganic ozone precursors + oxygenated hydrocarbons + acrylonitrile, (e) average ozone against meteorological predictors + inorganic ozone precursors + oxygenated hydrocarbons + acrylonitrile + hydrocarbons, (f) average ozone against meteorological predictors + inorganic ozone precursors + oxygenated hydrocarbons + acrylonitrile + hydrocarbons + halogenated hydrocarbons. In addition, the goodness of fit was evaluated similarly to a generalized linear model, defined by Deviance (D) statistic:  $D = -2 * (Lm - Ls)$ , where  $Lm$  represented the maximized log-likelihood value for the model of interest, and  $Ls$  is the log-likelihood for the saturated model [16] along with the root mean square error (RMSE), where  $X_{obs}$  was observed values and  $X_{model}$  was from the model values at time/place  $i$ , expressed in (4).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}} \quad (4)$$

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### A. Ozone formation potential

Toluene, as a backbone hydrocarbon in urban atmosphere, which emitted from vehicular petroleum combustion and coke oven industry [17], the average OFP level of toluene were the highest rank, about  $916.39 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , found in Bangkok. The OFPs of aromatic hydrocarbons, benzene, xylene and ethylbenzene were ranged from 22.40 to  $225.52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . In the cases of oxygenated hydrocarbons with high POCP indices [13], formaldehyde and acetaldehyde, their OFPs were 487.69 and  $299.37 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  which were higher than the OFPs of aromatic HCs. These compounds were the principal species released from biomass and bio-fuels oxidation which found from automobile exhaust pipes [18], [19]. The OFP levels of halogenated HCs, which normally come from industrial sector [20] were lower than other VOCs groups. The two compounds with lowest average OFPs were 1,2-dichloroethane and 1,1,1-

trichloroethane, data summarized in Figure 2. In addition, the OFP trends, after excluding halogenated HCs, toluene was the most was most abundant VOCs species. This finding is similar to a report by Tsai *et al.*, 2007 in the central Taiwan [21]. However, the ratio of toluene OFP to benzene OFP of these two countries was different which implied that the amounts of VOCs in the two areas were not in the same scale. The emission sources and locally meteorological conditions in both countries were different. Whereas, VOCs with the highmaximum increment reactivity, another scale of ozone formation, created in Shanghai, China weremis- trans-2-butene, propene and isoprene [22]. These emphasized that emission sources and local meteorology were significant to ozone formation [23].

The ozone production contributions of all VOCs were similarly to the OFPs' trend depended on their molecular weights and POCP indices [24] and common HCs group was the largest significant group with 59.51% contribution, came after by oxygenated HCs, halogenated HCs and acrylonitrile with 39.39%, 1.05% and 0.05%, respectively.

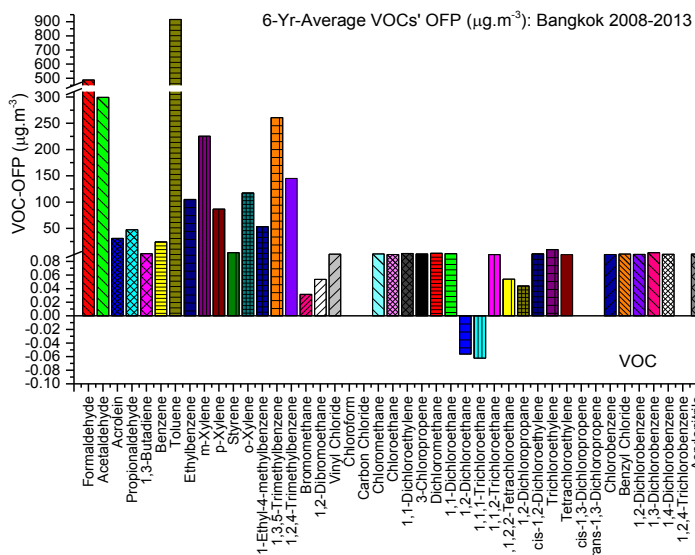


Fig. 2 Six years average of Ozone Formation Production for each VOC in Bangkok ambient air.

**B. Generalized Additive Model (GAM)**

The impacts of locally meteorological parameters, inorganic ozone precursors and the OFPs of each VOC group on surface ozone levels were analyzed by the different  $r^2$  of the model (a) to (f). Following GAM analysis in (3), data inTable 1 specified that meteorological predictors played a major role, with 60.75%, in the ozone formation, whereas halogenated HCs were participated in the process of ozone production over than typical HCs and oxygenated HCs, 9.39%, 6.01% and 1.57% consequently. In addition, the overall mean of the response was highly affected by halogenated HCs around 40.21% contradict to their contributions to ozone formation. This suggested that the association of the tropical climate with high temperature, humidity and solar radiation inclined the ozone production from halogenated HCs [25], [26].

TABLE I  
GAM STATISTICAL ANALYSIS FOR MODEL (A) TO (F) AT SCALE ESTIMATE 1 AND NUMBER OF OBSERVATION 360

Model	Final deviance (D <sub>m</sub> )	Residual df	D <sub>m</sub> /df	μ	μ change (%)	r <sup>2</sup> *100 %	r <sup>2</sup> change (%)
a	780.35	319.94	2.44	38.00	0.00	60.75	0.00
b	726.83	311.98	2.33	38.06	0.16	63.44	2.69
c	695.64	295.93	2.35	37.29	-2.02	65.01	1.57
d	679.13	291.91	2.33	36.91	-1.02	65.84	0.83
e	559.59	247.90	2.26	35.94	-2.63	71.85	6.01
f*	373.01	159.94	2.33	50.39	40.21	81.24	9.39

\* Data in Figure 2

However, acrylonitrile, as other HCs affected to  $r^2$  change about 0.83%. In addition, CO and NO<sub>x</sub>, as inorganic ozone precursors, caused to  $r^2$  change around 2.69%. In consideration of numbers of compounds in each group to % change of  $r^2$ , inorganic ozone precursors were rank at the top of all groups followed by acrylonitrile, HCs, halogenated HCs and oxygenated HCs orderly. While the ratio of deviance to degree of freedom for individual model was fairly steady from model (a) to (f). The final scatter plot coupled with spline lines of selected predictors, imaged in Figure 3a-c, of model (f) reached out the  $r^2$  approximately 81.24% at 95%CI with deviance 373.01, residual degree of freedom 159.94 and RMSE  $5.13\mu\text{g.m}^{-3}$  (=10.26 ppb). In comparison to a previous studied by Davis and Speckaman (1999), predicted 8-hr-average ozone,  $r^2$  ranged from 66% to 73% and RMSE ranged from 13.2 to 16.3 ppb [27], our results indicated the improvement of the predicted values. Additionally, the fitted model carried out the overall  $r^2$  around 58% through the estimation of spatial and temporal ambient ozone patterns related with elevation, maximum daily temperature and precipitation based on the log-likelihood [28].

The quantile (Q-Q) plot accomplished by auto-regression GAM at 95% confident level was illustrated in Fig. 3a. The examples of Poisson regression model using smoothing spline smoother were shown in Figure 3b and 3c. Two VOCs, formaldehyde and m-xylene were chosen as their different outcomes. Fig. 4 displayed the plots of ozone response against OFP levels of formaldehyde and global radiation, over time which displayed the lift of OFP levels and ozone in recent years straightly coupled with association of global radiation. 3D plot clearly illustrated the association between formaldehyde OFP and Ozone formation. In Fig. 5, the predicted and response ozone levels by GAM of 360 monthly samples from 5 monitoring sites between January 2008 and December 2013duration. The predicted and observed values were found significantly correlation in the same trend.

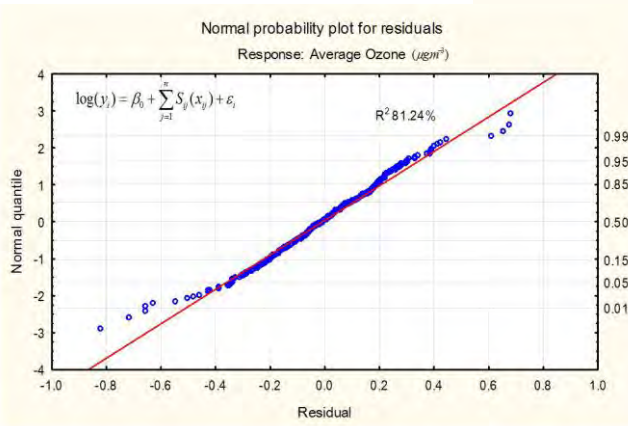


Fig. 3(a) Q-Q plot of residual and regress

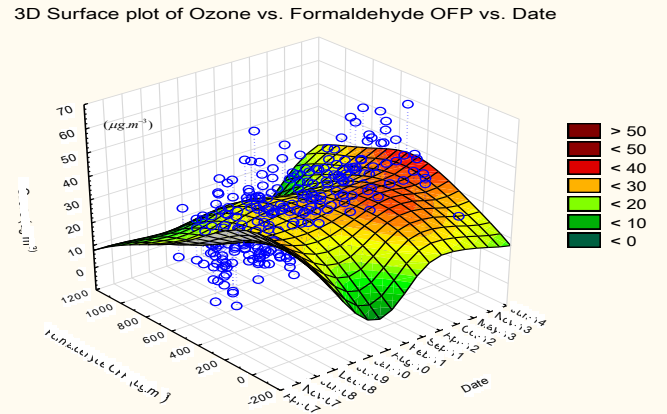


Fig. 4 3D plot of ozone level against ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) formaldehyde OFP ( $\mu\text{g.m}^{-3}$ ) and date

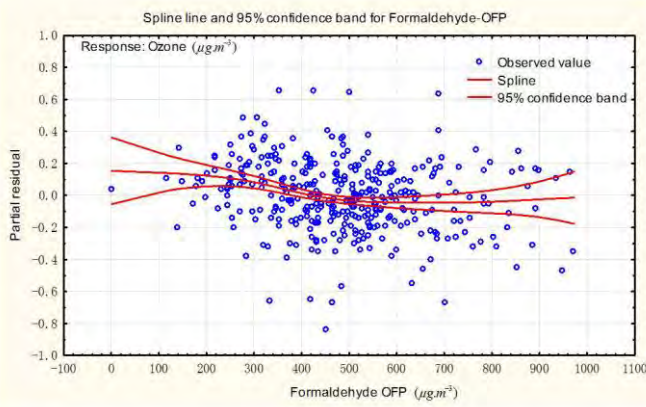


Fig. 3(b) Spline lines and 95% CI of formaldehyde OFP

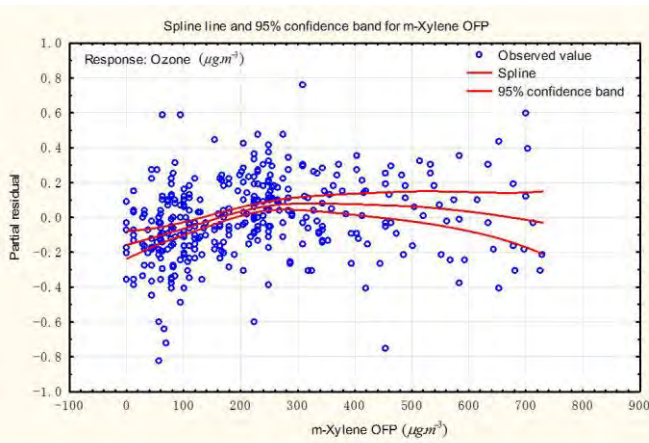


Fig. 3(c) Spline lines and 95% CI of m-xylene OFP

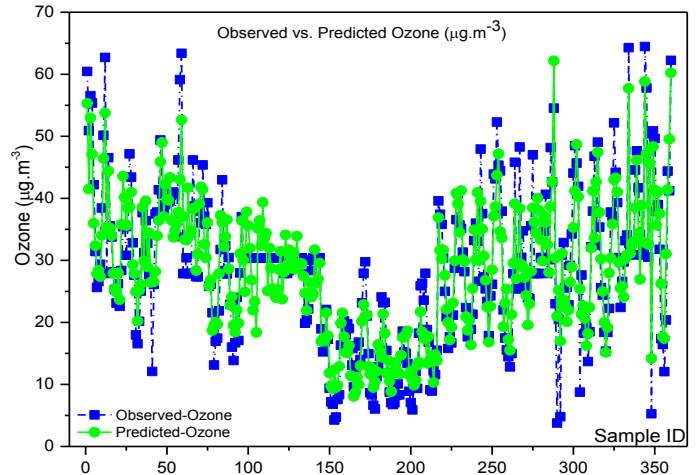


Fig. 5 Comparison plots of observed and predicted ozone concentration by GAM analysis

#### IV. CONCLUSION

The cumulative impacts of VOCs through ozone formation in Bangkok, Thailand was the highest level, directly impacted by halogenated HCs indicated by the overall mean of response (40.21%) and  $r^2$  change 9.39% of GAM. Even though their ozone production contribution was lower than other HCs found in Bangkok. Meanwhile HCs, as the group with greatest OPC (59.51%), had a moderate effect (6.01%) to ozone production with dropped the change of  $R^2$ , which suggested the VOCs limiting conditions of Bangkok area. Similarly, in the cases of oxygenated HCs and others HCs. Toluene was the key specie that had the highest OFP level and contribution to ozone ( $607.28 \mu\text{g.m}^{-3}$ , 0.30%); however it did not significantly impact to ozone formation validated from GAM analysis ( $p < 0.05$ ). Additionally, these results can be employed to provide a frame for modeling the impacts of VOCs to ozone production and selecting the appropriate tool to control VOCs species which significantly incline ozone levels in urban atmosphere and affect to environmental air quality.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors are deeply appreciated the valuable suggestion from Assistant Professor Dr. SarawutThepanondh, Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok Thailand. The authors would sincerely thank to Thailand Pollution Control Department for providing the air quality and meteorological data.

## REFERENCES

- [1] N.A. Amin, "Reducing Emissions from Private Cars: *Incentive Measures for Behavioural Change*," Prepared for economics and trade branch, division of technology, industry and economics, UNEP, 2009
- [2] S.D. Stevenson, *Science Report: "Influence of emissions, climate and the stratosphere on tropospheric ozone"*, The Environment Agency, Bistol, UK., 2006
- [3] Pollution Control Department [PCD]. *Thailand State of Pollution Report 2011-2013*.
- [4] N.B. Zhang and N.T. Kim Oanh, "Photochemical smog pollution in the Bangkok Metropolitan Region of Thailand in relation to ozone precursor concentrations and meteorological conditions," *Atmospheric Environment*, vol. 36, no. 26, pp. 4211-4222, 2002.
- [5] N.T. Kim Oanh and N.B. Zhang, "Photochemical smog modeling for assessment of potential impacts of different management strategies on air quality of the Bangkok metropolitan region, Thailand," *Air & Waste*, vol. 44, no. 54, pp.1321-1338, 2004
- [6] N.A. Shah, G. Yun-Shan and Zhao H. "Aldehyde and BTX emissions from a light duty vehicle fueled on gasoline and ethanol-gasoline blend, operating with a three-way catalytic converter," *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 4, pp. 340-345, 2010
- [7] The Royal Thai Government Gazette [GG]. *The Royal Government Gazette No.126 Part 114, Notification of National Environmental Board No.33, B.E 2552 (2009) under the Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act, B.E.2535 (1992)*.
- [8] U.S. EPA *Compendium Method TO-15, Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected In Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography. Mass Spectrometry (GC/MS) U.S EPA. Report nr EPA/625/R-96/010b.* (1999a).
- [9] U.S. EPA. *Compendium Method TO-11, Determination of Formaldehyde in Ambient Air Using Adsorbent Cartridge Followed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [Active Sampling Methodology] EPA/625/R-96/010b.* (1999b).
- [10] R.Ooka, M. Khiem, H. Hayami, H. Yoshikado, H. Huang and Y. Kawamoto, "Influence of meteorological conditions on summer ozone levels in the central Kanto area of Japan," *Procedia Environmental Sciences*, vol.4, pp.138-150, 2011
- [11] C. Dueñas, C.M.Fernández, S. Cañete, J. Carretero and E. Liger, "Assessment of ozone variations and meteorological effects in an urban area in the Mediterranean Coast," *Science of the Total Environment* vol.299, no.1, pp. 97-113, 2002
- [12] P.W. Carter, "Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds," *Air & Waste*, vol.44, no.7, pp. 881-899, 1994
- [13] G.R. Derwent, E.M. Jenkin, R.N. Passant and J.M. Pilling, "Reactivity-based strategies for photochemical ozone control in Europe," *Environmental Science & Policy*, vol. 10, pp.445-453, 2007
- [14] M. Aldrin and H.I. Haff, "Generalised additive modelling of air pollution, traffic volume and meteorology," *Atmospheric Environment*, vol.39, no.11, pp.2145-2155, 2005
- [15] J.T. Hastie and J.R. Tibshirani, *Generalized Additive Models*, vol.43, CRC Press. 1990
- [16] A. Agresti, *An Introduction to Categorical Data Analysis*, vol.135, Wiley. 1996
- [17] World Health Organization, *Air Quality Guidelines for Europe*, WHO Regional Office for Europe, 2000
- [18] W. Wei, S. Wang, S. Chatani, Z. Klimont, J. Cofala and J. Hao, "Emission and speciation of non-methane volatile organic compounds from anthropogenic sources in China," *Atmospheric Environment*, vol.42, no.20, pp. 4976-4988, 2008
- [19] N.T. Kim Oanh, M. Martel, P. Pongkiatkul and R. Berkowicz, "Determination of fleet hourly emission and on-road vehicle emission factor using integrated monitoring and modeling approach," *Atmospheric Environment*, vol.42, pp. 223-232, 2008
- [20] J. Suthawaree, Y. Tajima, A. Khunchornyakong, S. Kato, A. Sharp and Y. Kajii, "Identification of volatile organic compounds in suburban Bangkok, Thailand and their potential for ozone formation," *Atmospheric Research*, vol.104, pp. 245-254, 2012
- [21] W.Tsai, "Environmental risk of new generation fluorocarbons in replacement of potent greenhouse gases," *Int.J. Global Warming*, vol.5, no.1, pp 84-95, 2013
- [22] C. Cai, F. Geng, X. Tie, Q.Yu and J. An, "Characteristics and source apportionment of VOCs measured in Shanghai, China," *Atmospheric Environment*, vol.44, no.38, pp. 5005-5014, 2010.
- [23] US. EPA. "Regulatory Impact Analysis of the Proposed Revisions to the National Ambient Air Quality Standards" 2007 Report nr EPA-452/R-07-008
- [24] J.H. Shin, C.J. Kim, J.S. Lee and P.Y. Kim, "Evaluation of the optimum volatile organic compounds control strategy considering the formation of ozone and secondary organic aerosol in Seoul, Korea," *Environmental Science and Pollution Research*, vol.20, no.3, pp. 1468-1481, 2013
- [25] T.M. Latif, S. L. Huey and L. Juneng, "Variations of surface ozone concentration across the Klang Valley, Malaysia," *Atmospheric Environment*, vol.46, pp.434-445, 2012
- [26] K.L. Sahu, S. Lal, V. Thouret and G.H. Smit, "Climatology of tropospheric ozone and water vapour over Chennai: a study based on MOZAIC measurements over India," *International Journal of Climatology*, vol.31, no.6, pp.920-936, 2011
- [27] M.J. Davis and P. Speckman, "A model for predicting maximum and 8h average ozone in Houston," *Atmospheric Environment*, vol.33, no.16, pp.2487-2500, 1999
- [28] K.H. Preisler, J.M. Arbaugh, A. Bytnerowicz and L.S. Schilling "Development of a statistical model for estimating spatial and temporal ambient ozone patterns in the Sierra Nevada, California," *The Scientific World Journal*, vol.2, pp.141-154, 2002





C0215048

**IICBE INT'L CONFERENCE**  
www.iicbe.org

*Certificate of Participation*

*This Certificate is awarded to*

*Wanida Jinsart*

*Associate Professor, Department of Environmental Science, Faculty of Science,  
Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand*

*for Paper Titled*

*Evaluation of Urban Ozone Formation by Photochemical Ozone Creation Potential  
Indices and Generalized Additive Model*

*in technical presentation, recognition and appreciation of research contributions to  
International Conference on Biological, Civil and Environmental  
Engineering (BCEE-2015)*



**IICBE Chair**

**Feb. 3-4, 2015  
Bali (Indonesia)**

# Health Risk Assessment from Bush Fire Air Pollutants using Statistical Analysis and Geographic Information System: A Case Study in Northern Thailand

Pungkhom, P.<sup>1</sup> and Jinsart, W.<sup>2\*</sup>

Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, E-mail: jwanida@chula.ac.th

\*Corresponding author

## Abstract

The association between fine particulate matter ( $PM_{10}$ ), carbon monoxide (CO), ozone ( $O_3$ ), volatile organic compounds (VOCs) and health risk were analysed from the air quality data and frequency of fire events in 2009-2013. The risk areas and Hazard Quotient (HQ) were compared and illustrated by Geographic Information System (GIS). Hazard Index (HI) of CO,  $O_3$  and BTEX were significantly correlated with  $r = 0.57$ ,  $0.55$  and  $0.55$  ( $p < 0.05$ ) respectively. Carcinogenic risk of benzene and ethyl benzene were associated with fire events,  $r = 0.79$  and  $0.31$  ( $p < 0.05$ ) and the unit risk was higher than standard level,  $1 \times 10^{-6}$ .

## 1. Introduction

The 8 provinces in the north of Thailand covered the areas of 85,852.26 km<sup>2</sup>. The land topography and general environment are the valleys, surrounded by paddy-fields and sandwiched in between mountain ranges (<http://www.dopa.go.th/padmic/jungwad76/-jungwad76.htm>). There are 6,141,268 people living in this region. The population density is about 71.5 person/km<sup>2</sup> ([http://stat.bora.dopa.go.th/stat/y\\_-stat55.html](http://stat.bora.dopa.go.th/stat/y_-stat55.html)). The environmental problem in this area mainly resulted from the burning of agricultural waste materials to prepare the planting areas and the fire was often spread to the forest nearby. This incident has occurred annually in the dry season from February to April. The frequency and extensive of bush fire has been increasing each year. For example, in 2011, 2012 and 2013 the fire events occurred 1,266, 2,686 and 3,252 times respectively (<http://www.dnp.go.th/forestfire/2546/firestatistic-%20Th.htm>). Figure 1 is a comparison of two regional haze maps in March 2013 and November 2013. It is clear that the hotspot temperature was higher in March than in November, particularly in the northern part of Thailand. The hotspots depicted in the map are derived from the NOAA-18 satellite. Hotspots go undetected when the area is not covered in the satellite pass or under cloudy / overcast conditions. The surface winds (depicted by arrows in the map) are valid for 0600 UTC on the date indicated in the map.

The length of the arrow represents the relative wind speed. The longer arrows correspond to the stronger winds. This map is updated by 1000 UTC (6 pm SGT) daily. Figure 1a shows that the widespread hotspots continued to be detected over Myanmar, Lao PDR, Cambodia, Vietnam and Thailand due to dry weather conditions in the northern ASEAN region. Moderate smoke haze was observed over northern Thailand. In The southern ASEAN region, isolated hotspots were detected in Peninsula Malaysia Borneo and Sumatra. Figure 1b shows that wet weather conditions prevail over the southern ASEAN region. Isolated hotspots were detected mainly in Borneo, Cambodia and southern Vietnam. The burning of forest creates large amount of particulate matter,  $PM_{10}$ , carbon monoxide (CO) and other pollutants which have adverse health effects (Viswanathan et al., 2006 and Johnston et al., 2002). From previous reports the health impact of  $PM_{10}$  in Bangkok were found associated with respiratory symptoms and cardiovascular diseases (Lungkulsen et al., 2006 and Buadong et al., 2009). Nevertheless, the air pollutants in Bangkok are mainly from vehicle combustions while in the north of Thailand, the major source of pollutants could come from the bush burning. In this study, we aim to illustrate the impact of bush fire on both the air quality and the health risk in the north of Thailand.

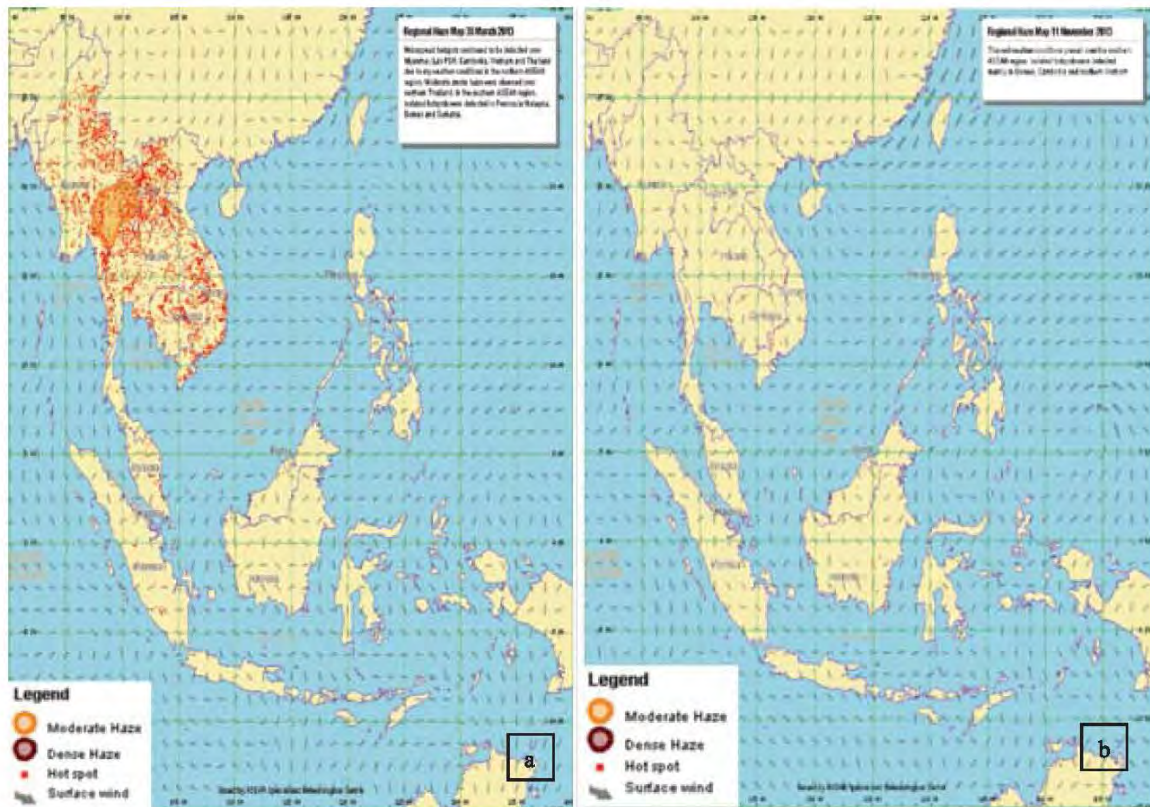


Figure 1: Fire Maps of Thailand and vicinity areas, (a) date 30 March 2013 (b) date 11 November 2013 ([http://www.weather.gov.sg/wip/c/portal/layout?p\\_1\\_id=PUB.1003.538](http://www.weather.gov.sg/wip/c/portal/layout?p_1_id=PUB.1003.538))

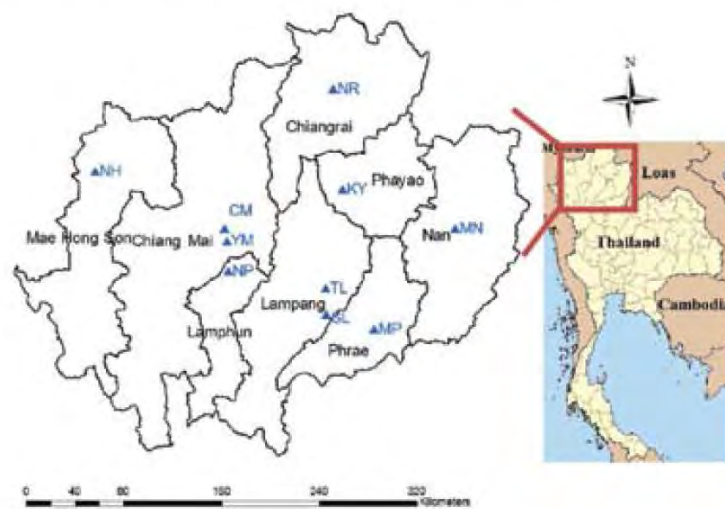


Figure 2: The studied site and location of 10 air pollutants monitoring stations: Sob Pad Lampang (SL), Ta See, Lampang (TL), City Hall, Chiang mai (CM), Yupparaj wittayalai school, Chiang mai (YM), Natural Resources and Environment office, Chiangrai (NR), Natural Resources and Environment office, Mae Hong Son (NH), Natural Resources and Environment office, Lamphun (NP), Knowledge park, Phayao (KY), Meteorological, Phrae (MP), Muang Nan Municipality office, Nan (MN)

## 2. Methodology

### 2.1 Studied Sites and Data Information

The location of 8 provinces in the upper north of Thailand, namely, Chiang Mai, Chiangrai, Lamphun, Lampang, Phrae, Nan, Phayao and Mae Hong Son with 10 monitoring stations were shown in Figure 2. Daily air quality data from 2009 to 2013 were obtained from Pollution Control Department. Air Pollutions were measured followed the standard methods, average 24 hours PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) by Beta attenuator air sampling, average 8 hours CO (ppm) by Non-Dispersive Infrared Detection, average 8 hours O<sub>3</sub> (ppb) by Ultraviolet Absorption Photometry and average 24 hours VOCs sampling by canister air samplers and analysed by Gas Chromatography / Mass Spectrometry, GC/MS following US EPA Method TO-15. <http://www.epa.gov/-ttnamt1/files/ambient/airtox/-15r.pdf>

### 2.2 Exposure Assessment

The association between the health risk of pollutants exposed from the monthly incidence of bush fires were studied. Inhalation exposure concentrations, EC<sub>inh</sub> (µg/m<sup>3</sup>) were calculated from ambient air quality data by equation 1.

$$EC_{inh} = C \times ET \times EF \times ED / AT$$

Equation 1

Where: C: concentration of each pollutants: CO and O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>); ET: exposure time (24 hours/day); EF: exposure frequency (350 day/year); ED: exposure duration (30 years); AT: average time (for non-carcinogens, AT = ED in years × 365 days × 24 hours/day; for carcinogens, AT = 70 year × 365 days × 24 hours/day). All parameters used in the calculation EC<sub>inh</sub> were found in reports published by US EPA (2009).

### 2.3 Risk Characterization

Risk Characterization were separately quantified for non-carcinogenic and carcinogenic effects. CO, O<sub>3</sub> and BTEX health risks were evaluated by the hazard quotient (HQ), equation 2. Carcinogenic risks (CR) were evaluated from inhalation concentration of benzene and ethylbenzene by equation 3.

$$HQ = EC / RfC$$

Equation 2

$$CR = IUR \times EC$$

Equation 3

Where: RfC is inhalation reference concentration (µg/m<sup>3</sup>) IUR is inhalation unit risk (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>. The RfC and IUR were downloaded from the US EPA website (<http://www.epa.gov/region9/superfund/prg-/index.html>). According to the classification group orders defined by the International Agency for Research on Cancer (IARC, 2011), benzene is a class 1 carcinogenic agent, and ethylbenzene is in class 2B. Toluene and xylenes have been categorized as non-carcinogenicity to human, reflecting the lack of evidence for the carcinogenicity of these two chemicals. The risk assessment and hazard quotient in this paper will analyse only the carcinogenic risk of benzene and ethylbenzene.

### 2.4 Statistical Analysis

For the data treatment, the t-test was applied to determine the statistical significance ( $p < 0.05$ ) of the differences between the mean concentrations of both events, bush fire and without bush fire. The linear regression analysis is used in the relationship test between the air pollution exposure concentration and health risks with  $p < 0.05$  were applied to indicate the statistical significance and describe the relationships among these two variables (Hinkle et al., 1998).

### 2.5 Geographic Information Systems

The Geographic Information System (GIS) has been used as a tool to map wild land fire risk in several regions (Henderson et al., 2008 and Chuvieco et al., 2010). In this study, air pollution distribution and risk areas were mapped to compare two events with and without bush fire in the north of Thailand.

To measure distances, a geodesic calculator was used to convert Bath-Geo WGS84 projection coordinates (longitude/latitude) into the Universal Transverse Mercator (UTM) Zone 47(47N). Spatial data of air pollution and HQ were prepared in spread sheet before upload in the GIS map using ARCGIS 9.3. The spatial distributions of different variables were illustrated. The small variations in pollutant concentration in the study area were estimated. The kriging running mode was selected for self-maps illustration. Kriging is regarded as the best linear unbiased estimator. Weights for sample values are calculated based on the parameters of the semivariogram model. The sum of all weights is normalized equal to 1. By this calculation, kriging variances or estimation errors were minimized (Moral et al., 2006). This is to ensure the unbiased estimation.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1 PM<sub>10</sub>, CO and O<sub>3</sub> Concentration in with Bush Fire and without Bush Fire

The example of the ambient PM<sub>10</sub>, CO and O<sub>3</sub> in the north areas in two scenarios with and without fire were compared in Table 1. All pollutants in March (with fire) were found higher than in October (without fire). This is the implication of bush fire effect to the air quality in the studied areas. The increasing of PM<sub>10</sub> in the dry season was consistency with other previous reports in Chiang Mai (Vinitketkumnuen et al., 2002 and Wiriya, et al., 2013). Furthermore, the correlation between exposure concentration data and number of fire, monthly were significantly correlated with  $p < 0.05$  (Figure 3). This result is directly related to the increase frequency of fire, total 3,252 times in 2013 and 2,686 times in 2012. The comparison of bushfire frequency and air pollution levels in March 2011 and 2013, indicated the increasing of the pollutants concentrations and distributions in 2013. The contour map in Figure 4, illustrated the spatial distribution of PM<sub>10</sub>, CO and O<sub>3</sub> in 8 provinces. Gaseous pollutants, CO and O<sub>3</sub> were increased in the urban areas of all 8 provinces. The high impact area from PM<sub>10</sub> was in Mae Hong Son, Figure 4a and 4b.

#### 3.2 Health risk Assessment

PM<sub>10</sub> risk assessment cannot be directly calculated from the concentrations because of differences in composition. The health risk of PM<sub>10</sub> can be achieved from the analysis of PM-bound compounds. For instance, by the mutation assay, Vinitketkumnuen et al., 2002 found PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> collecting in Chiang Mai from 1998-1999 were mutagenic to *Salmonella typhimurium* strain TA 100 without metabolic activation. Wiriya et al., 2013 reported that PM<sub>10</sub>-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Chiang Mai in 2010-2011 had highest toxicity equivalent concentration of carcinogenic PAHs in the dry season. PM<sub>10</sub> health risk assessment was not included in this study because of limitations of the analytical data. However, the high concentration of PM<sub>10</sub> related to the increasing of health impact, as no threshold for PM has been identified below which no damage to health is observed. (WHO, 2011)

Table1: The comparison of PM<sub>10</sub>, CO and O<sub>3</sub> monthly average concentrations in March 2013 and October 2012

	March			October		
	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)
Mean	135.32	1.13	36	33.76	0.5	14.4
Max	221.7	1.7	46	53.1	0.8	19
Min	105.1	0.6	29	17.3	0.3	10
SD	36.21	0.38	5.63	9.64	0.14	3.06
Median	123.55	1.15	33	31.5	0.5	14.5

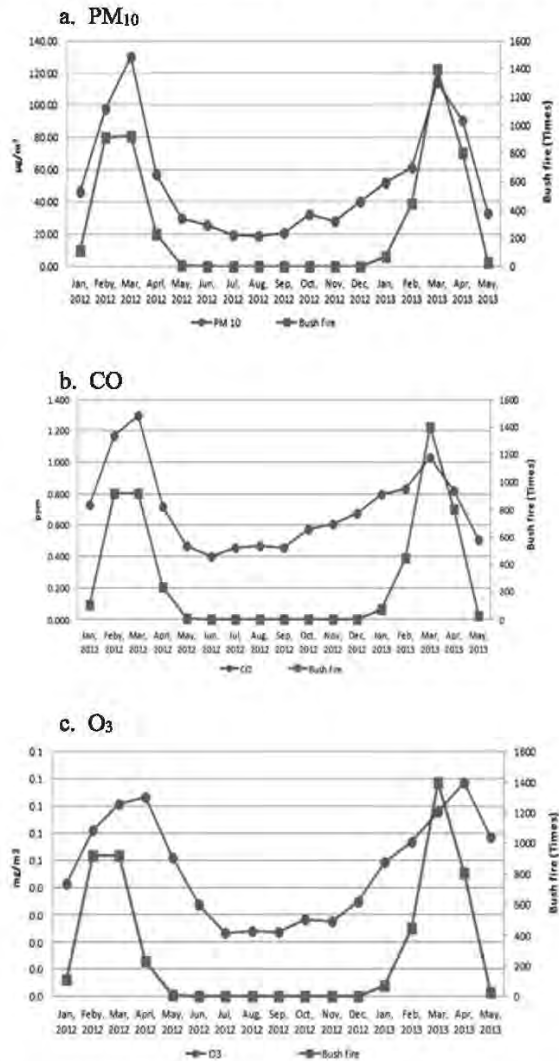


Figure 3: The correlation between exposure concentration data and frequency of fires in 2012 to 2013: (a) PM<sub>10</sub>, (b) CO and (c) O<sub>3</sub>

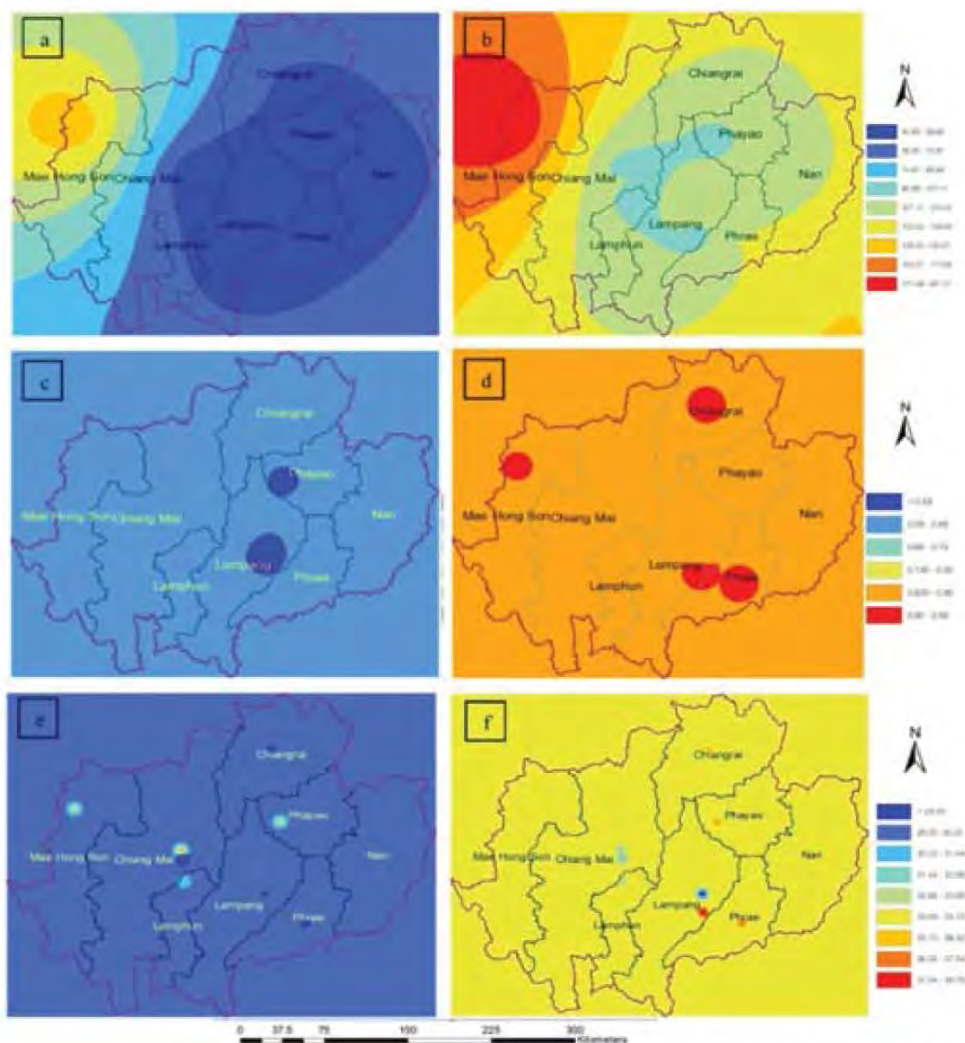


Figure 4: The comparison air pollution concentration in the upper north of Thailand during bush fire occurring in March 2011 and March 2013, (a) PM<sub>10</sub> Concentration in 2011 (b) PM<sub>10</sub> Concentration in 2013 (c) CO Concentration in 2011 (d) CO Concentration in 2013 (e) O<sub>3</sub> Concentration in 2011 (f) O<sub>3</sub> Concentration in 2013.

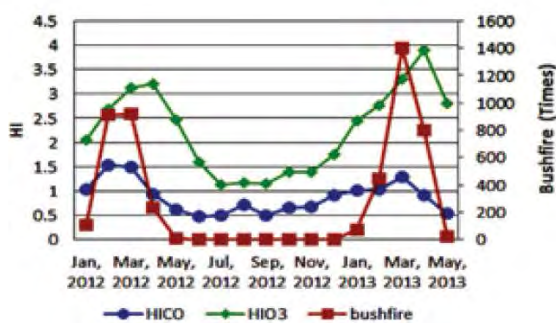


Figure 5: comparison HI value for CO and O<sub>3</sub> in upper north of Thailand in with bushfire and without fire

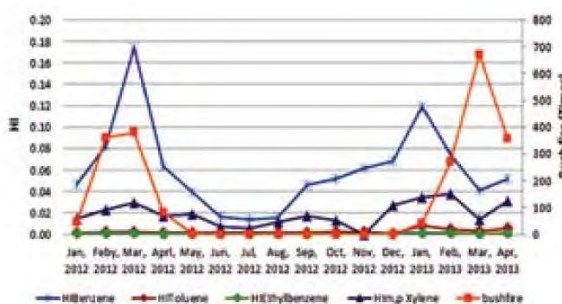


Figure 6: comparison HI value for BTEX in upper north of Thailand in with bush fire and without bushfire

**Noncarcinogenic Risk:** The Health Quotient (HQ) values for CO, O<sub>3</sub> and BTEX were less than 1. The risk still lay within the safe level. In the case of bush fire events and HQ value between March 2011 and March 2013, the HQ value of CO and O<sub>3</sub> in 2013 were found higher than those in 2011, (Figure 7). The hazard index (HI) is equal to the sum of HQ and is used to assess the overall potential for non-carcinogenic defects posed by more than one chemical. HI < 1 indicates that there is no significant risk of non-carcinogenic effects. Conversely, HI > 1 indicates the chance of non-carcinogenic effects occurring, with a probability of increasing health risk (USEPA, 2009). From the updated data 2012-2013, HI was increased during the dry season, in January to April. The HI of CO, O<sub>3</sub> and BTEX were associated with the bush fire frequency as shown in Figure 5 and 6. For the statistical analysis, HI of all pollutants was calculated from monitoring data in 2009-2013. HI<sub>CO</sub>, HI<sub>O<sub>3</sub></sub> and HI<sub>BTEX</sub> were significantly correlated with frequency of fire,  $r = 0.57, 0.55$  and  $0.55$  respectively ( $p < 0.05$ ). HI<sub>CO</sub> and HI<sub>O<sub>3</sub></sub> were higher than the safe level (>1). In this study, there was only one station in Chiang Mai monitoring BTEX. HI<sub>BTEX</sub> was assessed only in this area.

However, the overall results indicated the potential non carcinogenic risk during the bush fire event.

**Carcinogenic Risk:** Carcinogenic risk (CR) is the probability of an individual developing any type of cancer from lifetime exposure to carcinogenic hazards. Inhalation exposure is typically the primary route of direct exposure to airborne carcinogenic agents. The carcinogenic risk of benzene and ethylbenzene were highest in March 2010 which was correlated to the frequency of fires, Table 2. According to the supplemental guidance for inhalation risk assessment Part F, USEPA, 2009, the acceptable CR for regulatory purposes is  $1 \times 10^{-6}$  -  $1 \times 10^{-4}$ . In our studies, CR for benzene and ethylbenzene were higher than  $1 \times 10^{-6}$  but the risk unit is still within the acceptable range. The results were calculated from the risk posed by toxic elements via inhalation. CR values for benzene and ethylbenzene were significantly correlated with frequency of fire,  $r = 0.79$  and  $0.31$ , ( $p < 0.05$ ). The average of CR values for benzene and ethylbenzene in January to April (with fire) were found  $12.10 \times 10^{-6}$  and  $1.18 \times 10^{-6}$  higher than in May to December (without fire)  $6.65 \times 10^{-6}$  and  $1.12 \times 10^{-6}$  respectively.

Table 2: The monthly carcinogenic risk (CR) of benzene and ethylbenzene and the frequency of bushfire in Chiang Mai from 2009 to 2013

Month	Benzene		Ethylbenzene		Bush fire Numbers
	µg/m <sup>3</sup>	CR (10 <sup>-6</sup> )	µg/m <sup>3</sup>	CR (10 <sup>-6</sup> )	
Jan 2009	5.35	17.15	N/A	N/A	13
Feb 2009	5.15	16.51	N/A	N/A	556
Mar 2009	2.75	8.82	0.41	0.42	635
Apr 2009	2.55	8.17	0.77	0.79	184
Jan 2010	3.75	12.02	1.44	1.47	53
Feb 2010	6.60	21.15	1.62	1.66	732
Mar 2010	11.90	38.14	3.05	3.13	512
Apr 2010	3.30	10.57	0.87	0.89	324
Jan 2011	2.90	9.35	1.15	1.18	2
Feb 2011	2.45	7.85	0.65	0.66	180
Mar 2011	2.25	7.21	0.28	0.28	169
Apr 2011	2.75	8.82	0.69	0.70	97
Jan 2012	1.70	5.45	1.15	1.18	46
Feb 2012	3.00	9.62	1.49	1.53	358
Mar 2012	6.35	20.35	1.40	1.44	379
Apr 2012	2.30	7.37	0.86	0.88	81
Jan 2013	4.35	13.94	1.53	1.57	43
Feb 2013	2.70	8.65	0.63	0.65	269
Mar 2013	1.50	4.81	1.55	1.59	671
Apr 2013	1.90	6.09	1.15	1.18	356

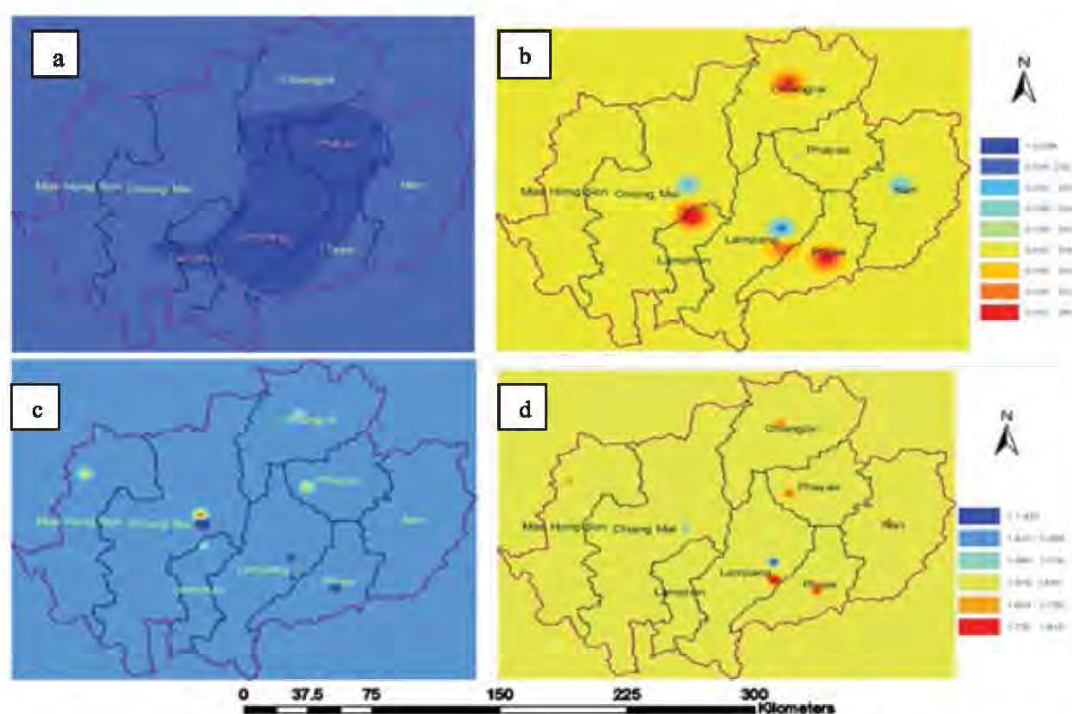


Figure 7: The comparison HQ<sub>CO</sub> and HQ<sub>O<sub>3</sub></sub> in the upper north of Thailand during bush fire occurring in March 2011 and March 2013, (a) HQ value of CO in 2011 (b) HQ value of CO in 2013 (c) HQ value of O<sub>3</sub> in 2011 (d) HQ value of O<sub>3</sub> in 2013

#### 4. Conclusions

PM<sub>10</sub>, CO and O<sub>3</sub> concentrations with bushfire were higher than without fire. During the dry season in 2013, the average daily concentrations of PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> were higher than standard level (< 120 µg/m<sup>3</sup> and < 0.07 ppm, respectively). This finding showed the significant of health impact related to bushfire episodes. HI of air pollutants were found significantly correlated with frequency of fires. The average Carcinogenic Risk (CR) of benzene and ethylbenzene from 2009 -2013 were 8.67×10<sup>-6</sup> and 1.14×10<sup>-6</sup>. Carcinogenic Risks for benzene and ethylbenzene were higher than standard level unit risk of 1 × 10<sup>-6</sup>.

#### Acknowledgement

This study was supported by National Research University Project of CHE and the Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund (CC307A) and National Research Council of Thailand Grant 2013-2014. The authors are grateful for valuable suggestions in GIS from Asst. Prof. Chaichana Saengsawang, Department of Urban and Regional planning, Faculty of Architect, Chulalongkorn University.

We are deeply appreciated the monitoring information from Pollution Control Department and Department of forest fire management Thailand.

#### References

- Buadong, D., Jinsart, W., Funatagawa, I., Karita, K. and Eiji, Y., 2009, Association of Particulate Matter with Cardiovascular Diseases in Bangkok. *Journal Epidemiol*, 19(4), 182-188.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M.P., Vilar, L., Martínez, J., Martín, S., Ibarra P., De la Riva, J., Baezae, J., Rodríguez, F., Molina J.R., Herrera, M.A. and Zamora, R., 2010, Development of a Framework for Fire Risk Assessment using Remote Sensing and Geographic Information System Technologies. *Ecological Modelling*, 221, 46–58.
- Forest Fire Control Division, National Park, Wildlife and Plant Conservation Department, 2013, Wildfire situation in 2013. <http://www.dnp.go.th/forestfire/2546/firestatistic%20Th.htm>.



- Henderson, S. B., Burkholder, B., Jackson, P. L., Brauer, M. and Ichoku, C., 2008, Use of MODIS Products to Simplify and Evaluate a Forest Fire Plume Dispersion Model for PM<sub>10</sub> Exposure Assessment. *Atmospheric Environment*, 42, 8524–8532.
- Hinkle, D. E., Wersma, W. and Jurs, S. E., 1998, *Applied Statistic for the Behavioral Sciences*, 5<sup>th</sup> edition, Boston; Houghton, Mifflin Collage. USA.
- IARC, 2011, Agents Classified by the IARC Monographs, vol.1-107. <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationGroupOrder.pdf>
- ICAD DOPA., 2013, Information Governance. <http://www.dopa.go.th/padmic/jungwad76/jungwad76.htm>.
- Johnston, F. H., Kavanagh, A. M., Bowman, D. M. and Scott, R. K., 2002, Exposure to Bushfire Smoke and Asthma: An Ecological Study. *The Medical Journal of Australia*, 176, 535-538.
- Lungkulsen, U., Jinsart, W., Karita, K. and Eiji, Y., 2006, Respiratory symptoms and lung function in Bangkok school children. *European Journal of public Health*, 16(6), 676–681.
- Meteorological Service Singapore, 2013, Regional Haze Map. [http://www.weather.gov.sg/wip/c-portal/layout?p\\_l\\_id=PUB.1003.538](http://www.weather.gov.sg/wip/c-portal/layout?p_l_id=PUB.1003.538)
- Morala, F. J., Alvarezb, P. and Canito, J. L., 2006, Mapping and Hazard Assessment of Atmospheric Pollution in a Medium Sized Urban Area using the Rash Model and Geostatistics Technique. *Atmospheric Environment*, 40, 1408-1418.
- The Bureau of Registration Administration, 2012, The Number of People in Bangkok and Other Provinces. [http://stat.bora.dopa.go.th/stat/y\\_stat-55.html](http://stat.bora.dopa.go.th/stat/y_stat-55.html).
- US EPA, 2009, Risk Assessment Guidance for Superfund in Part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment, Vol.,1. [http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsf/pdf/partf\\_200901\\_final.pdf](http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsf/pdf/partf_200901_final.pdf).
- US EPA, 2013, The Screening Level (RSL) Tables (Last updated May 2013). <http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/index.html>.
- Vinitketkumnien, U., Kalayanamitra, K., Chewonarin, T. and Kamens, R., 2002, Particulate matter, PM<sub>10</sub> & PM<sub>2.5</sub> Levels, and Airborne Mutagenicity in Chiang Mai, Thailand. *Mutation Research*, 518, 121-131
- Viswanathan, S., Eria, L., Diunugala, N., Johnson, J. and McClean, C., 2006, An Analysis of Effects of San Diego Wildfire on Ambient Air Quality. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 56, 56-67.
- Wiriya, W., Prapamontol, T. and Chantara, S., 2013, PM<sub>10</sub>-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Chiang Mai (Thailand): Seasonal Variations, Source Identification, Health Risk Assessment and Their Relationship to Air-Mass Movement. *Atmospheric Research*, 124, 109-122.
- WHO, 2011, Air Quality and Health, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>

# Health Risk Assessment of Industrial Emissions in Map Ta Phut, Thailand using AERMOD modeling

Noppakun Teerapatlada, Yosnun Wathanapanich and Wanida Jinsart\*

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Thailand

\*Corresponding author: jwanida@chula.ac.th

**Keywords:** Health Risk Assessment, AERMOD, Industrial Emission, Map Ta Phut, Thailand

**Abstract.** Health risk assessment of air emissions from Map Ta Phut industrial complex in Thailand was carried out. Two gaseous pollutants, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> were assessed for non-carcinogenic health risk by Hazard Quotient (HQ) and Hazard Index (HI). Both short-term and long-term health effects were evaluated. Air dispersion modeling (AERMOD) was used to predict the ground level concentration within 5 km radius of the emission sources. The risk areas were identified by HI and the impact sites were illustrated by Geographic Information System (GIS). Resulting from GIS-based map, the impact areas were different between wet and dry season. In the long term annual average, both NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> significantly have health impact in the studied areas, HI > 1.

## Introduction

The Map Ta Phut Industrial Estate (MTPIE) in eastern seaboard region of Thailand is the largest industrial complex in Thailand, located at 12°30'N and 101°35'E, in Map Ta Phut Municipality, Rayong Province. It was established in 1989 and initially consisted of four major categories of industry namely gas separation plants, petrochemical plants, fertilizer plants and soda ash plants. The industrial area covers more than 10 square kilometers with 52 large-scale industrial plants and, out of them, 32 factories are petroleum-related industry [1]. Map Ta Phut Municipality, total area of 165.575 km<sup>2</sup> was comprised of 38 communities around the MTPIE and has a registered population of 53,901 [2]. There were several reports on air pollution exposure and health effects in Map Ta Phut [3,4,5]. The epidemiologic studies showed statistical associations between levels of air pollution and respiratory disorders of residents in petrochemical complex areas. Living near the MTPIE was associated with an increased risk of wheezing and upper respiratory symptoms [3,4].

The health impact of air pollution from industrial emission has been increasing concerned, particularly among the residents living near sources. The industrial combustion has been known to emit various pollutants such as SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, dioxins, acid vapor and heavy metal [6]. This work, we focused on two primary pollutants, NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> because of their potential health effects [7]. NO<sub>x</sub> is emitted from combustion processes in which both mobile and point sources are major emission sources [6]. Most atmospheric NO<sub>2</sub> is initially emitted as NO, which is rapidly oxidized to NO<sub>2</sub>. Regular exposure to NO<sub>2</sub> might cause an increased incidence of acute respiratory illness in children and other sensitive groups [7]. The current WHO guideline value of 40 µg/m<sup>3</sup> (annual mean) and 400 µg/m<sup>3</sup> (1 hr mean) were set to protect the public from the health effects of gaseous NO<sub>2</sub>. The short term exposure to SO<sub>2</sub> can effect to lung function and respiratory system including the reductions in the mean forced expiratory volume over one second (FEV<sub>1</sub>), increases in specific airway resistance, and symptoms such as wheezing or shortness of breath. WHO guideline value for SO<sub>2</sub> was 125 µg/m<sup>3</sup> for an averaging 24 hours and 50 µg/m<sup>3</sup> as an annual mean [7].

In this study, AERMOD was used as a tool to predict ground level concentrations of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> for Health Risk Assessment (HRA) in an industrial complex. This aimed to identify the hazard

risk areas among receptor sites near industrial sources. Both short-term and long-term health effects were expressed as Hazard Quotient (HQ) and Hazard Index (HI). The risk areas were identified by different HI and the impact sites were illustrated by Geographic Information System (GIS) based maps.

## Methodology

### Study sites

The study was conducted in three districts in Rayong province, Banchang, Huaipong and Map ta phut. The areas covered 243 stacks MTPIE emission sources and eight impact communities (R1-R8) within 5 km around industrial complex. R1-R8 risk areas are school temple hospital and government office, namely, R1 Wat Nong Fapschool, R2 Map chalut temple, R3 Field crops research center, R4 Muang Mai Map ta phut, R5 Chumchon Islam, R6 Health Promotion hospital, R7 Ban Takuan Public health center and R8 Takuan temple. The details of studied sites were shown in Fig. 1.

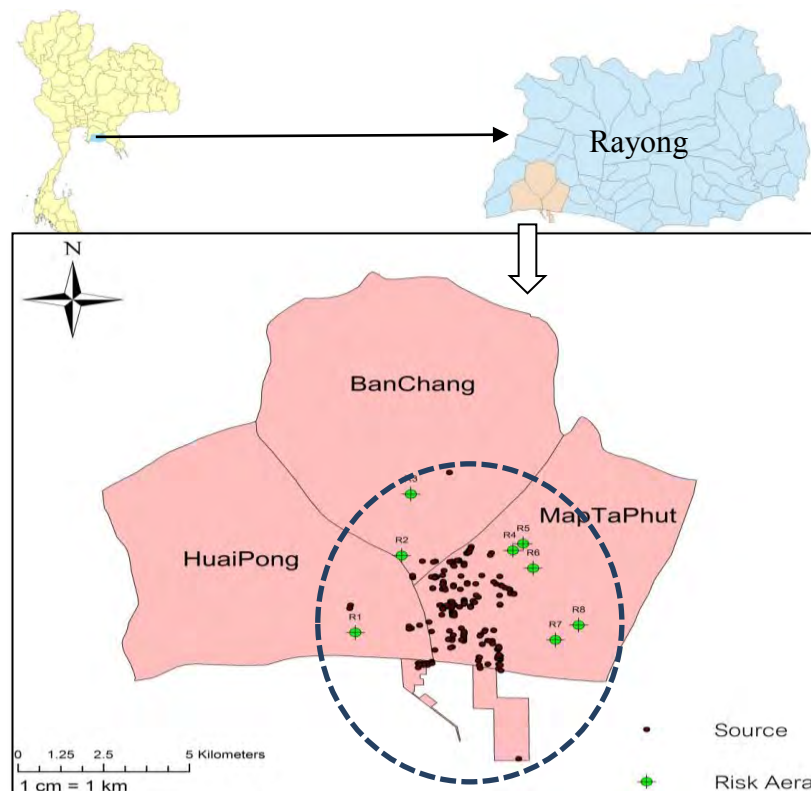
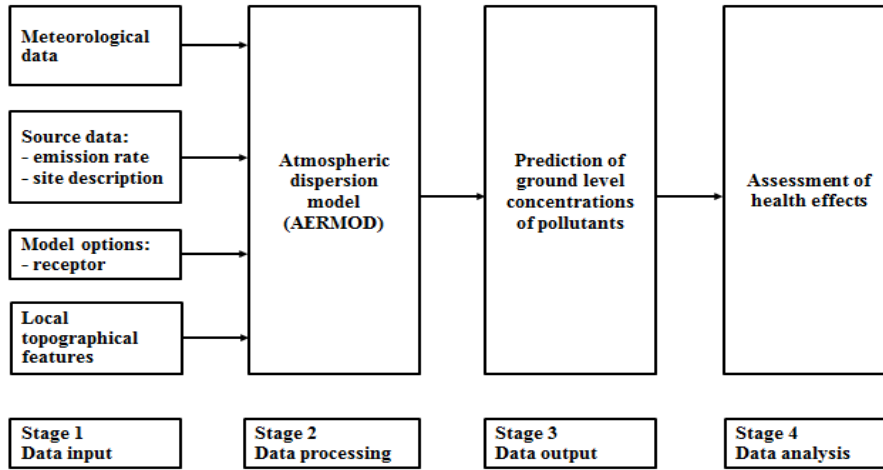


Figure1. The studied area showing eight impact communities R1-R8 ● , stack emission sources ●

### Air dispersion modeling

The American Meteorology Society-Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) modeling system used in this study was run with a commercial interface, AERMOD View (Version 8.8.9) (Lakes Environmental Software). The steps involved in AERMOD modeling are shown in Fig. 2. The required meteorology data for AERMOD including wind direction, wind speed, ceiling height, total cloud cover, direct normal radiation, relative humidity, etc. this data was also purchased from Lakes Environmental Software. The input data, emission inventory from 243 stacks in MTPIE were provided by the Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (ONEP), the Ministry of Natural Resources and Environment of Thailand.



**Figure 2.**Flow in AERMOD modeling system

AERMOD is based on the steady state Gaussian dispersion equation. If the ground is taken to be the reference height ( $z=0$ ), with the  $x$  axis of the co-ordinate system aligned along the wind direction at the source, empirical evidence indicates that the time averaged (typically one hour) concentration field can be described in terms of the Gaussian distribution. In this study, the pollutants ground level concentrations were generated from AERMOD by equation 1.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{u} P_y\{y; x\} P_z\{z; x\} \quad (1)$$

Where:  $Q$  is the source emission rate,  $u$  is the effective wind speed,  $P_y$  and  $P_z$  are the probability density function (pdf) for the lateral and vertical concentration distributions, respectively.

### Health risk assessment (HRA)

Inhalation Exposure concentration ( $EC_{inh}$ ) is quantified as described in equation 2.

$$EC_{inh} = C \times ET \times EF \times ED / AT \quad (2)$$

Where:  $C$ : concentration of each pollutants:  $NO_2$  and  $SO_2$  ( $\mu g/m^3$ ) were predicted from AERMOD;  $ET$ : exposure time (24 hours/day);  $EF$ : exposure frequency (350 day/year);  $ED$ : exposure duration (30 years);  $AT$ : average time (for non-carcinogens,  $AT = ED$  in years  $\times 365$  days  $\times 24$  hours/day; for carcinogens,  $AT = 70$  years  $\times 365$  days  $\times 24$  hours/day).

For non-carcinogenic health risk due to inhalation, risk characterization is performed by quantifying the hazard using Hazard Quotient (HQ) equation (3) which is defined as follows USEPA method [8];

$$HQ = EC / RfC \quad (3)$$

$$HI = \sum HQ \quad (4)$$

Where:  $EC$  = exposure air concentration ( $\mu g/m^3$ );  $RfC$  = reference concentration ( $\mu g/m^3$ )

HQ of less than one ( $HQ < 1$ ) indicates that pollutant concentration is below the reference concentration ( $RfC$ ) value, whereby, the potential risk is within acceptable level with no action required to reduce the pollutant's level. Therefore,  $HQ < 1$  is considered safe. Nevertheless, it should be noted that  $HQ > 1$  does not necessarily suggest a likelihood of adverse effects [9]. According to

EPA's Integrated Risk Information System report, RfC of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> are not available [10] so we used WHO guideline values [7] to calculate HQ by equation (3). To define the risk areas of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>, hazard index (HI) is calculated from the sum of HQ, equation (4). It is used to assess the overall potential for non-carcinogenic defects posed by more than one chemical. HI <1 indicates that there is no significant risk of non-carcinogenic effects. Conversely, HI >1 indicates the chance of non-carcinogenic effects occurring, with a probability of increasing health risk [9].

## Results and discussion

### The modeling results

Predicted ground level concentrations from AERMOD were validated against measurement values in 2013 elsewhere [11]. Both NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> predicted values were found Index of agreement, 0.99, compared with measured data. The maximum concentrations were found lower than the ambient air quality standard and WHO guideline values as summarized in Table 1. The short term seasonal variation of HQ, the predicted concentrations in February was selected as a dry season exposure and the concentrations in July were represented for wet season.

Table 1. Predicted maximum ground level concentration compared with WHO guideline values and The National Ambient Air Quality limit.

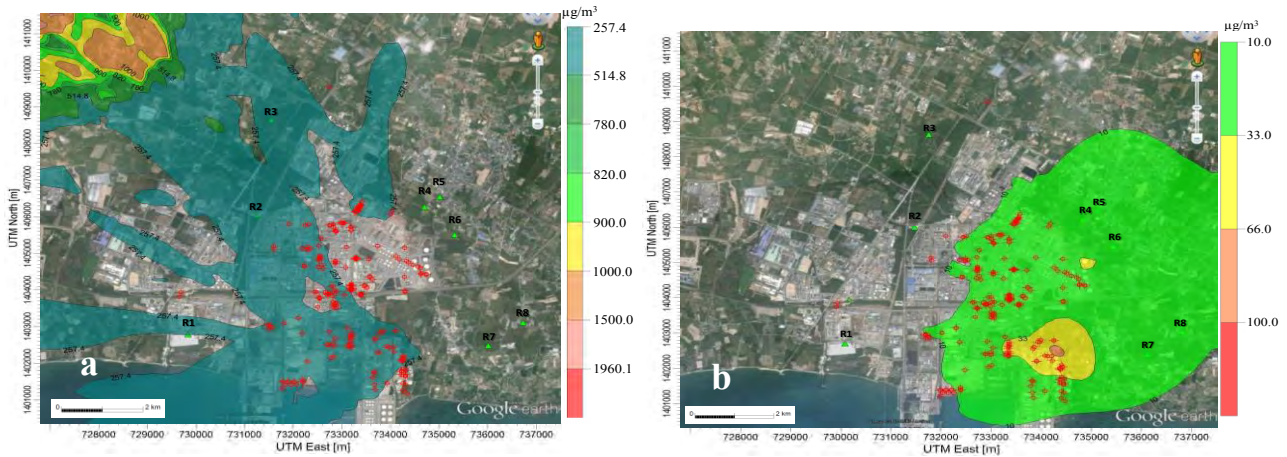
Pollutant	Short – term concentration (µg/m <sup>3</sup> )		Short – term concentration WHO Guideline (µg/m <sup>3</sup> )	Long – term concentration (µg/m <sup>3</sup> )	Long – term concentration WHO Guideline (µg/m <sup>3</sup> )	Annual ambient air quality limit (µg/m <sup>3</sup> )
	Dry season	Wet season				
SO <sub>2</sub>	49.65	46.34	125	38.88	50	100
NO <sub>2</sub>	22.85	54.66	400	31.89	40	57

The Map Ta Phut area is influenced by the sea wind, which sweeps from southwest to northeast with a wind speed typically below 6 m/s, Fig. 5d. However, there is some changing with occasional wind from the north into the area from October to December and the wind direction comes from the south to the area in February-April. In wet season, the wind blows from southwest into the area in community and MTPIE from June to September. Fig. 3a, 3b showed SO<sub>2</sub> dispersion on 1-h and annual average and Fig. 4a, 4b showed NO<sub>2</sub> dispersion on 1-h and annual average. For short term 1 hour average, SO<sub>2</sub> Fig. 3a and NO<sub>2</sub> Fig. 4a in area R1, R2 and R3 were found exceeded WHO guidelines. For annual average concentration, both SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in all sites were lower than annual WHO guidelines.

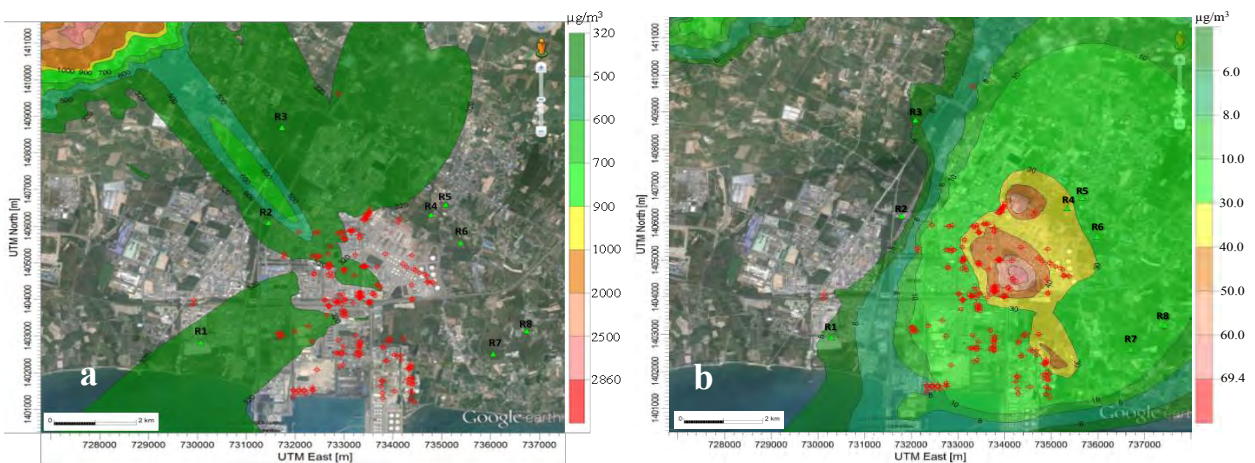
### Health Risk Assessment

The HQs of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> are computed to determine the short-term (1-h) and long-term (annual) non-carcinogenic health risks. All sites have HQ < 1 which could mean no potential adverse health effects exist during short term dispersion. The long term annual results are within acceptable level of pollutant concentration with HQ less than one. However, high HQs in three sites R4, R5 and R6 were found in both short term and long term cases.

The hazard index (HI) of short term were lower than 1 but for the annual long term R4, R5 and R6 in Maptaphut district were more than one, 1.51, 1.27 and 1.25 respectively. A potential for adverse health effects exists during longterm dispersion of NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub>. The risk areas were identified by different HI and the impact sites were illustrated by GIS-based maps in Fig. 5. The impact sites were different between wet and dry season. This could due to the wind speed and direction changed.



**Figure 3 Dispersion of SO<sub>2</sub> over MTPIE and 5 km vicinity areas**  
**a. 1 hour average SO<sub>2</sub>      b. Annual average SO<sub>2</sub>**



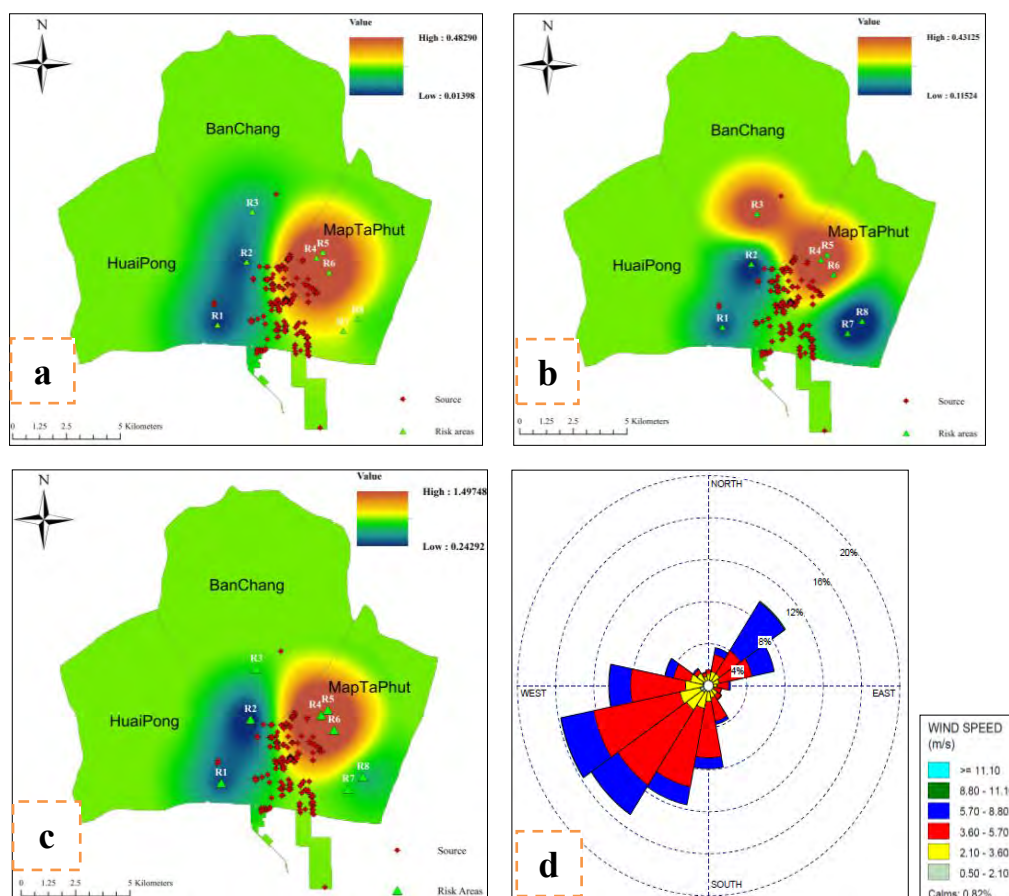
**Figure 4 Dispersion of NO<sub>2</sub> over MTPIE and 5 km vicinity areas**  
**a.1 hour average NO<sub>2</sub>      b. Annual average NO<sub>2</sub>**

## Summary

Health Risk Assessment was conducted in an industrial site complex. With a wide area and a number of stack emission, air dispersion modeling is suitable for these tasks. Although the short term, HQ and HI were found less than 1 but in the area near sources at Map Ta Phut district could be further monitored. In the long term from annual average, both NO<sub>2</sub> and SO<sub>2</sub> significantly have health impact in three studied areas R4, R5, R6. The risk areas were identified by different HI and the impact sites were illustrated by Geographic Information System. The GIS-based map can be applied in decision making process in environmental management policy.

## Acknowledgement

This research was financially supported by National Research Council of Thailand 2014 GRB\_APS\_20572304 and Faculty of Science, Chulalongkorn University. The authors greatly appreciate the support AERMOD dispersion model facility from Asst. Prof. Dr. Sarawut Thepanondh, Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University.



**Figure 5 Site Distribution of HI and windrose: a. short term wet season, b. short term dry season, c. long term annual d. annual average windrose**

## References

- [1] Information on <http://www.mtpie.com/home.php>
- [2] Information on <http://www.mtp.go.th>.
- [3] W. Tanyanont, N. Vichit-Vadakan, Exposure to volatile organic compounds and health risks among residents in an area affected by a petrochemical complex in Rayong, Thailand, Southeast Asian J Trop Med Public Health. 43(2012) 201-211.
- [4] P. Kongtip, P. Singkaew, W. Yoosook, S. Chantanakul, D. Sujiratat, Health Effects of People Living Close to a Petrochemical Industrial Estate in Thailand, J Med Assoc Thai. 96 (2013) S64-72.
- [5] S. Thepanondh, W. Toruksa, Proximity analysis of air pollution exposure and its potential risk, J. Environ. Monit., 13 (2011) 1264–1270
- [6] K. Wark, G. F. Warner, T. W. Davis, Air Pollution: Its Original and Control (3<sup>rd</sup> ed.). Addison Wesley Longman, Inc. New York, 1998, pp. 432–434.
- [7] World Health Organization, Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide Global update 2005 Summary of risk assessment (WHO/SDE/PHE/OEH/06.02), 2006.
- [8] US EPA 2009 Risk Assessment Guidance for superfund in part F, Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment, V.1. [http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsf/pdf/partf\\_200901\\_final.pdf](http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/ragsf/pdf/partf_200901_final.pdf).
- [9] US EPA, 2013. Estimated Risk: Background on Risk Characterization
- [10] Information on <http://www.epa.gov/iris/subst/0080.htm>
- [11] N. Jitra, Performance evaluation of AERMOD and CALPUFF air dispersion models in MapTaPhut Industrial area, Master degree Thesis, Environmental Technology, <sup>2</sup>Department of Sanitary Engineering, Faculty of Public Health, Mahidol University, Thailand, 2015

## **Lung function impairment and respiratory symptoms in school children expose to petrochemical pollution in Rayong province, Thailand**

Paradee Asa<sup>1</sup>, Wanida Jinsart<sup>2</sup>, Eiji Yano<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Interdisciplinary Program in Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

<sup>2</sup>Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

<sup>3</sup>Department of Hygiene and Public Health, Teikyo University School of Medicine, Tokyo, Japan

Correspondence: Associate Prof. Dr. Wanida Jinsart, Department of Environmental Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Phayathai Road, Bangkok 10330, Thailand, tel: +66 2 2185181-3, fax: +66 2 2185180, e-mail: jwanida@chula.ac.th

### **Abstract**

**Background:** Previous epidemiologic studies showed statistical associations between levels of air pollution and respiratory disorders of residents in petrochemical complex areas.

**Methods:** The health effects of PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> and VOCs exposure in industrial area in Rayong Province, Thailand were investigated. This study was carried out during February- August 2013 on 806 elementary school children aged 9-12 years. Children's lung functions, FEV<sub>1</sub>, FVC, and FEF<sub>25-75%</sub> were examined by Automated Spirometry. American Thoracic Society's Division of Lung Diseases (ATS-DLD-78C) questionnaires were used to collect the non specific respiratory diseases data. The selection of schools and children in this survey was based on the distance from a major industrial source (Map Ta Phut Industrial Estate) with 1 km. (A), 5 km. (B) and 10 km. (C). The prevalence of respiratory symptoms from questionnaires data and lung function impairment among three study sites were compared using the multiple regression analysis.

**Results:** The prevalence of respiratory symptoms in school children area A were higher than those subjects in area C with OR= 3.41, 95% CI=1.70-6.85, p < 0.001. Gender was associated with the prevalence of impaired lung function, whereas other factors were not related. The impaired lung function of female students were higher than male students with OR= 1.94, 95% CI=1.33-2.84, p < 0.001. The percentage of impaired lung function of students in A, B and C schools were 22.9%, 15.2% and 18.1% respectively.

**Conclusions:** The prevalence of respiratory symptoms and impaired lung function were higher among children studying near industrial sites were higher than those in further distance from major sources.

**Keywords:** air pollution, respiratory, lung function, industrial area



## Introduction

Industry related air pollutants have extensively impact to human health, particularly on respiratory system. Previous epidemiological studies found relatively consistent associations between ambient air pollutions and human health (Tamura, 2003, Karita, 2004, Vichit-Vadakan, 2008). The effects on respiratory symptom from traffic air pollutions were reported in Bangkok school children (Langkulsen,2006) and health effects of sulfur dioxide from power plant has also been reported (Aekplakorn, 2003). Domestic exposure to volatile organic compounds (VOCs) at levels below currently accepted recommendations may increase the risk of childhood asthma. (Rumchev, 2002, 2004, Wilson, 2008)

The Map Ta Phut Industrial Estate (MTPIE) was located in Map Ta Phut Municipality, on the eastern seaboard region, Muang District, Rayong Province about 200 kilometers southeast of Bangkok, at location 12° 30' N and 101° 35' E (Figure 1). The MTPIE was established in 1988 as part of Thai government's policy to develop the eastern seaboard industrial area. Currently, The MTPIE serves as a significant manufacturing base for petrochemical, chemical products, iron and metal, as well as refineries.

Map Ta Phut Municipality, total area of 165.575 km<sup>2</sup> was comprised of 38 communities around the Map Ta Phut Industrial Estate and has a registered population of 53,901 (MTP Municipality, 2012). The weather in Map Ta Phut is very similar to other coastal regions in the country. There are basically three seasons: the hot season, the rainy season and the cool or dry season. Average temperatures are 24-37°C. The highest mean level of rainfall is approximately 267 mm per month during September. The relative humidity ranges 60-95 %. The Map Ta Phut area is influenced by the sea wind, which sweeps from the southwest to the northeast with a wind speed below 6 ms<sup>-1</sup>(Pimpisit, 2005). There were several research reports on pollution monitoring and health effects such as Thepanondh, 2011, Tanyanont,2012, Kongtip, 2013. Those reports were found significant association between air pollution and adverse effect. However, there has been no investigation on health effects to children yet.

The aim of this study was to investigate the respiratory health effect of children exposed to PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub> and VOCs in industrial areas. In general, children seem to be particularly susceptible to the harmful effects of ambient air pollution because their lungs are growing. Lung growth is guided by a complex and precisely timed sequence of chemical messages. Many ambient air pollutants are chemical agents that have the potential toxic and interfering with these signaling pathways (Trasande and Thurston, 2005). Children have less defensive systems against particulate matter and gaseous air pollutants than in adults. They have an insufficient ability to metabolize and detoxify environmental agents and have an airway epithelium that is more permeable to inhaled air pollutants (Schwartz, 2004). In addition, children have a higher level of physical activity than adults hence the intake of air into the lung is much more than in adults per day (Salvi, 2007).

Nevertheless, chronic health effects of air pollution to children remain uncertain, particularly in the industrial areas. The epidemiological cross-sectional research could be one of the tools in the study of chronic effects of industrial air pollution exposure. In this study, the association between air pollution and respiratory impairments were evaluated using the ATS-DLD-78-C respiratory questionnaires and lung function test among school children in different distance from industrial sites.

## **Materials and methods**

### ***Study site and population***

The selection of schools and children in this survey was based on the distance from a major industrial source, Map Ta Phut Industrial Estate, with 1 km. (A), 5 km. (B) and 10 km. (C). Area A involved four surrounding schools situated with 1 km away from the industrial source; area B and C involved two schools situated 5 and 10 km from the industrial source, respectively (Figure 1). The total eight schools were selected from the close location to the air monitoring stations. The air quality data in the different area A, B and C were compared in Table 1-2. The survey was carried out during February-August 2013 on 1365 elementary school children aged 9-12 years.

### ***Air quality data***

Air quality data from 2008 to 2013 were obtained from Pollution Control Department (PCD), Thailand. Air pollution concentrations were measured following the standard methods, PM<sub>10</sub> by Beta attenuator air sampling for average 24 hour units  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , Ozone (O<sub>3</sub>) by Ultraviolet Absorption Photometry for average 1 hour unit ppb; and volatile organic compounds (VOCs) by Canister Analysis with US EPA Method TO-15 then followed by the analysis with Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), for average 24 hour units  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Annual average PM<sub>10</sub> level at 29T Stations located in area A was 44.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . There were 31 out of 1,910 observations, representing 1.62% of the total observations, exceeded the standard level. The PM<sub>10</sub> level at 74T located in area B was 35.45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and PM<sub>10</sub> at 30T located in area C was 29.74  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Annual average Ozone level at 29T Stations located in area A was 21.23 ppb. The concentration level at 74T located in area B was 21.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  and at 30T located in area C was 22.43 ppb, Table 1.

The VOCs concentrations in area A were obtained from MC, NF, TK and MT monitoring stations and in area C from NJ monitoring stations, Figure 1. In area A, Vinyl Chloride, 1,3-Butadiene, Dichloromethane, 1,2-Dichloroethane, Benzene and total VOCs were significantly higher than in Area C. Three VOCs in area A, 1,3-butadiene, 1,2-dichloroethane and benzene were higher than the NAAQS as shown in Table 2.

### ***Lung function test***

Lung function of 806 students was measured by automated spirometry (CHESTGRAPH HI-101, CHEST, Japan) following the lung function parameters from reference values in Asia population (CHEST M.I., INC). Spirometric measurements include forced expiratory volume in 1 s ( $FEV_1$ ), forced vital capacity (FVC),  $FEV_1/FVC\%$ , forced expiratory flow between 25 and 75% expired volumes ( $FEF_{25-75\%}$ ). The spirometers were performed after the regular calibration. Standing height and weight were measured using the standard equipments and procedures. All subjects were trained by technicians for their proper blowing as fast, hard and long as possible, with at least three spirometry tests. The best spirogram with the highest sum of FVC and  $FEV_1$  was chosen for further analysis. Test acceptability was determined by examining the flow and volume time curve as recommended by ATS. The criteria for normal lung function for  $FEV_1$  and FVC was greater than 80% (The Thoracic Society of Thailand, 2012).

### ***Respiratory Questionnaires***

American Thoracic Society's Division of Lung Diseases (ATS-DLD) -78C questionnaires, Thai version was random distributed to 1365 school children from total 2145 students. The questionnaires were used to collect the non specific respiratory diseases data (Ferris, 1978). The prevalence of chronic respiratory symptoms (non-specific respiratory disease: NSRD and persistent cough and phlegm: PCP) (see Appendix). The questionnaire consists of general information, respiratory symptoms (cough, phlegm, wheeze, chest tightness), and family history. The Ethics Review Committee for Research Involving Human Research Subject, Health Science Group, Chulalongkorn University approved the study. After obtaining the consent from parents or guardians, the details of the study and consent forms were elaborated.

### ***Statistical analysis***

A nonparametric method (Mann-Whitney Utest) was used to compare the levels of pollution (VOCs). Differences in the health-related parameters among the areas of A, B and control groups (area C) were compares using Yates' chi-squared test. Logistic regression techniques were used to assess the association between prevalence of respiratory symptoms, lung function and independent variables such as gender, age, residential years, residential areas, home size, family members, parental smoking habits, use of air conditioners and having domestic pets. The odds ratios (ORs) and 95% confidence intervals (CIs) were obtained as the outcome variables and precision weighting was applied to estimate the degree of association in this study. Statistical processing of the data was carried out using Statistical Package for Social Science (SPSS19). Multiple regressions are used to analyze the correlation between variables.

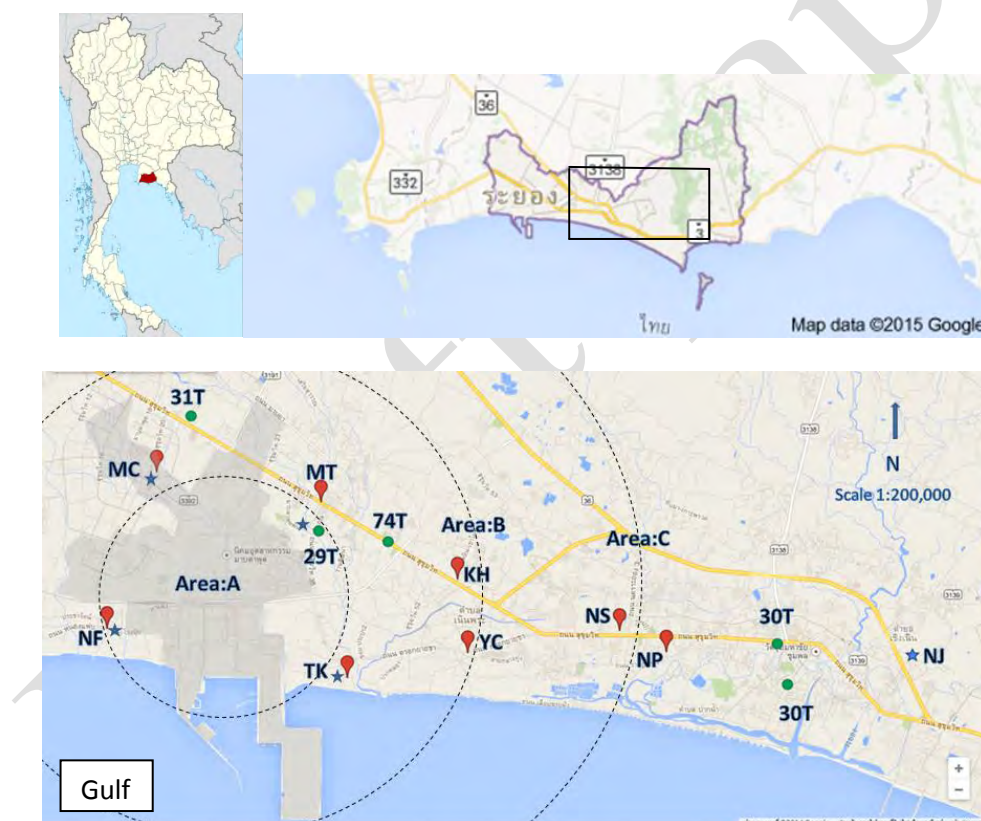
**Table 1** 24 hour average concentration of PM<sub>10</sub> and One hour average concentration of O<sub>3</sub>, in 2008-2013

Area (PCD station)	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )				O <sub>3</sub> (ppb)			
	Range	Average	Frequency of exceeding standard	p	Range	Average	Frequency of exceeding standard	p
A (29T)	209-5.0	44.32	31/1,910 (1.62%)	<i>vs</i> B ns <i>vs</i> C *	150-0	21.23	81/47,085 (0.17%)	<i>vs</i> B ns <i>vs</i> C ns
B (74T) †	107-11	35.45	0/725 (0%)	<i>vs</i> C ns	149-0	21.5	16/16,672 (0.09%)	<i>vs</i> C ns
C (30T)	121.3- 5.8	29.74	1/1,941 (0.05%)	-	142-0	22.43	74/45,972 (0.16%)	-
Standard **		120				100		

† in year 2012-2013

\* p < 0.05, ns = not significant by one-way ANOVA comparing mean of 24h average concentration of PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub>

\*\*PCD, 2013



**Figure 1:** Study location near petrochemical industry. The shaded regions show Map Ta Phut complex.

- ★ VOCs monitoring stations      ● PM<sub>10</sub> and ozone monitoring stations
- 📍 Elementary school in each area:
  - area A (MC = WatMapchalood school, NF= Ban Nongfab school, TK= WatTakurn School, MT= Ban Maptaphut School),
  - area B (KH= WatKhotinMitrphap school, YC = WatTrokyaycha School) and
  - area C (NS= WatNongsnom School, NP= WatNuenphraSchool )

**Table 2** :AverageVOCs 24 h median concentration, in 2008-2012

Area	Air monitoring station	VOCs ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )									
		VinylChloride	1,3Butadiene	Dichloromethane	Chloroform	1,2-Dichloroethane	Benzene	Trichloroethylene	1,2-Dichloropropane	Tetrachloroethylene	Total VOCs
A	MC	0.19*	0.12	0.62*	0.17	<u>0.49*</u>	1.70	0.18	0.10	0.12	3.67*
	NF	0.10*	0.13	0.44	0.24	0.29	<u>2.00</u>	0.18	0.23	0.12	3.71*
	TK	0.18*	<u>0.67*</u>	0.62*	0.12	0.37*	<u>2.85*</u>	0.15	0.09	0.13	5.17*
	MT	0.25*	<u>0.42*</u>	0.70*	0.13	<u>0.63*</u>	<u>2.85*</u>	0.19	0.10	0.13	5.39*
C	NJ	0.04	0.09	0.36	0.11	0.20	1.45	0.16	0.10	0.12	2.61
Annual average standard**		10	0.33	22	0.43	0.4	1.7	23	4	200	

\*Significantly higher than control region (areaC) ( $p < 0.05$ ), Mann-Whitney U test.

\*\*PCD 2013 Under line = values are exceed the NAAOS

## Results

### *Lung function test:*

The 806 subjects, 349 boys and 457 girls were measured lung function, Table 3. Lung function parameters were lower in children living in the industrial region A than in B and C but was not so much significantly different. This may due to small number subjects tested in each area. However, the percentage of impaired lung function in schoolchildren, in A 22.9%, was higher than in the B and C areas 15.2% and 18.1% respectively (Table 3). The results of the logistic regression analyses were show in Table 6. To evaluate the factors significantly associated with any one of the impaired lung function, independent variables such as gender, age, residential years, home size, family members, parental smoking habits, use of air conditioners, domestic pets and residential area were included in this model. As the results, gender was associated with the prevalence of impaired lung function. The girl significantly increased the prevalence of impaired lung function (OR= 1.94, 95% CI=1.33-2.84). The subjects aged 9 were reported of impaired lung higher than those aged 12 (OR= .30, 95% CI=.14-.66). Interestingly, the subjects living in an air conditioner installed house had a reduced risk of impaired lung functions as low as 1.80 times (95%CI=1.14-2.85).

### *Respiratory Symptoms:*

The 806 questionnaires of same subjects as in lung function tests were analyzed and 60% of these questionnaires were completed by students' mother. Table 4 showed the demographic and risk factor characteristics of these 806 subjects in each study group area A, B and C. All subjects have been living in

the studied sites for at least 1 year and 149 have been in this area more than 10 years (Table 4). The prevalence of respiratory symptoms and impaired lung function of schoolchildren in area A, B and C were shown in Table 5. The respiratory symptoms, chronic bronchitis, bronchial asthma, dyspnea and wheezing, persistent cough, and persistent phlegm were higher in area A than in B and C. The persistent cough and persistent phlegm were significantly higher in children in area A compared with those in area C ( $P < 0.05$ ). The results of the logistic regression analyses were shown in Table 6. As the results, in children who lived in area A, the prevalence of respiratory symptoms increased significantly compared with those living in the area C (OR = 3.41, 95% CI = 1.70-6.85). Gender has slightly increased the significance (OR = 0.46, 95% CI = 0.28 - 0.75). Other factors such as age, residential years, home size, parental smoking habits, use of air conditioners and domestic pets were not associated.

**Table 3** Lung function defect in schoolchildren, Area A, B and C

	Children included in the analysis		
	Area A (n=420)	Area B (n=132)	Area C (n=254)
Lung function*			
FVC(%predicted)	87.9 (10.8)	91.8 (12.8)	90.1 (10.1)
FEV <sub>1</sub> (%predicted)	59.2 (9.4)	60.1 (9.2)	60.7 (9.6)
FEV <sub>1</sub> /FVC (%)	103.9 (5.9)	104.9 (6.0)	105.5 (6.0)
FEF <sub>25-75</sub> (%predicted)	97.8 (22.5)	105.9 (25.1)	105.9 (24.5)
Impaired lung function			
Normal	324	112	208
Impaired lung function, n(%)	96 (22.9%)	20 (15.2%)	46 (18.1%)
Obstruction	0	0	0
Restrictive			
-Mild restrictive	63	12	28
-Moderate restrictive	15	3	5
Mixed obstruction and restrictive	0	0	0
Small airway obstruction or restrictive	18	5	13

\*Lung function data are presented as group means (SD)

## DISCUSSION

There were total 806 subjects in this study for both questionnaires and lung function analysis. Total school children in 8 selected schools were 2,145 students. Ten percents precision level of sampling size calculated by Yamane, 1973, suggested the minimum number of studied subjects 525. Therefore the number of studied subjects 806 was acceptable. Children living close to the industrial estate area A with high level of PM<sub>10</sub> and VOCs were found worse respiratory health than those children in the further area B and C. They showed a higher prevalence of persistent cough and phlegm than those living far from the industrial estate. The findings of this study indicate that children living in industrial area could have the impaired lung function and suffer respiratory symptoms. These were conformed to other previous studies in Kulkarni, 2006, Wichman, 2009, Tabaku, 2011 and Pel, 2005. For instance, Kulkarni et al. 2006 reported that the small particulate matters entered the lungs and were uptake by macrophages. This demonstrates a direct relationship between the particulate matters density in alveolar macrophages in

induced sputum in children and caused lower lung function. In addition, every single increase of  $1 \mu\text{m}^2$  in macrophage carbon decreases in FVC of 13%, FEV<sub>1</sub> of 17% and FEF<sub>25-75</sub> of 34.7%, when expressed as a percentage of predicted lung function, were seen.

**Table 4:** Demographic and risk factor characteristics of children included in the analysis, Map Ta Phut area, 2013 (n=806)

Parameter	Elementary student included in the analysis		
	Area A N=420	Area B N=132	Area C N=254
Mother responder, n(%)	268(63.8)	89(67.4)	150(59.0)
Boys, n(%)	165(39.3)	66(50.0)	118(46.4)
Girls, n(%)	255(60.7)	66(50.0)	136(53.5)
Total born in Rayoung(%)	242(57.6)	67(50.7)	140(55.1)
Mean age $\pm$ SD <sup>b</sup> (years)	10.96 $\pm$ 0.9	10.77 $\pm$ 0.8	10.63 $\pm$ 0.9
Mean height $\pm$ SD <sup>b</sup> (cm.)	144.08 $\pm$ 9.1	140.66 $\pm$ 8.7	144.05 $\pm$ 9.9
Mean weight $\pm$ SD <sup>b</sup> (kg.)	38.67 $\pm$ 11.3	37.01 $\pm$ 11.6	39.26 $\pm$ 12.5
Residential years, n(%)			
0-5	110(26.2)	53(40.2)	103(40.6)
6-10	211(50.2)	63(47.7)	109(42.9)
>10	91(21.7)	16(12.1)	42(16.5)
<b>History of allergic diseases, n(%)</b>			
Dust and Other chemical	96(22.8)	15(11.4)	47(18.5)
<b>Home environmental Exposure</b>			
Home size,room, n(%)			
1	154(36.7)	37(28.0)	61(24.0)
2-5	256(61.0)	91(68.9)	181(71.3)
>5	3(0.7)	1(0.7)	9(3.5)
Family members,n(%)			
1-5	340(81.0)	104(78.8)	198(78.0)
6-10	73(17.4)	22(16.7)	51(20.1)
>10	3(0.7)	1(0.8)	2(0.8)
People sleep with children smoke	89(21.2)	23(17.4)	37(14.6)
Cooking in home			
Gas	347(82.6)	90(68.2)	158(62.2)
Electricity	11(2.6)	5(3.8)	19(7.5)
Coal	13(3.1)	7(5.3)	1(0.4)
Other	48(11.4)	29(22.0)	75(29.5)
Use of air conditioners, n(%)	85(20.2)	26(19.7)	136(53.5)
Domestic pet, n(%)	232(55.2)	73(55.3)	117(46.1)
Parental smoking habits, n(%)	181(43.1)	53(40.2)	96(37.8)
<b>Socioeconomic status</b>			
Father' Education			
No formal education	2(0.5)	2(1.5)	0
Primary school	157(37.4)	45(34.1)	49(19.3)
High School	127(30.2)	39(29.6)	69(27.2)
Bachelor's Degree or higher than	40(9.5)	12(9.1)	75(29.5)
Mother' Education			
No formal education	9(2.1)	5(3.8)	1(0.4)
Primary school	171(40.7)	47(35.6)	60(23.6)
High School	155(36.9)	46(34.9)	90(35.4)
Bachelor's Degree or higher than	26(6.2)	11(8.3)	48(18.9)

Wichman et al. 2009 and Ramchev et al. 2004 suggested that VOCs had directly associated with lung function and respiratory systems among children. In the current study 3 VOCs 1,3-Butadiene, 1,2-Dichloroethane, and Benzene, were exceeded the NAAQS level, Table 2. The highest concentration was detected in north of the MTPIE and the lowest concentration in the west of the MTPIE. This could influence from a part of the sea breeze during the day, the wind blew mostly from the southwest to the northeast. The emissions were carried toward the community to the north of MTPIE, Tanyanont, 2012. High concentrations of benzene and 1,3 butadiene were detected at the monitoring station, close to the factories and the main roads, indicating that both stationary and mobile sources play major roles in contributing such high concentration VOCs. While 1,2dichloroethane was observed merely at the monitored site close to the plastic factory, which used this compound as raw materials in the production process (Thepanondh, 2011).

The high prevalence of impaired lung functions in children in area A Table 3 were in agreement with the previous reports in other industrial sites (Kulkarni et al., 2006 and Wichman et al, 2009). Gender was associated with the prevalence of impaired lung function. The girls' respiratory health suffered from impaired lung function more than their counterpart 1.94 times. The children aged 9 suffered more impaired lung than those aged 12. These may due to the lung physiology development different between age and gender (Hibbert, 1995, Becklake 1999, Uekert 2006). Hence, Langkulsen, 2006 and Wichman, 2009 investigated symptoms and lung function of the children found no different in gender. The current findings also indicate that other contributing factor resulting in impaired lung functions is the course of time spent in the risk area rather than sex difference. Moreover, it is also revealed that availability of home air conditioner is a contributing factor resulting in decreased prevalence of impaired lung function with statistical significance Table 6.

From the questionnaires analysis in Table 5, the prevalence of chronic respiratory symptoms (NSRD and PCD) in area A was higher than in area B and C. The persistent cough and persistent phlegm in area A was higher than in area C ( $p < 0.05$ ), which was similar to the findings of Wilson et al, 2008. The areas different in pollutants exposure could also depend on the proportion of time children spending outdoors. If they had spent outdoors in a longer period of time, children could expose higher pollutants. In this study, we assumed that all students in each area spent the same time outdoor activities. However, girls have a higher risk of the respiratory symptoms than boys 0.46 times (95%CI=0.29-0.75). The boys could enjoy outdoor activities rather than indoors, so they could have more pollutants exposure than girls. Our hypothesis is similar to the finding of Ana Claudia Lopes de Moraes ACL et al, 2010, who examined the association between wheezing in children and adolescents and living downwind of dispersion plume of pollutants emitted by petrochemical complex, Brazil. Even with low levels of pollutants, the prevalence of wheezing was higher in male 2.5 times. Interestingly, male preschoolers were the most vulnerable group, probably due to differences in the physiology of the airways (Uekeit, 2006). Liu F et al. 2014



examined the association between outdoor and indoor air pollution and respiratory diseases among children aged 6 to 13 years living in a heavy industrial province of China and they found that the prevalent rates of asthma and asthma related symptoms in male were significantly higher than that in female ( $p < 0.05$ ).

**Table 5:** Number and prevalence (%) of respiratory symptoms and impaired lung function (n=806)

Area <sup>a</sup>	Site	Impaired lung function <sup>b</sup> (%)	NSRD <sup>c</sup>			PCP <sup>d</sup>			Any one of the respiratory symptoms <sup>e</sup>
			Chronic bronchitis	Bronchial asthma	Dyspnea and wheezing	Persistent Cough	Persistent phlegm	Both Of PCP	
A	MC	35 (33.0%)	2(1.9)	7(6.6)	10(9.4)	9(8.5)	6(5.7)	2(1.9)	24(22.6)
	NF	12 (21.4%)	0	2(3.6)	6(10.7)	2(3.6)	3(5.3)	1(1.8)	10(17.8)
	TK	18 (21.7%)	0	3(3.6)	3(3.6)	0	2(2.4)	0	7(8.4)
	MT	31 (17.7%)	2(1.1)	4(2.3)	5(2.8)	8(4.6)	3(1.7)	1(0.6)	17(9.7)
	<b>total</b>	<b>96 (22.9%)</b>	<b>4(0.9)</b>	<b>16(3.8)</b>	<b>24(5.7)</b>	<b>19(4.5)*</b>	<b>14(3.3)*</b>	<b>4(0.9)</b>	<b>58(13.8)*</b>
B	KH	9 (15.0%)	1(1.7)	2(3.3)	2(3.3)	2(3.3)	1(0.7)	1(1.7)	6(10)
	YC	11 (15.3%)	0	2(2.8)	0	1(1.4)	0	0	3(4.2)
	<b>total</b>	<b>20 (15.2%)</b>	<b>1(0.7)</b>	<b>4(3.0)</b>	<b>2(1.5)</b>	<b>3(2.3)</b>	<b>1(0.7)</b>	<b>1(0.7)</b>	<b>9(6.8)</b>
C	NS	23 (23.7%)	0	1(1.0)	3(3.1)	1(1.0)	0	0	5(5.1)
	NP	23 (14.6%)	0	2(1.3)	4(2.5)	1(0.6)	0	0	7(4.4)
	<b>total</b>	<b>46 (18.1%)</b>	<b>0</b>	<b>3(1.2)</b>	<b>7(2.7)</b>	<b>2(0.8)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12(4.7)</b>

a: area A= 4 school that located within 1 km. from MTPIE ; area B= 2 school that located close to 5 km. from MTPIE ; area C= 2 school that located close to 10 km. from MTPIE.

b: Results from spirometry test; obstructive ventilatory defect ( $FEV_1 < 80\%$  predicted), restrictive ventilatory defect ( $FVC < 80\%$  predicted), mixed obstruction and restriction ( $FEV_1$  and  $FVC < 80\%$  predicted), and small airway obstruction or restrictive ( $MMEF < 65\%$  predicted)

c: Non-specific respiratory disease, results from the ATS-DLD questionnaire

d: Persistent cough and phlegm, results from the ATS-DLD questionnaire

e: Results from the ATS-DLD questionnaire

\* $p < 0.05$  by chi-squared test compared with area C

According to a demographic data in Table 4, the level of parents' education has a correlation with health and sickness of their children (Van Lenthe et al, 2004). The children in area C has least prevalence of respiratory diseases and the children's parents in area C have a significantly higher level of education compared to parents in area A and B. However, according to investigation of the correlation, the level of parents' education has no correlation with symptoms of respiratory systems of children. Yang et al, 1997, Tanyanont, 2012, found high acute symptoms more significantly than chronic respiratory symptoms in

adults living near an industrial estate. This suggests that children have high susceptibility to pollutant, thus expressing chronic symptoms. We found children have increased exposure to substantial air pollutants compared with adults because of higher minute ventilation and a higher level of physical activities. Spending more time outdoors than do adults, children have increased exposures to outdoor air pollution (Tabaku, 2011)

**Table 6:** Logistic regression analyses for the association between some independent variables, any of the respiratory symptoms and impaired lung function among school children in Map Ta Phut area

Independent variables	Children (n=806)	
	Any of the respiratory symptoms OR (95% CI) <sup>a</sup>	Impaired lung function OR (95% CI) <sup>a</sup>
Gender *ref: boy	0.46 (.28-.75)*.002	1.94 (1.33-2.84)*.001
Age *ref: 9 year		
10 year	2.36 (0.52-10.63)	0.55 (0.27-1.11)
11 year	1.99 (0.44-9.03)	0.56 (0.28-1.13)
12 year	1.74 (0.37-8.13)	0.30 (0.14-.66)*.002
Use of air *ref: use air	1.00 (0.55-1.81)	1.80 (1.14-2.85)*.012
Areas <sup>b</sup> *ref: area C		
A	3.41 (1.70-6.85)*.001	1.24 (0.80-1.94)
B	1.36 (0.54-3.45)	0.68 (0.37-1.26)

a: OR: odds ratio, CI: confidence interval

b: area A= school that located within 1 km. from MTPIE ; area B= school that located close to 5 km. from MTPIE ; area C = school that located close to 10 km. from MTPIE

\*Significantly higher than control area (p < .05)

The means of PM<sub>10</sub> (44 µg/m<sup>3</sup>) in this current study were lower than those of PM<sub>10</sub> (59 µg/m<sup>3</sup>) in the petrochemical polluted area, similar to Map Ta Phut industrial state in 2013 (Kongtip, 2013) and PM<sub>10</sub> (93.6 µg/m<sup>3</sup>) in the industrial estates in Taiwan (Yang, 1997). When comparing between the air pollutants in the petrochemical polluted area in present study and the traffic polluted area in Bangkok Thailand, the average level of PM<sub>10</sub> (44 µg/m<sup>3</sup>) in the industrial, polluted area in Rayong Province was considerably lower than the average PM<sub>10</sub> (65 µg/m<sup>3</sup>) in the traffic-polluted area in Bangkok (Langkulsen, 2006). The prevalence of symptoms of respiratory systems of children in Bangkok and that of the control group accounted for 22% and 6.8%, respectively, while in this study the study group and control group accounted for 14.9% and 5%, respectively. It can be seen that the children living or studying close to the industrial polluted area have high exposure to lower air pollutants than those in the traffic-polluted area, but it is noted that the chemical compositions in the traffic-polluted area may not comparable to the petrochemical polluted area since toxicity of chemicals depends on types and composition of chemical (Kongtip, 2013).

Finally, all of the volunteer schools in this study were under Rayong Primary Education Service and the schoolchildren subjects were confirmed by their teachers that they were not involved with smoking or narcotic drugs. Some important limitations need to be considered. The obtained monitoring data may not be exactly in the source areas either close to school. We can use only the assessable and

available data. Some incomplete questionnaires were excluded. Lung Function test is the time consuming process because of the subjects and trainees performance.

## CONCLUSIONS

The data from the present study show that living in area MTPIE with higher level of pollutants, both PM<sub>10</sub> and VOCs is associated with an increased prevalence of chronic bronchitis, bronchial asthma, dyspnea and wheezing, cough, phlegm and lower lung function. The results also suggest that the petrochemical air pollutants are harmful to population in the close proximity of the industrial estate. Eventually, the health risk may lie particularly in children.

## ACKNOWLEDGMENT

The funding research for this work was supported by National Research Council of Thailand 2014 GRB\_APS\_20572304 and Graduate School, Chulalongkorn University

## APPENDIX: Definition of respiratory symptoms

Respiratory symptom		Definition
non-specific respiratory disease: NSRD	chronic bronchitis	phlegm production from the chest two times/day for 4 days/week for 3 months/year for at least 3 years
	bronchial asthma	doctor diagnosed asthma and still have asthma
	dyspnea and wheezing	wheezing or whistling in the chest apart from cold on most days or nights
persistent cough and phlegm : PCP	persistent cough	cough apart from cold on most days more than 4 days/week for 3 months/year for at least 1 year
	persistent phlegm	congested in the chest or bring up phlegm, sputum, or mucus apart from cold on most days more than 4 days/week for 3 months/year for at least 1 year

Adapted from ATS-DLD-78-C Questionnaire

## REFERENCES

- Aekplakorn W, Loomis D, Vichit-Vadakan N, Shy C and Plungchuchon S. Acute effects of SO<sub>2</sub> and particles from a power plant on respiratory symptom of children, Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 2003; 34(4): 906-14.
- Becklake MR, Kauffmann F. Gender differences in airway behavior over the human life span. *Thorax* 1999; 54:1119-1138.
- FerrisBG. Epidemiology Standardization Project. *Am Rev Respir Dis.* 1978; 118: 1-88.
- Hibbert M, Lannigan A, Raven J, Landau L, Phelan P. Gender differences in lung growth. *Pediatr Pulmonol* 1995; 129-134.
- Karita K, Yano E, Tamura K, Jinsart W. Effect of working and residential location areas on air pollution residential location areas on air pollution related respiratory symptoms in policemen and their wife in Bangkok, Thailand. *Eur J Public Health* 2004; 24-26.
- Kongtip P, Singkaew P, Yoosook W, Chantanakul S, Sujiratat D. Health Effects of People Living Close to a Petrochemical Industrial Estate in Thailand. *J Med Assoc Thai.* 2013;96: Suppl 5:S64-72.
- Kulkarni N, Pierse N, Rushton L, Grigg J. Carbon in airway macrophages and lung function in children. *N Eng J Med* 2006; 355:21-30.
- Langkulsen U, Jinsart W, Karita K, and Yano E. Respiratory symptoms and lung function in Bangkok school children. *Eur J Pub Health* 2006; 16(6): 676-681.

- Liu F, Zhao Y, Liu Y Q et al. Asthma and asthma related symptoms in 23,326 Chinese children in relation to indoor and outdoor environmental factors: The Seven Northeastern Cities (SNEC) Study. *SciTotal Environ* 2014; 497-498: 10-17.
- Moraes A C L, Ignotti E, Netto P A et al. Wheezing in children and adolescents living next to a petrochemical plant in Rio Grande do Norte, Brazil. *JPediatr* 2010; 86(4): 337-344.
- MTP Municipality, Rayong Province, Thailand: <http://www.mtp.go.th>. Accessed [2014 Oct 29].
- Pan G, Zhang S, Feng Y, et al. Air pollution and children's respiratory symptoms in six cities of Northern China. *Respir Med* 2010; 104: 1903-1911.
- Peled R, Friger M, Bolotin A. et al. Fine particles and meteorological conditions are associated with lung function in children with asthma living near two power plants. *Public Health* 2005; 119: 418-425.
- Pimpisit D, Jinsart W, Hooper M. Modeling of the BTX species based on an emission inventory of sources at the Map Ta Phut Industrial Estate in Thailand. *Science Asia*. 2005; 31:103-12.
- Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. Air Quality and Noise Standards. [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/en\\_reg\\_std\\_airsnd01.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/en_reg_std_airsnd01.html) [2014 Jan 22]
- Rumchev K, Spickett J, Bulsara M, Phillips M, Stick S. Domestic exposure to formaldehyde significantly increases the risk of asthma in young children. *Eur Respir J*. 2002; 20: 403-408.
- Rumchev K, Spickett J, Bulsara M, Phillips M, Stick S. Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax* 2004; 59: 746-751.
- Salvi S. Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatr. Respir. Rev.* 2007; 8: 275-280.
- Schwartz J. Air Pollution and children's health. *Pediatrics* 2004; 113: 1037-1043.
- Tabaku A, Bejtija G, Bala S, Toci E and Resuli J. Effects of air pollution on children's pulmonary health. *Atmospheric Environment* 2011; 45: 7540-7545.
- Tamura K, Jinsart W, Yano E, Karita K, Boudoung D. Particulate air pollution and Chronic respiratory symptoms among traffic policemen in Bangkok. *Arch Environ Health* 2003; 58(4):201-7.
- Tanyanont W. and Vichit-Vadakan N. Exposure to Volatile Organic Compounds and Health Risks among Residents in an Area Affected by a Petrochemical Complex on Rayong, Thailand. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*. 2012; 43(1): 201-211.
- Thepanondh S, Varoonphan J, Saratichart P, Makkasap T. Airborne Volatile Organic Compounds and Their Potential Health Impact on the Vicinity of Petrochemical industrial Complex. *Water Air Soil Pollution* 2011; 214: 83-92.
- The Thoracic Society of Thailand. Guidelines for Spirometric Evaluation 2012; 1<sup>st</sup> ed. Bangkok: Parbpim Ltd., Part.
- Trasande L, Thurston GD. The role of air pollution in asthma and other pediatric morbidities. *J Allergy Clin Immunol* 2005; 15: 689-699.
- Uekert S J, Akan G, Michael D. et al. Sex-related differences in immune development and the expression of atopy in early childhood. *J Allergy Clin Immunol* 2006; 118:1375-1381.
- Van Lenthe F J, Schrijvers C T M, Droomers M, et al. Investigating explanations of socio-economic inequalities in health. The Dutch GLOBE study. *Eur J Public Health* 2004; 14: 63-70.
- Vichit-Vadakan N, Vajanapoom N, Ostro B. The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Project: Estimating the Mortality Effects of Particulate Matter in Bangkok, Thailand. *Environ Health Perspect.* 2008; 116: 1179-1182.
- Wichmann FA, Müller A, Busi LE. et al. Increased asthma and respiratory symptoms in children exposed to petrochemical pollution. *J Allergy Clin Immunol* 2009; 123:632-638.
- Wilson D, Takahashi K, Pan G et al. Respiratory symptoms among residents of a heavy-industry province in China: Prevalence and risk factors. *Respir Med* 2008; 102: 1536-1544.
- Yamane T. *Statistics: An Introductory Analysis* 1973; 3rd ed. New York: Harper & Row.
- Yang C Y, Wang J D, Chan C C et al. Respiratory and Irritant Health Effects of a Population Living in a Petrochemical-Polluted Area in Taiwan. *Environ Res* 1997; 74: 145-149.



รองศาสตราจารย์ ดร. วนิดา จินศาสตร์

ความเชี่ยวชาญ: **สิ่งแวดล้อมอากาศ**

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องทำงาน: ตึกวิทยาศาสตร์ทั่วไป ชั้น 2 ห้อง 201.06 โทรศัพท์: (+66)-2-218-5188 โทรสาร: (+66)-2-218-5180

จดหมายอิเล็กทรอนิกส์: jwanida@chula.ac.th

### ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สาขา	สถานศึกษา	ปีที่จบ
Post Doctoral research	Public Health	Teikyo University, Japan	2540
PhD	Chem. & Biochem.	La Trobe University, Australia	2536
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	อินทรีย์เคมี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2529
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต	เคมี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2524

### ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2525-2537 นักวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิจัยและเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537-2539 อาจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539-2544 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2544-ปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาที่เชี่ยวชาญ มลพิษอากาศ และ สุขภาพ

### โครงการวิจัย (หัวหน้าโครงการ 5 ปี ย้อนหลัง)

โครงการ	แหล่งทุน	ระยะเวลา	สถานะ
1. โครงการมหาวิทยาลัยแห่งชาติ คลัสเตอร์ climate change CC307A	สกอ.	2554-2556	แล้วเสร็จ
2. มลพิษอากาศและผลต่อสุขภาพในพื้นที่ภัยพิบัติและอุตสาหกรรม	วช งบประมาณแผ่นดิน	2557	แล้วเสร็จ
3. การศึกษาผลกระทบจากการแพร่กระจายของสารพิษในอากาศจากการเผาต่อซังข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ในที่โล่ง	วช งบประมาณแผ่นดิน.	2558	ดำเนินการ

### Publications

1. Saengsai S. and Jinsart W 2015 “ Evaluation of Urban Ozone Formation by Photochemical Ozone creation Potential Indices and Generalized Additive Model” BCEE-2015 International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering, February 3-4, 2015, Bali, Indonesia

2. Saengsai S. and Jinsart W 2015 “Ozone Formation Potential of Oxygenated Hydrocarbons: Phasing-in of Gasohol in Bangkok Thailand” *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* , 9 (1) January 2015, pp35-41
3. Jinsart W, Arbmanee D, Ngeabprasert R and Pungkhom P 2014 “ Impact on Visibility and Air Quality from Bushfire Smog in Northern Thailand” A&WMA's 2014 Annual Conference & Exhibition Navigating Environmental Crossroads, June 24-27, 2014, Long Beach, CA,USA
4. Pungkhom P. and Jinsart W, 2014 “Health Risk Assessment from bush fire air pollutants using statistical analysis and Geographic Information System: case study in Northern Thailand” *International Journal of Geoinformatics*, 10(1), 17-24
5. Jinsart W, and Thepanondh S. 2014 “Effects of climate change on heat accumulation and precipitation in Thailand” *IJESD*, 5 (4), p340-343
6. Jinsart, W., Kaewmanee, C. , Inoue,M., Hara, K. S Hasegawa, S., Karita, K., Tamura, K. and Yano, E. 2012, Driver exposure to particulate matter in Bangkok, *JAWMA*, 62:1, 64-71
7. Jinsart W, Sripraparkorn, C, Siems, ST. Hurley, P.J. and S. Thepanondh, 2010 Application of The Air Pollution Model(TAPM)to the urban airshed of Bangkok,Thailand, *IJEP.*, 42, 68-84
8. Buadoung D, Jinsart W, Funatagawa I, Karita K, and Yano E, 2009, Association between PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> levels and hospital visits for cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand”*J. Epidemiol*, 19(4), 182-188
9. Voorhees, AS, Kim Oanh, NT., Pongkiatkul, P., Kim YS. Jinsart, W, Uchiyama, I and Limpaseni, W. 2008, Particulate matter air pollution reduction scenarios in Osaka, Houston, Bangkok and Seoul: A prospective health benefits analysis, *JEAPM*, 10(3), 265-289.
10. Langkulsen, U., Jinsart, W., Karita, K. and Yano, E. 2006 “Respiratory Symptoms and Lung Function in Bangkok schoolchildren” *The European Journal of Public Health*, 16(6), 676-681
11. Pimpisit D, Jinsart W and Hooper M, 2005 “Modeling of the BTX Species based on an Emission Inventory of Sources at the Map Ta Phut Industrial Estate in Thailand” *ScienceAsia*, 31(2), 103-112
12. Kanae K, Yano E, Tamura K and Jinsart W, 2004 “Effect of working and residential location areas on air pollution related respiratory symptoms in policemen and their wives in Bangkok, Thailand” *EJPH*, 14 (1), 24-26
13. Thongsanit P, Jinsart W, Hooper B, Limpaseni W and Hooper M, 2003 Atmospheric Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons for PM10 and Size- Segregated Samples in Bangkok, *JAWMA* 53: 1490-1498
14. Jinsart W, Tamura K, Loetkamonwit S, Sarawut Thepanondh S, Kanae K and Yano E, 2002 Roadside Particulate Air Pollution in Bangkok, *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, 52: 1102-1110

## ประวัติคณะผู้วิจัย

### ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อ-นามสกุล (ไทย) ภารดี อาษา  
(อังกฤษ) Paradee Asa
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1005-02949-88-4
- ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก  
คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ 169 ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131  
โทร/ โทรสาร 038-393265 Email: [PARADEE\\_ASA@hotmail.com](mailto:PARADEE_ASA@hotmail.com)

### 5. ประวัติการศึกษา

คุณวุฒิ	สาขาวิชา	สถานศึกษา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (หลักสูตรสหสาขาวิชา)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
การศึกษามหาบัณฑิต	ศึกษาศาสตร์(เคมี)	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ  
สาธารณสุขศาสตร์ , มาตรการการจัดการสิ่งแวดล้อม

### 7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- หัวหน้าโครงการวิจัย : -
- งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :  
สภาพสิ่งแวดล้อม การสุขภาพของแพลงก์ตอนน้ำจืดในลำน้ำอาหาร ชายหาดบางแสน. 2551  
การปนเปื้อนตะกั่วในดินน้ำดื่ม หม้อปรุ๊งถ้วยเตี๋ย ภายในโรงเรียนประถมศึกษา จังหวัดชลบุรี. 2552.  
การปนเปื้อนสารบอแรกซ์ในอาหารที่จำหน่ายรอบโรงเรียน ในจังหวัดชลบุรี, 2554
- งานวิจัยที่กำลังทำ : -

### ผู้ร่วมวิจัย

- ชื่อ-นามสกุล (ไทย) ดวงฤทัย บัวด้วง  
(อังกฤษ) Dongruethai Buadong
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1201-00165-86-2
- ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาการพยาบาลเด็ก โรงเรียนพยาบาลรามาธิบดี

คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

โทรศัพท์ 0-2201-0767 , มือถือ 081-8412328 E-mail : eikrama@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

<u>คุณวุฒิ</u>	<u>สาขา</u>	<u>ปีที่ยจบ</u>	<u>สถานศึกษา</u>
วิทยาศาสตรบัณฑิต (ทุน คปก.)	วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม (หลักสูตรสหสาขาวิชา)	2552	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม (หลักสูตรสหสาขาวิชา)	2542	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พยาบาลศาสตรบัณฑิต	พยาบาลศาสตร์	2537	มหาวิทยาลัยมหิดล

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

การดูแลผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจ

การดูแลผู้ป่วยเด็กในระยะวิกฤต critical care, CPR

ผลกระทบของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อภาวะสุขภาพของประชาชน

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

7.2 ผลงานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

Karita K, Yano E, Jinsart W, **Buadong D.** (2001) Respiratory Symptoms and Pulmonary Function among Traffic Police in Bangkok, Thailand. Archives of Environmental Health 56: No.5. 467-470.

Tamura K, Jinsart W, Yano E, Karita K, **Buadong D.** (2003). Particulate Air Pollution and Chronic Respiratory Symptoms among Traffic Policemen in Bangkok. Archives of Environmental Health 58: No4. 201-207.

**Buadong D,** Jinsart W, Funatagawa I, Karita K, Yano E. (2009) Association between PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> and hospital visits for cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand. Journal of Epidemiology 19(4); 182-188.





# International Institute of Chemical, Biological & Environmental Engineering

www.iicbe.org

Jan. 05, 2015

## ACCEPTANCE/INVITATION LETTER

Wanida Jinsart,  
Department of Environmental Science,  
Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

To Whom It May Concern,

International Conference on Biological, Civil and Environmental Engineering (BCEE-2015) that will take place on Feb. 3-4, 2015 Bali (Indonesia) aims to bring together researchers, scientists, engineers, medical practitioners and scholar students to exchange and share their experiences, new ideas, and research results about all aspects of science, engineering and medical sciences, and discuss the practical challenges encountered and the solutions adopted.

Herewith, the Scientific and Technical Committee of International Institute of Chemical, Biological & Environmental Engineering is pleased to inform you that the peer-reviewed & refereed conference paper id: C0215048, titled as "*Evaluation of Urban Ozone Formation by Photochemical Ozone Creation Potential Indices and Generalized Additive Model*" and authored by Sirithorn Saengsai, and Wanida Jinsart, has been accepted for Oral presentation at the conference and publication in Proceedings of the Bali conference Feb. 2015.

We would like to kindly invite Wanida Jinsart, to present the research paper at the conference site in Bali. We would greatly appreciate if you could facilitate granting the conference delegate the necessary visa.

Sincerely Yours,



Conference Secretariat  
IICBE 2015 Bali (Indonesia)

[www.iicbe.org](http://www.iicbe.org)

Email: [info@iicbe.org](mailto:info@iicbe.org)

**Conference Venue:**

**IBIS Hotel Kuta-Bali**

Jl Raya Kuta No 77, Kuta - Bali

80361 - Kuta - Bali (Indonesia)

TEL : (+62)361/756500