



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่เขตเศรษฐกิจของจังหวัดภูเก็ต
ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

โดย ดร.วรวิทย์ วงศ์นิรมัยกุล และคณะ

สิงหาคม 2555 เสร็จโครงการ

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่เขตเศรษฐกิจของจังหวัดภูเก็ต
ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

ผู้วิจัย

1. ดร.วรวิทย์ วงศ์นิรมัยกุล
2. รองศาสตราจารย์ ดร. เปรตพิชญ์ คณาธารณา

สังกัด

คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

1. บทคัดย่อภาษาไทยและอังกฤษ

รหัสโครงการ MRG5180093

ชื่อโครงการ การตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่เขตเศรษฐกิจของจังหวัดภูเก็ต ด้วยวิธีการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ

ชื่อนักวิจัย วรวิทย์ วงศ์นิรมัยกุล, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

E-mail Address : worawit.won@phuket.psu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2551 ถึง 15 สิงหาคม พ.ศ. 2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในสภาวะอากาศของจังหวัดภูเก็ต โดย ทำการพัฒนาระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายและการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ การ กำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและการกำหนดความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่ใช้ในการเขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างในพื้นที่ต่างๆ 5 พื้นที่ ได้แก่ สถานีขนส่งผู้โดยสาร ตลาดสด สีแยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต โรงเผาขยะมูลฝอยเทศบาลนครภูเก็ตและท่าเรือ รัชฎา จากนั้นจึงนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการนี้มาใช้ในการตรวจ วัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่มสารเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีนและไซลีน (BTEx) ที่ปนเปื้อนในบรรยากาศของจังหวัดภูเก็ตทั้งในเขตอำเภอเมืองและเขตชายหาดป่าตอง สำหรับระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้น ได้พัฒนาเป็นระบบแบบออนไลน์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศต่อเข้ากับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดตัวตรวจวัดเฟรมโอออลในเซชัน โดยกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ได้คือ อัตราการไหลของฮีเลียม ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนเท่ากับ 6, 35, 300 และ 30 มล./นาทีตามลำดับ อุณหภูมิเริ่มต้น 45 องศาเซลเซียสคงที่ไว้ 1 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 100 องศาเซลเซียสคงที่ไว้ 1 นาที อุณหภูมิตัวตรวจวัดและวาล์วเก็บตัวอย่างแก๊สเท่ากับ 150 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ และเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง คือ 1 นาทีจากการทำการศึกษาโดยใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิดคือ Porapak Q และ Tenax TA พบว่า สภาวะอากาศในภูเก็ต (ambient air) ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดเบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีนและไซลีน (BTEx) ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการเขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยมุ่งเน้นไปที่สารทั้ง 4 ชนิด และพบว่า เวลาที่เหมาะสมคือ 3 สัปดาห์ ในพื้นที่สถานีขนส่งผู้โดยสารนั้น บริเวณภายนอกอาคารผู้โดยสารจะมีปริมาณสาร BTEx สูงกว่าภายใน สำหรับพื้นที่สีแยกนั้น ปริมาณของสารจะขึ้นกับระยะทางจาก ถนนรวมทั้งลักษณะของสิ่งปลูกสร้างที่ติดบังกระแสลม ส่วนพื้นที่ตลาดสดนั้น ปริมาณสาร ขึ้นกับปริมาณ การจราจรและ จำนวนร้านค้าอาหาร สำหรับพื้นที่ท่าเรือ ปริมาณสารจะสูงที่สุด ณ . บริเวณทางขึ้นลงเรือ ส่วนพื้นที่โรงเผา

ขณะนั้น ปริมาณสาร BTEX จะสูงในบริเวณรั้วอาคารสำนักงานและเตาเผาขยะ จากผลการติดตามตรวจสอบ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร BTEX เป็นเวลา 1 ปี พบว่า ในเขตพื้นที่ชายหาดป่าตองและเขตอำเภอเมืองพบว่า ในเขตหาดป่าตองนั้น จุดที่มีปริมาณสารสูงสุดได้แก่บริเวณจุดตัดถนนซึ่งเป็นที่ตั้งห้างสรรพสินค้า ส่วนในเขตอำเภอเมือง จะมีปริมาณสารสูงสุดในบริเวณใกล้สถานประกอบการซ่อมรถจักรยานยนต์ ซึ่งมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและตัวทำละลายอินทรีย์มาก เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณ BTEX ที่ตรวจพบในสภาพอากาศของจังหวัดภูเก็ตกับเมืองต่างๆที่ปรากฏอยู่ในรายงานการวิจัย ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จ.สงขลา จังหวัดกรุงเทพฯ เขตปกครองพิเศษฮ่องกง เมืองโยฮานเนิส ประเทศกรีซพบว่า ปริมาณ BTEX ของจังหวัดภูเก็ตยังต่ำกว่าเมืองอื่นทั้งในเขตภาคใต้ด้วยกัน หรือเมืองอื่นๆในเอเชีย และแตกต่างอย่างมากกับเมืองในยุโรป อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ปริมาณความเข้มข้นของ BTEX ต่ำ แต่เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนระหว่าง T/B กลับพบว่า จังหวัดภูเก็ตมีค่าอัตราส่วน T/B สูงถึง 9.38 และ 9.01 สำหรับเขตอำเภอเมืองและชายหาดป่าตองตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง TEX/B ของหาดป่าตองกับอำเภอเมือง พบว่า อัตราส่วน TEX/B ของหาดป่าตองมีค่าต่ำกว่าของเขตอำเภอเมือง เนื่องจากผลของปฏิกิริยา photochemical ของเบนซินที่ต่ำกว่ากว่าไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น จากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย (R^2) ของสารในกลุ่ม BTEX ที่พบในจังหวัดภูเก็ตซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงนั้น ชี้ให้เห็นว่า มลสารชนิดต่างๆที่ศึกษาในงานวิจัยมีความสัมพันธ์กันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ มาจากแหล่งกำเนิดใหญ่เดียวกันได้แก่ ไอเสียรถยนต์ และจากการติดตามตรวจสอบปริมาณ BTEX ในรอบ 1 ปี พบว่า การกระจายตัวของสารโพลีอินในรูป spatial coefficient of variation (SCV) จะมีค่าสูงในช่วงเดือนมิ.ย. – ต.ค. เนื่องจากเป็นฤดูมรสุมที่มีอัตราเร็วของกระแสลมสูง เมื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การเก็บตัวอย่างระหว่างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษานี้กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์พบว่า ร้อยละความแตกต่างจะมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างมากขึ้น โดย ความแตกต่าง จะมีค่าน้อยกว่า 15% เมื่อใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 3 สัปดาห์

คำหลัก: อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ; สารอินทรีย์ระเหยง่าย; บีทีอีเอ็กซ์; จังหวัดภูเก็ต

Project Code: MRG5180093
Project Title: Measurement of Volatile Organic Compounds in Economic Hot Spot Zone by Using a Passive Sampling Method
Investigator Worawit Wongniramaikul, Prince of Songkla university
E-mail Address : worawit.won@phuket.psu.ac.th
Project Period: 15 May 2008 to 15 August 2012

Abstract

This research was focused on the use of the laboratory-build passive sampler to monitor the change in the concentration of volatile organic compounds (VOCs) contaminated in Phuket ambient air. The analytical system was developed and the optimum condition was determined. In addition to analysis, the sampling time was also optimized. The passive sample was placed at 5 several hot spot location, which were the bus terminal, fresh market, Satee Phuket School intersection, Phuket Municipality incinerator and Rasada pier in order to study the difference of the sampling position. After receiving the system performance, the laboratory-built passive sampler was used to monitor the contamination of one group of VOCs, BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene), in the areas of Phuket town and Patong beach. The optimum conditions for the in-line analytical system composed of the vacuum pump and gas chromatograph with flame ionization detector (GC-FID) were He, H₂, O₂ and N₂ flow rate of 6, 35, 300 and 30 mL/min, respectively; the initial temperature of 45 °C with 1 min initial time; the ramp rate of 10 °C /min; the final time of 100 °C with 1 min final holding time; the detector and sampling valve temperature of 150 and 160 °C, respectively. The heating time for sample preparation by the laboratory-built thermal desorption unit was 1 min. By using two kind of adsorbent, Porapak P and Tenax TA, it was found Phuket ambient air contaminated with BTEX, so the later section of the study was concentrated on those 4 compounds. The sampling time at site was selected at 3 weeks with the best results. For the area of bus terminal, it was found the BTEX concentration outside the passenger terminal building was higher than inside one. For the intersection area, the distance from the road showed it was the most important factor for BTEX concentration. The physical characteristics of surrounding building were also another impact factor for their concentration. According to the BTEX measurement around the fresh market, the degree of BTEX concentration

was depended on the traffic volume and the number of restaurants. For the pier, the highest concentration was measured at the point to access to the ship, while the fence of the office building and incinerator were the points detected the highest BTEX concentration. After to 1 year monitoring of the change in the BTEX concentration, the highest concentration was found at the T-junction where the department store located for Patong beach area and at motorcycle garage for Phuket town. Compared with the other cities reported in literatures, the Phuket belongs to the better air quality than Hat Yai, Songkla, Bangkok, Hongkong and especially Ioannina, Greece. However, Phuket town and Patong beach possessed the very high T/B ratio of 9.38 and 9.01 for, respectively. The TEX/B ratio of Patong beach was higher than one of Phuket town, because the effect of photochemical reaction of bezene. The high correlation coefficient (R^2) among BTEX concentration indicated that each pollutant Phuket came from the same source, which is the vehicle exhaust. The spatial coefficient of variation (SCV) of toluene in different area was high in June – October, or monsoon season. This implied the scatter of toluene, the representative of BTEX compound, was affected by wind strength. The efficiency of the laboratory-built passive sample was studied by comparing with the commercial passive sample. The difference percentage between two types of passive sampler was decreased when the sampling time was increased. There was lower 15% difference, when the sampling period of time was applied at 3 weeks.

Keyword: Passive sampler; Volatile Organic Compounds; BTEX; Phuket

2. Executive summary

งานวิจัยนี้ จะทำการ ใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นเองในห้องปฏิบัติการในการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในสภาวะอากาศของจังหวัดภูเก็ต โดยเริ่มจากการเตรียมระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายและการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับ การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ การกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างและการกำหนดความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่ใช้ในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างในพื้นที่ต่างๆ 5 พื้นที่ ได้แก่ สถานีขนส่งผู้โดยสาร ตลาดสด สีแยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต โรงเผาขยะมูลฝอย เทศบาลนครภูเก็ตและท่าเรือรัชฎา สำหรับระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้น ได้พัฒนาเป็นระบบแบบออนไลน์โดยใช้ปั๊มสุญญากาศต่อเข้ากับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดตัวตรวจวัดเฟรมไอออไนเซชัน โดยกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์ได้คือ อัตราการไหลของฮีเลียม ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนเท่ากับ 6, 35, 300 และ 30 มล./นาที่ตามลำดับ อุณหภูมิเริ่มต้น 45 องศาเซลเซียสคงที่ไว้ 1 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 100 องศาเซลเซียสคงที่ไว้ 1 นาที อุณหภูมิตัวตรวจวัดและวาล์วเก็บตัวอย่างแก๊สเท่ากับ 150 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ และเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแกตัวอย่าง คือ 1 นาที จากการทำการศึกษโดยใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิดคือ Porapak Q และ Tenax TA พบว่า สภาวะอากาศในภูเก็ต (ambient air) ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่ายชนิดเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีนและไซลีน (BTEX) ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างโดยมุ่งเน้นไปที่สารทั้ง 4 ชนิด และพบว่าเวลาที่เหมาะสมคือ 3 สัปดาห์ ในพื้นที่สถานีขนส่งผู้โดยสารนั้น บริเวณภายนอกอาคารผู้โดยสารจะมีปริมาณสาร BTEX สูงกว่าภายใน สำหรับพื้นที่สีแยกนั้น สารจะมีปริมาณสูงสุดในพื้นที่ฝั่งที่มีสถานีบริการน้ำมัน ตั้งอยู่และจะมากน้อยตามความใกล้-ไกลถนนรวมทั้งการมี/ไม่มีอาคารสูงบดบังกระแสลม ส่วนพื้นที่ตลาดสดนั้น ปริมาณสารจะมากน้อยในถนนที่มีการจราจรและร้านค้าอาหารหนาแน่น สำหรับพื้นที่ท่าเรือ ปริมาณสารจะสูงที่สุด ณ บริเวณทางขึ้นลงเรือ ส่วนพื้นที่โรงเผายขยะนั้น ปริมาณสาร BTEX จะสูงในบริเวณรั้วอาคารสำนักงานและเตาเผาขยะ นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ยังได้มีการตรวจสอบติดตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร BTEX ในเขตพื้นที่ชายหาดป่าตองและเขตอำเภอเมือง โดยในเขตชายหาดป่าตอง นั้น จุดที่มีปริมาณสารสูงสุดได้แก่บริเวณจุดตัดระหว่างถนนราษฎร์อุทิศและถนนบางลา ซึ่งเป็นที่ตั้งห้างสรรพสินค้าและเป็นบริเวณที่มีกิจกรรมการค้าหนาแน่น ส่วนในเขตอำเภอเมือง จะมีปริมาณสารสูงสุดในบริเวณใกล้สถานประกอบการซ่อมรถจักรยานยนต์ ซึ่งมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและตัวทำละลายอินทรีย์มาก จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่อากาศในปริมาณที่สูง เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณ BTEX ที่ตรวจพบในสภาพอากาศของจังหวัดภูเก็ตกับ

เมืองต่างๆในโลก พบว่าปริมาณ BTEX ของจังหวัดภูเก็ตยังต่ำกว่าเมืองอื่นทั้งในเขตภาคใต้ด้วยกัน (อำเภอหาดใหญ่ จังหวัด สงขลา) หรือเมืองอื่นๆในเอเชีย (กรุงเทพฯ ชื่องกง) และแตกต่างอย่างมากกับเมืองในยุโรป (เมืองโยอานีนนา ประเทศกรีซ) อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ปริมาณความเข้มข้นของ BTEX ต่ำ แต่เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนระหว่าง T/B กลับพบว่า จังหวัดภูเก็ตมีค่าอัตราส่วน T/B สูงถึง 9.38 และ 9.01 สำหรับเขตอำเภอเมือง และชายหาดป่าตองตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับเมืองอื่นๆในเอเชียและสูงกว่าเมืองในยุโรป และอเมริกาใต้ เนื่องจากน้ำมันเชื้อเพลิงในเอเชียจะมีสัดส่วนปริมาณของสารอะโรเมติกสูง เมื่อเปรียบเทียบ อัตราส่วนระหว่าง TEX/B ของหาดป่าตองกับอำเภอเมือง พบว่าอัตราส่วน TEX/B ของหาดป่าตองมีค่าต่ำกว่าของเขตอำเภอเมือง เนื่องจากเบนซีนมีความไวในการเกิดปฏิกิริยา photochemical ต่ำกว่าไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น ทำให้บริเวณหาดป่าตองซึ่งมีอาคารบ้านเรือนซึ่งสามารถบดบังแสงได้น้อยกว่าในเขตเมือง รวมพื้นที่บางส่วนเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขา ทำให้แสงสามารถส่องถึงได้มากกว่า ค่า TEX/B ของหาดป่าตองโดยเฉลี่ยจึงต่ำกว่าในเขตเมือง จากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย (R^2) ของสารในกลุ่ม BTEX ที่พบในจังหวัดภูเก็ตซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงนั้น ชี้ให้เห็นว่า มลสารชนิดต่างๆที่ศึกษาในงานวิจัยมีความสัมพันธ์กันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ มาจากแหล่งกำเนิดใหญ่เดียวกันได้แก่ ไอเสียรถยนต์ และจากการติดตามตรวจสอบปริมาณ BTEX ในรอบ 1 ปี พบว่า การกระจายตัวของสารโพลีอินในรูป spatial coefficient of variation (SCV) จะมีค่าสูงในช่วงเดือนมิ.ย. – ต.ค. เนื่องจากเป็นฤดูมรสุมที่มีอัตราเร็วของกระแสลมสูง เมื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่างระหว่างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษานี้กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์พบว่า ร้อยละความแตกต่างจะมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างมากขึ้น โดยความแตกต่างจะมีค่าน้อยกว่า 15% เมื่อใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 3 สัปดาห์

3. วัตถุประสงค์

- 3.1 เพื่อพัฒนาระบบการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ใช้ควบคู่กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ
- 3.2 เพื่อกำหนดปริมาณและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่เขตเศรษฐกิจต่าง ๆ ของจังหวัดภูเก็ต
- 3.3 เพื่อศึกษาความแตกต่างของปริมาณและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่เขตเมืองและเขตท่องเที่ยว

4. วิธีการศึกษา

- 4.1 เลือกคอลัมน์และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการ วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย 12 ชนิด ได้แก่ benzene toluene ethylbenzene *m,p*-xylene acetaldehyde ethanol acetone hexane 1,2-dichloroethane benzene heptanes 2,2,4-trimethylpentane ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในที่นี้ หมายถึงสภาวะของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดเฟรมไอออไนเซชัน (GC-FID) และสภาวะของการเตรียมตัวอย่างแบบ in-line โดยใช้เครื่องคายการดูดซับด้วยความร้อน (Thermal desorption unit) โดยพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสมจากประสิทธิภาพการแยกสาร ค่าการตอบสนองและเวลาวิเคราะห์สั้น โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีประกอบด้วย อัตราการไหลของแก๊สพา (N₂, mL min⁻¹), อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง (H₂, mL min⁻¹), อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน (อากาศ, mL min⁻¹) อัตราไหลของแก๊สที่ช่วยพาสารเข้าสู่ตัวตรวจวัด (make up gas, N₂ mL min⁻¹), สภาวะของคอลัมน์ (อุณหภูมิเริ่มต้น, อุณหภูมิสุดท้าย, อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ, เวลาที่คงที่ไว้), อุณหภูมิของตัวตรวจวัด (°C) สำหรับพารามิเตอร์สำหรับการ เก็บและเตรียมตัวอย่างด้วยอุปกรณ์คายการดูดซับ (Thermal desorption unit) ประกอบด้วย ชนิดของตัวดูดซับ, เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง (desorption time, s), อัตราการไหล (mL min⁻¹) และเวลา (s) ที่ใช้ในการไล่ (purge) สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่คายการดูดซับจากตัวดูดซับมาอยู่ในที่ว่างของขวดเข้าสู่ลูบเก็บตัวอย่างแก๊ส (sample loop) ก่อนการฉีดเข้าเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมนั้น จะทำโดยการเปลี่ยนแปลงเฉพาะพารามิเตอร์ที่ศึกษาและคงที่พารามิเตอร์อื่นๆไว้ และทำซ้ำอย่างน้อย 5 ซ้ำ ช่วงที่ใช้ในการศึกษาของแต่ละพารามิเตอร์นั้นจะขึ้นกับผลการศึกษาเบื้องต้นเป็นหลัก

- 4.2 สร้างกราฟเทียบมาตรฐาน (Calibration Curve) เพื่อใช้ในการกำหนดปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถตรวจพบได้ในสภาพอากาศปกติ (ambient air) ของจังหวัดภูเก็ต

- 4.3 ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการกับเครื่องเก็บตัวอย่างที่ขายในเชิงพาณิชย์ (®SKC Ultra Passive Sampler) โดยนำเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศทั้งสองชนิดมาใช้ในการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่มีปริมาณ BTEX แตกต่าง 2 พื้นที่ และทำการศึกษาประสิทธิภาพในแง่ปริมาณสารที่วัดได้
- 4.4 กำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างในสถานที่ซึ่งมีกิจกรรมทางเศรษฐกิจหนาแน่น 5 พื้นที่ ได้แก่ สถานีขนส่งผู้โดยสาร ตลาดสด ท่าเรือรษฎา สีแยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต และโรงเผาขยะ
- 4.5 ศึกษาความแตกต่างระหว่างตำแหน่งต่างๆของจุดแขวนตัวอย่างในสถานที่ซึ่งมีกิจกรรมหนาแน่นทั้ง 5 พื้นที่
- 4.6 ทำการศึกษากการกระจายตัวของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่เขตอำเภอเมืองและตำบลป่าตองโดยเก็บตัวอย่างอากาศในทั้งสองพื้นที่เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณและการกระจายตัวของสารอินทรีย์ชนิดต่างๆในเขตเมืองและเขตท่องเที่ยวแบบชายหาด ความสูงของจุดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างจะเลือกเก็บที่ 1.5 เมตร เนื่องจากเป็นระยะเฉลี่ยระดับการหายใจของมนุษย์ (European Commission, 2000) โดยจะเน้นพื้นที่ที่มีกิจกรรมหนาแน่น เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล ตลาด คิวรถประจำทาง สถานีขนส่งและสถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ตรวจพบตามพื้นที่ต่างๆจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณที่วัดได้จากพื้นที่ควบคุม (background area) ซึ่งห่างจากจุดกำเนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายเพื่อยืนยันความใช้ได้ของข้อมูล ตัวอย่างอากาศจะถูกเก็บ ช่วงเวลาตามผลการศึกษาในข้อ 4.4 โดยเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่อง เป็นระยะเวลาระยะเวลา 1 ปี เพื่อศึกษาผลของฤดูกาล (ฤดูร้อน-ฤดูฝน) และฤดูท่องเที่ยว (ใน-นอกฤดู)

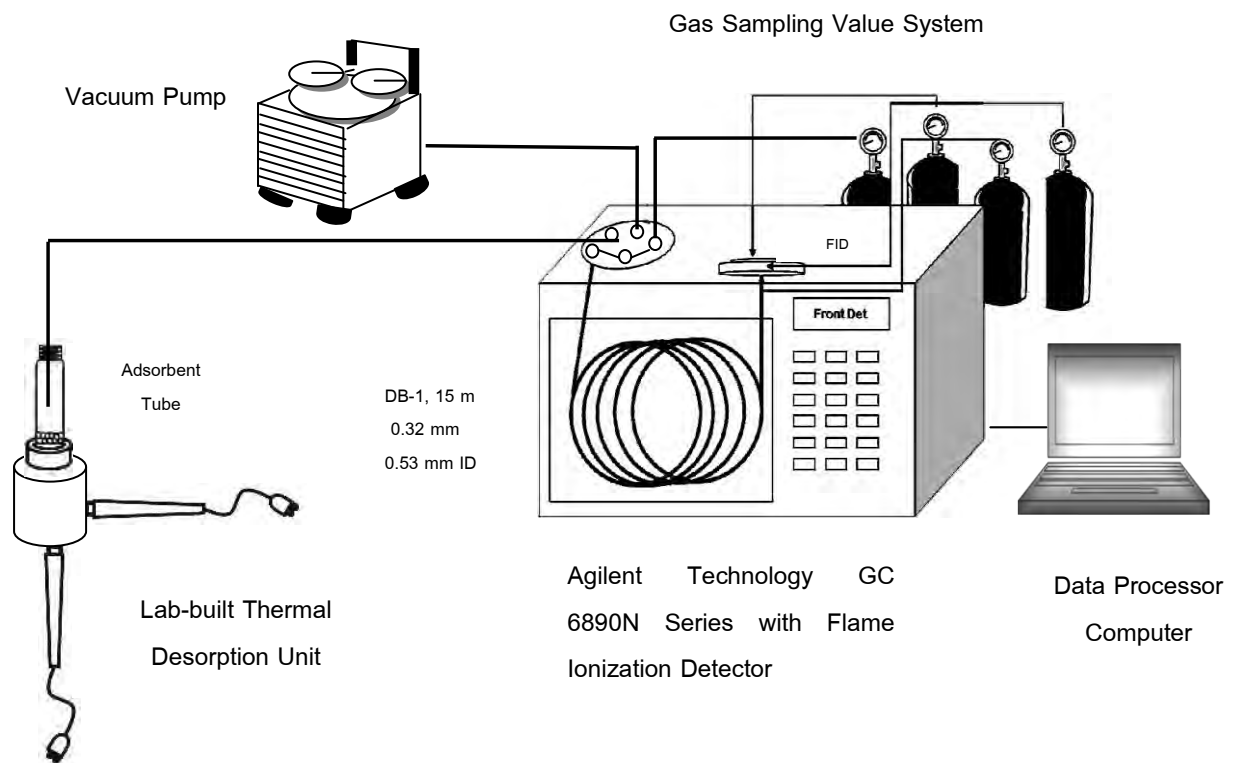
5. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผลการศึกษา

5.1 การเตรียมระบบการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดตัวตรวจวัดเฟรมไอออไนเซชัน (GC-FID)

ระบบสำหรับการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย แสดงดังรูปที่ 1 โดยจะประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- หลอดบรรจุตัวดูดซับปิดด้วยจุกยาง (Septum)
- อุปกรณ์คายการดูดซับด้วยความร้อนซึ่งสร้างเองในห้องปฏิบัติการ (Lab-built Thermal Desorption Unit) ทำจากแท่งทองเหลืองต่อเข้ากับหัวบัตกรีจำนวน 2 ตัวสามารถให้อุณหภูมิสูงสุด 230 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดเดือดของสารไซลีน (xylene) ซึ่งเป็นสารที่มีจุดเดือดสูงสุดในกลุ่มของสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ทำการศึกษา (จุดเดือดเฉลี่ยประมาณ 138.5 องศาเซลเซียส)

- ปั๊มสุญญากาศ (vacuum pump) เพื่อใช้ในการนำสารเข้าสู่วาล์วเก็บตัวอย่างแก๊ส (Gas Sampling Valve) ของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ
- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดตัวตรวจวัดเฟรมไอออนไนเซชัน (Gas Chromatograph with Flame Ionization Detector)



รูปที่ 1 ระบบสำหรับวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย

ระบบดังกล่าวจะมีความแม่นยำ (precision) สูง ($\%RSD < 5\%$) เนื่องจากการนำสารเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟจะเป็นระบบออนไลน์ผ่านการทำงานของปั๊มสุญญากาศและวาล์วเก็บตัวอย่างแก๊ส ซึ่งแตกต่างระบบการวิเคราะห์แบบเดิม (Thammakhet, 2006) ที่ใช้เข็มฉีดยา (syringe) ในการนำสารเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากผู้วิเคราะห์ (human error) ได้

5.2 การกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการกำหนดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย

- (a) สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยใช้ เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสภาวะที่เหมาะสม คือ การให้สัญญาณ

การตอบสนองสูง ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นและมีการแยกกันของพีคของสารอินทรีย์แต่ละชนิด (High Resolution) จากผลการศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิด ตัวตรวจวัดเฟรมไอออนไนเซชัน และสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างโดยใช้ อุปกรณ์คายการดูดซับด้วยความร้อนจะถูกแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมและการวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย

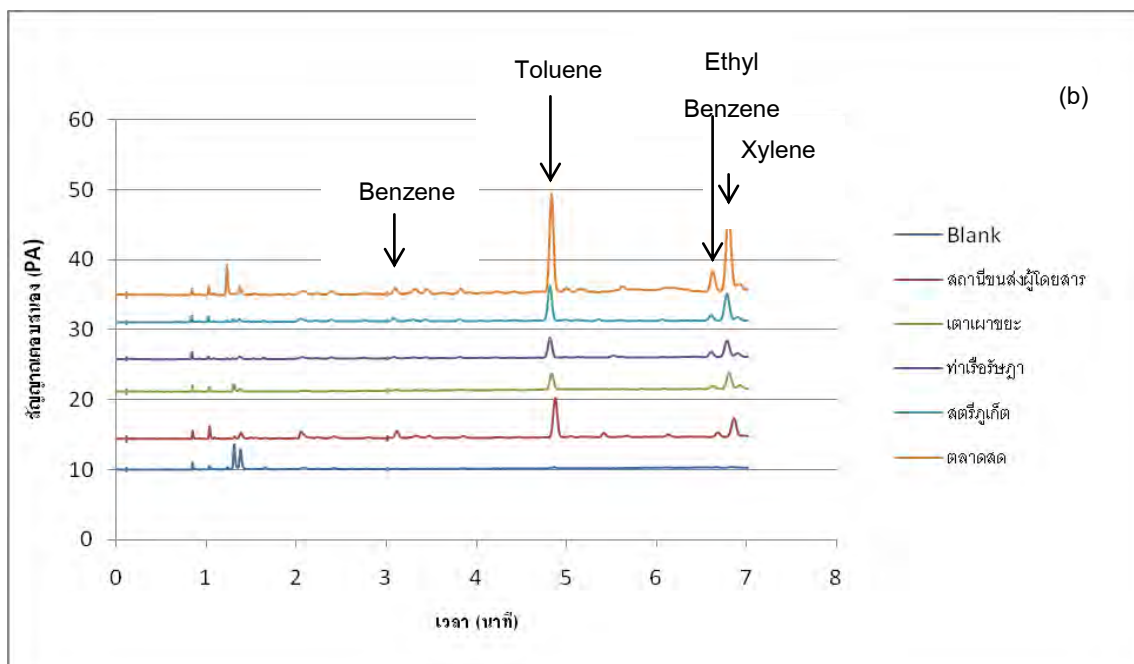
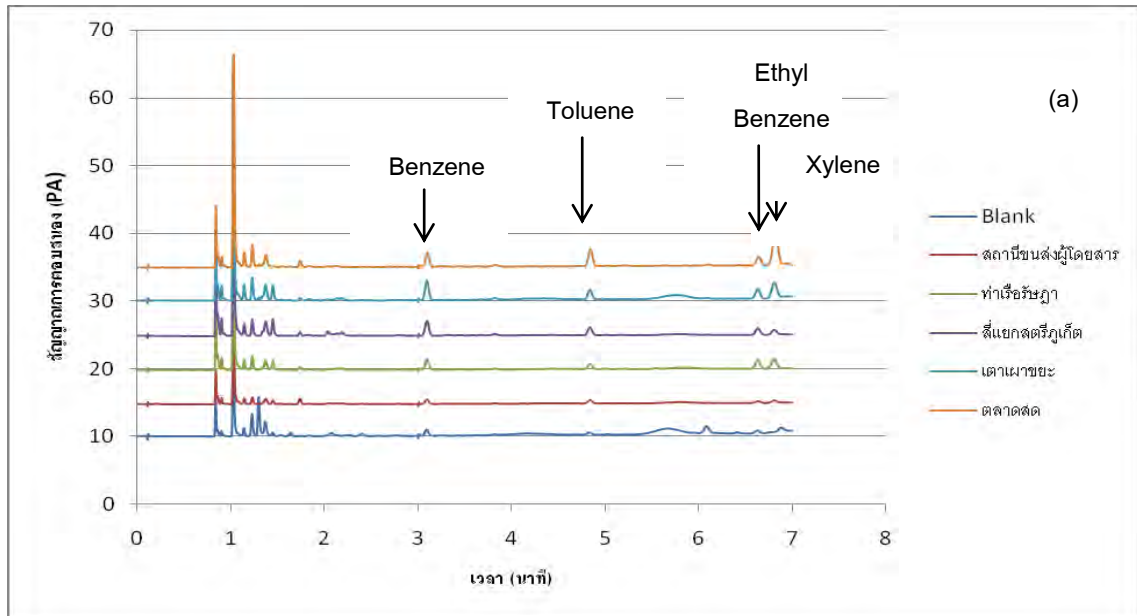
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์	ช่วงการศึกษา	สภาวะที่เหมาะสม
อัตราการไหลของแก๊สพาหีเลียม (มิลลิลิตรต่อนาที)	4-12	6
อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิงไฮโดรเจน (มิลลิลิตรต่อนาที)	25-40	35
อัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนที่ออกซิเจน (มิลลิลิตรต่อนาที)	250-400	300
อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน (make-up gas) (มิลลิลิตรต่อนาที)	15-35	30
อุณหภูมิคอลัมน์		
อุณหภูมิเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)	40-60	45
เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น (นาที)	0-3	1
อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียสต่อนาที)	5-20	10
อุณหภูมิสุดท้าย (องศาเซลเซียส)	90-120	100
เวลาที่คงที่ไว้ที่อุณหภูมิสุดท้าย (นาที)	1-4	1
อุณหภูมิวาล์วเก็บตัวอย่างแก๊ส (Gas Sampling Value) (องศาเซลเซียส)	150-180	160
อุณหภูมิตัวตรวจวัด (องศาเซลเซียส)	240-270	150
เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง (นาที)	0.5-2	1

(b) การสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration Curve)

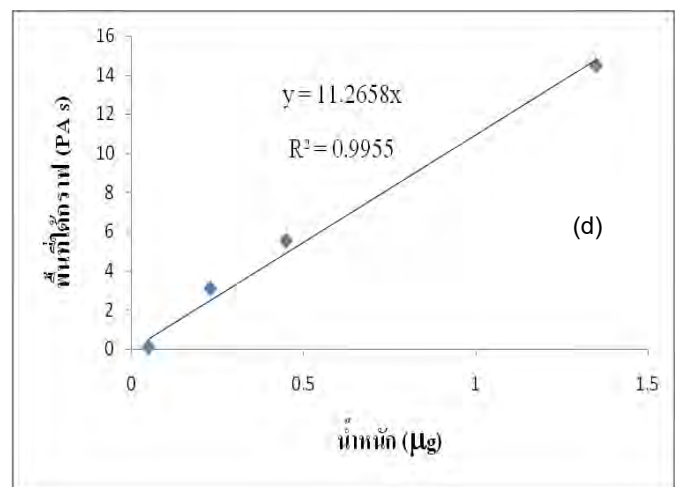
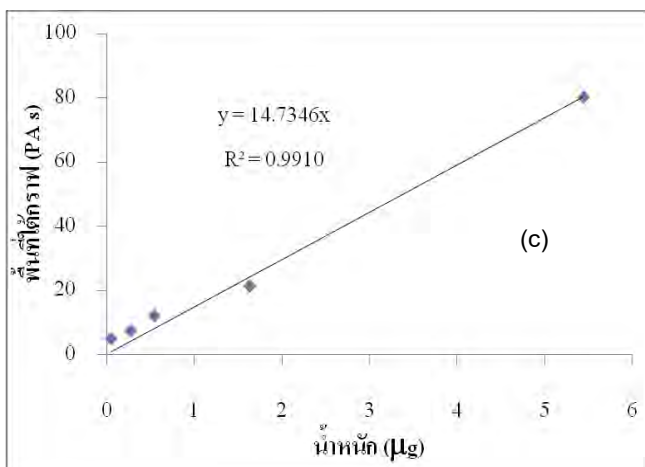
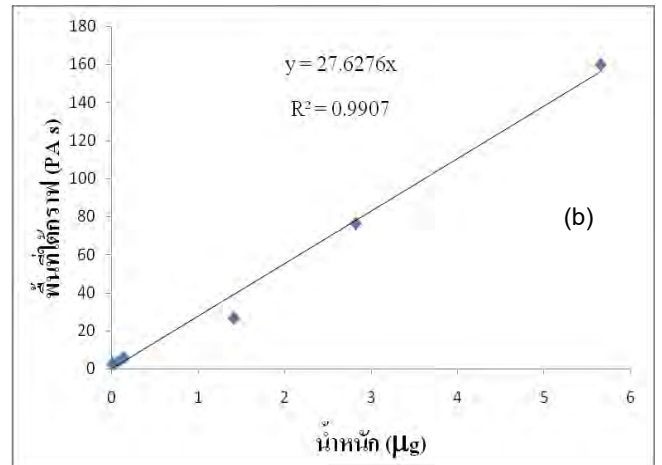
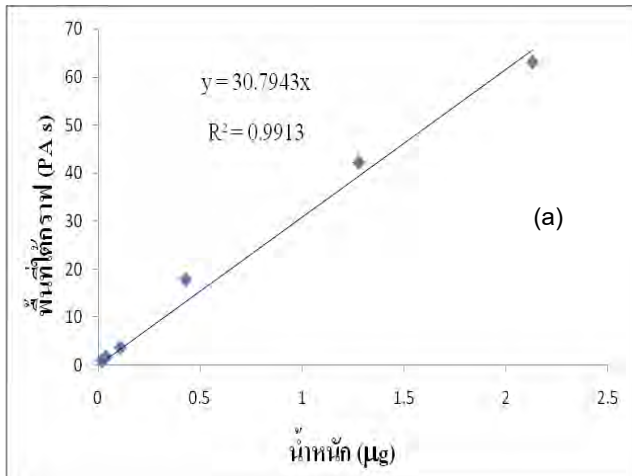
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา เบื้องต้นเพื่อกำหนดชนิดสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่ปนเปื้อนในอากาศในพื้นที่เขตอำเภอเมือง จ.ภูเก็ต โดยนำตัวดูดซับ 2 ชนิด คือ Tenax TA ซึ่งเหมาะกับสารอินทรีย์จำพวกที่มีจุดเดือดสูง สารที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นเอมีนและแอลกอฮอล์ และตัวดูดซับชนิด Porapak P ซึ่งเหมาะกับสารจำพวกคาร์บอนิล ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 พบว่า โครมาโตแกรมที่ได้จากตัวดูดซับทั้งสองชนิดแสดงให้เห็นว่าในบรรยากาศ (ambient air) ของอำเภอเมืองจะปนเปื้อนไปด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่ายทั้งสิ้น 4 ชนิด ได้แก่ เบนซีน โทลูอิน เอทิลเบนซีน และไซลีน (BTEX) ดังนั้นในการศึกษาส่วนถัดไปจึงมุ่งเน้นไปที่สารอินทรีย์ 4 ชนิดนี้ และเนื่องจากสัญญาณการตอบสนองที่ได้รับจากตัวดูดซับชนิด Tenax TA มีค่าสูงกว่าที่ได้รับจาก Porapak P ซึ่งบ่งชี้ว่า Tenax TA มีประสิทธิภาพในการดูดเก็บสารที่มากกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวดูดซับชนิด Tenax TA เป็นหลัก

จากการตรวจสอบเอกสารเบื้องต้น พบว่าระดับของ BTEX ที่พบในบรรยากาศทั่วไปจะมีปริมาณค่อนข้างที่ต่ำถึง ppb_v และ ppt_v ดังนั้นกราฟเทียบมาตรฐานจึงถูกเตรียมในระดับไมโครกรัมเพื่อให้ครอบคลุมในช่วงความเข้มข้นดังกล่าว โดยกราฟมาตรฐานของสาร BTEX ที่ได้จะมีค่า correlation coefficient มากกว่า 0.99 และแสดงไว้ในรูปที่ 3



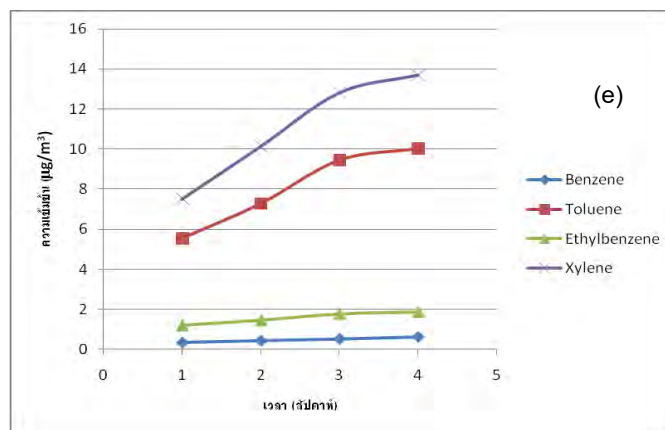
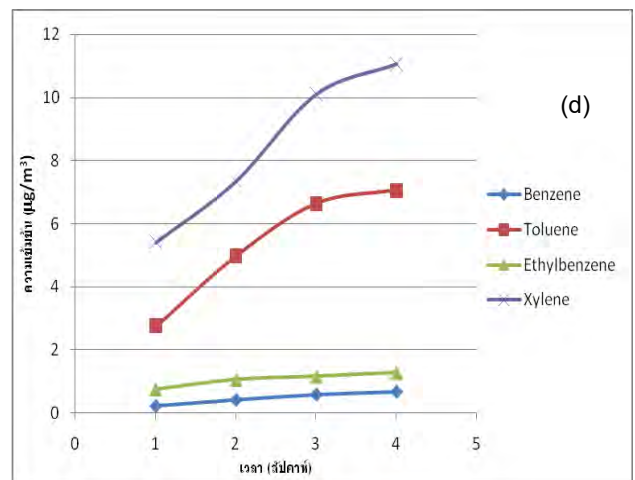
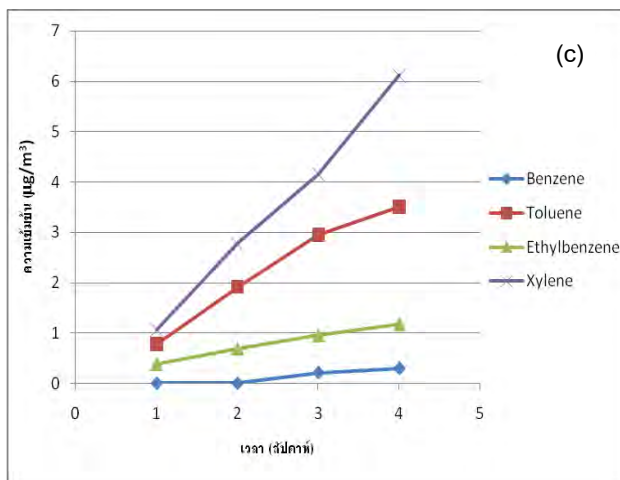
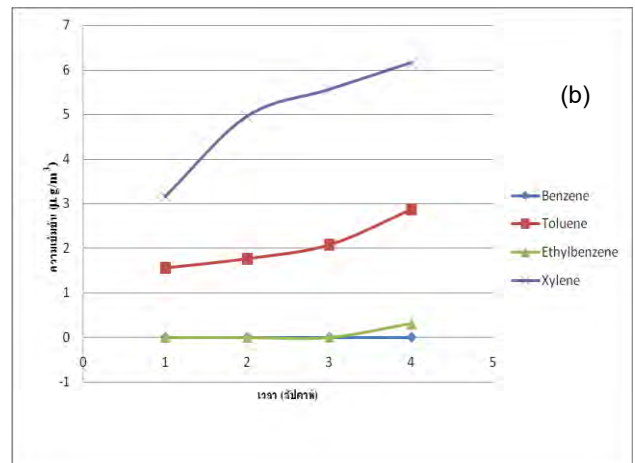
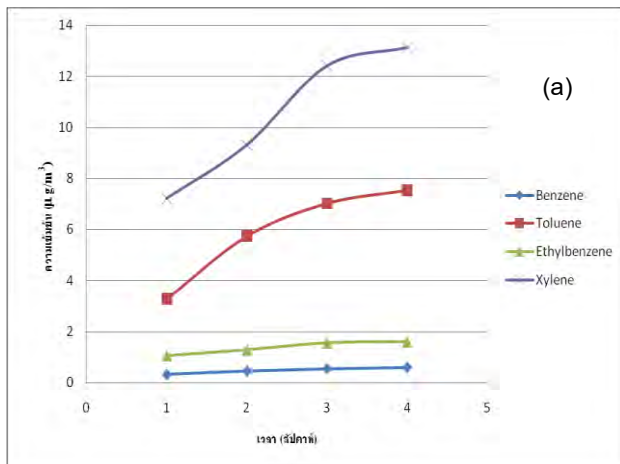
รูปที่ 2 การศึกษาเบื้องต้นเพื่อกำหนดชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศเขตอ.เมือง จ.ภูเก็ต โดยใช้ตัวดูดซับ (a) Porapak P (b) Tenax TA



รูปที่ 3 กราฟเทียบมาตรฐาน (Calibration Curve) สำหรับสาร (a) เบนซีน (b) โทลูอิน (c) เอทิลเบนซีน (d) ซาลิซิน

5.3 กำหนดช่วงที่เวลาที่เหมาะสมในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง

ในงานวิจัยนี้ จะเลือกทำการศึกษาในพื้นที่ที่มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจรูปแบบต่างๆ 5 พื้นที่ ได้แก่ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดภูเก็ต ตลาดสด ท่าเรือ รัชฎา สีแยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต และ โรงเผาขยะ ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ความเข้มข้นของสารกับระยะ เวลาในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศ ในพื้นที่ (a) สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดภูเก็ต (b) เตาเผาขยะมูลฝอย (c) ท่าเรือรัชฎา (d) สีแยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต (e) ตลาดสด

จากผลการศึกษาในรูปที่ 4 พบว่า ในแต่ละพื้นที่จะให้ผลของเวลาที่เหมาะสม ในการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่แตกต่างกัน กล่าวคือเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง ณ สถานีขนส่งผู้โดยสาร ตลาดสด และสี่แยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต คือ 3 สัปดาห์ สำหรับสารอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด ส่วนที่โรงเผาขยะและท่าเทียบเรือรษฎา คือ 4 สัปดาห์ ทั้งนี้อาจ เนื่องจากทั้งบริเวณโรงเผาขยะและท่าเทียบเรือตรวจพบปริมาณสารอินทรีย์ค่อนข้างน้อย ทำให้ ตัวดูดซับ Tenax TA ยังมีความจุ (capacity) เหลืออยู่เพียงพอที่ดูดซับสารอินทรีย์ได้ อีกใน สัปดาห์ที่ 4 ขณะที่บริเวณอีก 3 พื้นที่ที่เหลือ ปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนในอากาศมาก ตัวดูดซับจึงมีความจุเหลือไม่มาก ทำให้การดูดซับในสัปดาห์ที่ 4 ไม่เพิ่มขึ้นมากนักเมื่อเทียบกับ สัปดาห์ที่ 3 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการศึกษาในขั้นตอนต่อไปในเรื่องการ กระจายตัวของสารอินทรีย์นั้น จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาเดียวกันทุกจุด และช่วงเวลา 4 สัปดาห์นั้น เป็นช่วงที่ยาวนานเกินไป สำหรับการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ จึงเลือก ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมเป็น 3 สัปดาห์

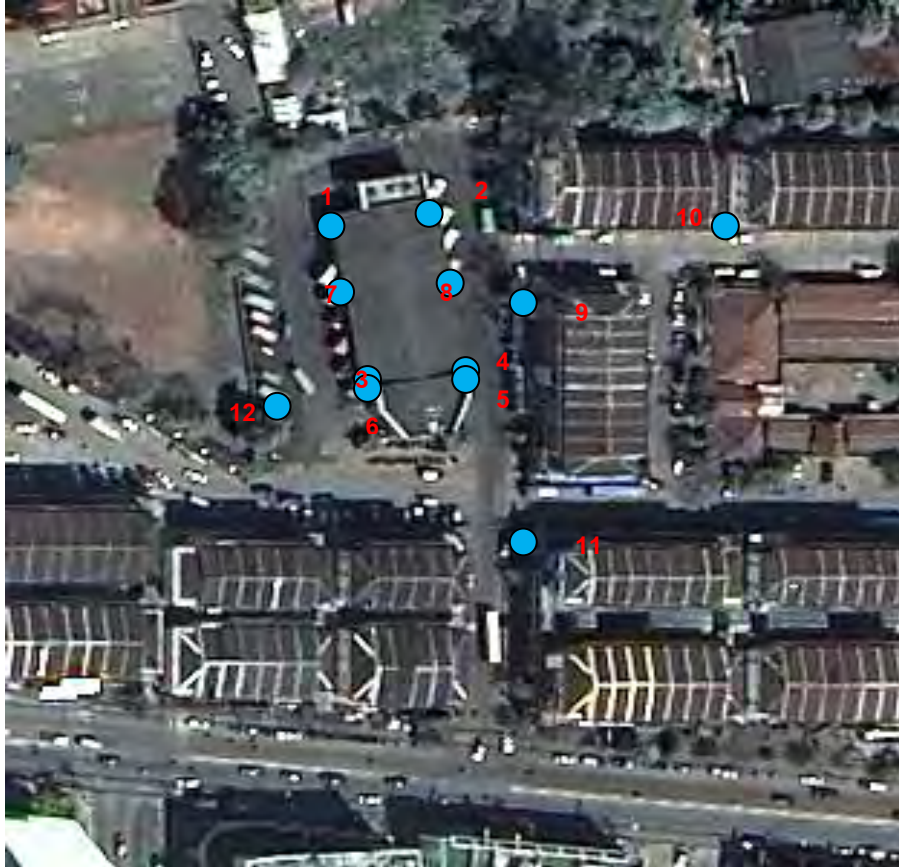
5.4 ศึกษาความแตกต่างระหว่างตำแหน่งต่าง ๆ ของจุดแขวนตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้เลือกพื้นที่ศึกษา 5 พื้นที่เช่นเดียวกับการศึกษาในตอนที่ผ่านมา ได้แก่ สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดภูเก็ต ตลาดสด สี่แยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต โรงเผาขยะและท่าเรือรษฎา โดยผลการศึกษามีดังนี้

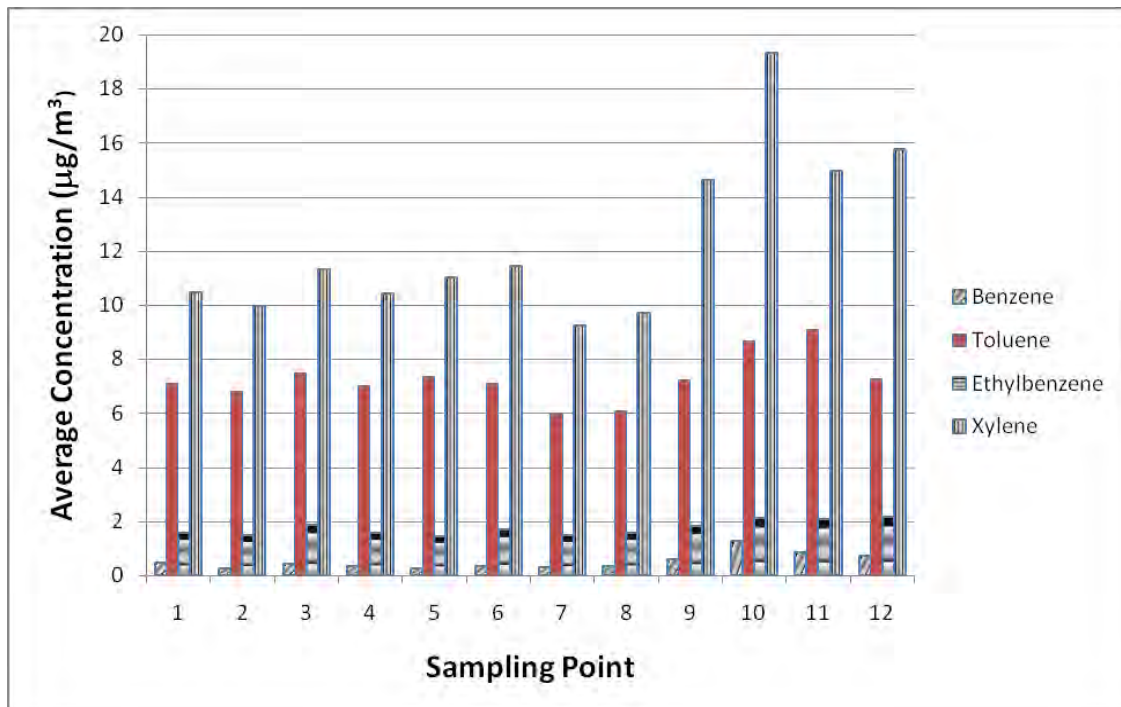
(a) สถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดภูเก็ต

ผู้วิจัยได้แบ่งจุดแขวนตัวอย่างเป็น 11 จุด โดยจุดที่ 1-8 นั้นจะเป็นจุดเก็บตัวอย่างภายใน ตัวอาคารผู้โดยสาร ส่วนจุดที่ 9-12 จะเป็นบริเวณโดยรอบอาคารผู้โดยสาร ซึ่งแผนที่จุดเก็บ ตัวอย่างทั้งหมดนั้นแสดงไว้รูปที่ 5 และผลการศึกษาปริมาณของสาร BTEX ที่จุดต่างๆแสดงดัง รูปที่ 6

จากผลการศึกษา (รูปที่ 6) พบว่าบริเวณรอบนอกของอาคารผู้โดยสาร (จุดที่ 9-12) จะมี ปริมาณสาร BTEX ในอากาศสูงกว่าภายในตัวอาคารผู้โดยสาร ทั้งนี้เป็นผลมาจากลักษณะการ จอดของรถประจำทาง ซึ่งหันส่วนของท่อไอเสียออกนอกอาคารฯ จึงทำให้ปริมาณสารอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดภายนอกตัวอาคารจึงสูงกว่าภายในตัวอาคาร โดยจุดที่มีปริมาณสารปนเปื้อนสูงสุดคือจุด ที่ 10 ซึ่งมีระยะทางห่างจากตัวอาคารมากที่สุดเมื่อเทียบกับจุดอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากทิศทางลม ของจังหวัดภูเก็ตในช่วงเดือนกันยายนที่เก็บตัวอย่างนั้น เป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ทำให้ สารอินทรีย์พัดไปสะสมในจุดดังกล่าว อีกทั้งลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่เปิด ระหว่างอาคารบ้านเรือน ทำให้กระแสพัดแรง การสะสมของสารอินทรีย์จึงมีมากในบริเวณ ดังกล่าว



รูปที่ 5 ภาพถ่ายดาวเทียม QUICKBIRD แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ของสถานีขนส่ง
ผู้โดยสารจังหวัดภูเก็ต



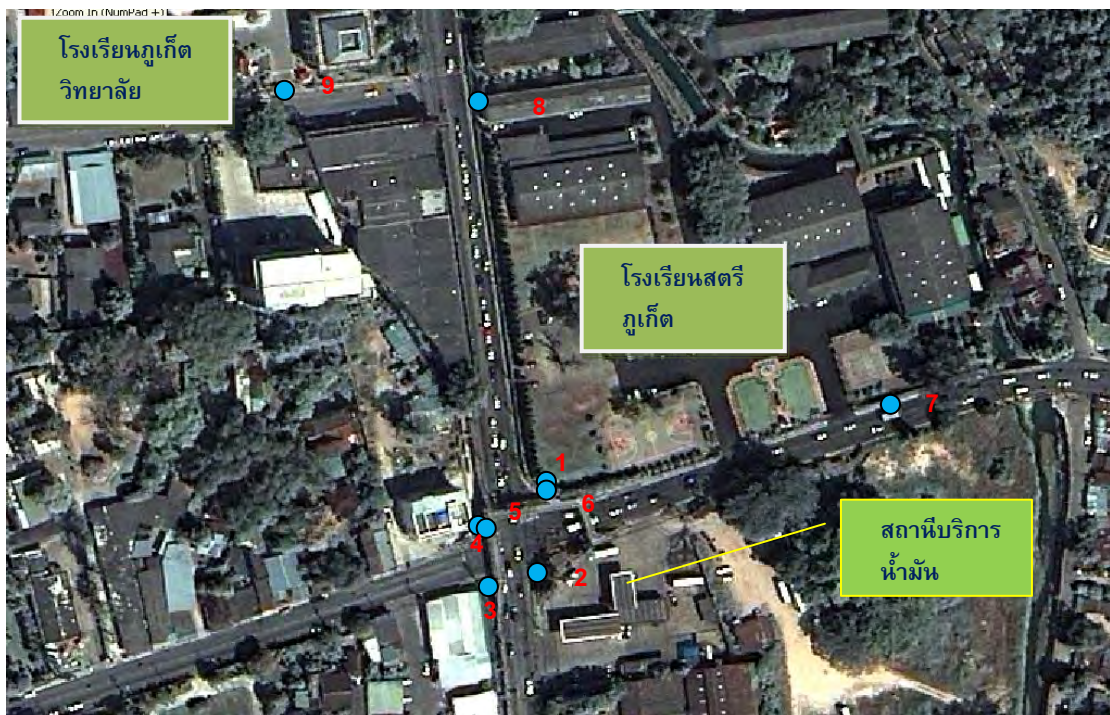
รูปที่ 6 ปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจพบ ณ . จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ของสถานีขนส่ง
ผู้โดยสารจังหวัดภูเก็ต

สำหรับภายในอาคารผู้โดยสารนั้น แทบจะไม่มี ความแตกต่างระหว่างจุดต่างๆภายในอาคาร โดยจุดที่ 7 กับ 8 จะมีปริมาณสาร BTEX ต่ำกว่าจุดอื่นๆเพียงเล็กน้อย เนื่องจากจุดดังกล่าวตรงกับพื้นที่ถนนด้านข้าง ทำให้ลักษณะเป็นพื้นที่เปิด กระแสลมจึงพัดผ่านได้ดี (ซึ่งสารจะไปสะสมที่จุด 10 ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว) ปริมาณสารอินทรีย์ในจุดนี้จึงต่ำกว่าจุดอื่นๆ

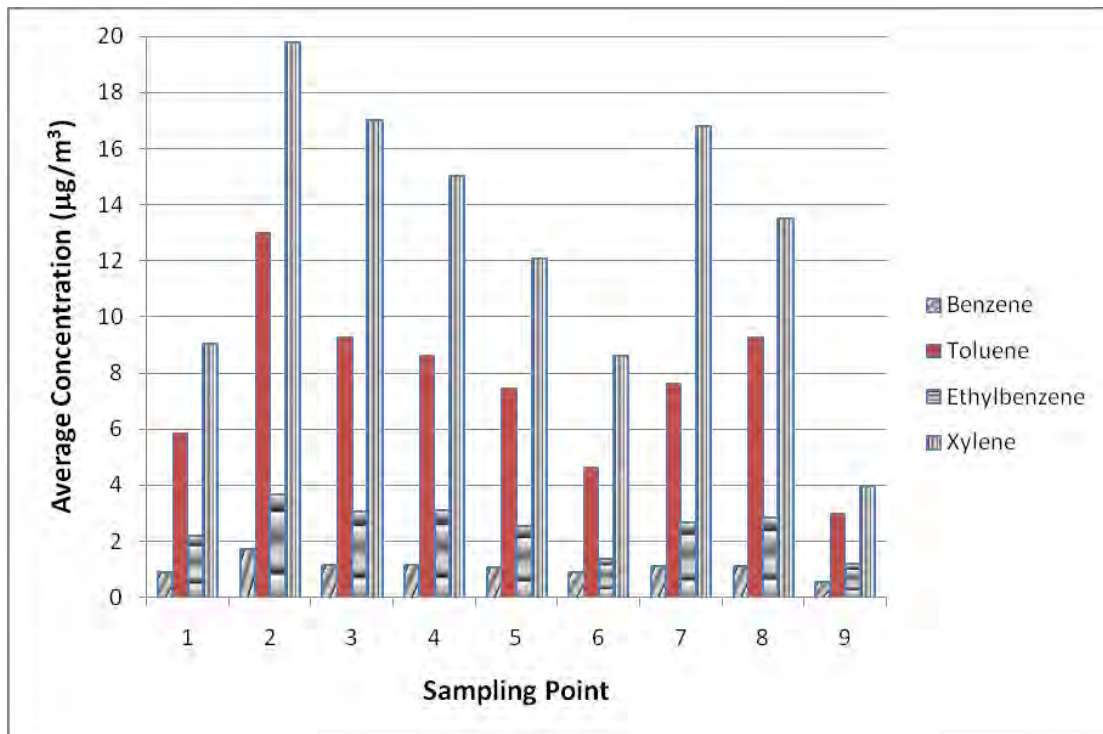
นอกจากนี้ ในการศึกษาเรื่องจุดแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างครั้ง นี้ ยังได้มีผลการศึกษาผลของความสูงต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่เก็บได้ โดยทำการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีความสูงต่างกัน 3 เมตร กล่าวคือ จุดที่ 5 และ 6 ได้ทำการแขวนที่บริเวณความสูงเหนือจุดที่ 4 และ 3 ตามลำดับ ประมาณ 3 เมตร จากผลการศึกษาในรูปที่ 6 พบว่าแทบจะไม่มี ความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์ที่ตรวจวัดได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความสูงของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างไม่มีปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจวัดได้ในระยะ 1.5 - 3 เมตร

(b) สี่แยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต

ผู้วิจัยได้แบ่งจุดแขวนตัวอย่างเป็น 9 จุด โดยจุดที่ 1-6 นั้นจะครอบคลุมถนนทุกด้านของสี่แยก และจุดที่ 7 - 8 ถูกเลือกเพื่อศึกษาความแตกต่างของปริมาณสารอินทรีย์รอบโรงเรียนสตรีภูเก็ตและจุดที่ 9 ถูกเลือกเพื่อเปรียบเทียบพื้นที่โรงเรียนซึ่งห่างไกลจากอิทธิพลของปริมาณมลสารจากสี่แยก โดยแผนที่จุดเก็บตัวอย่างแสดงไว้ในรูปที่ 7 ส่วนปริมาณสาร BTEX ที่วัดได้จะแสดงไว้ในรูปที่ 8



รูปที่ 7 ภาพถ่ายดาวเทียม QUICKBIRD แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่สี่แยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต



รูปที่ 8 ปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจพบ ณ. จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่สี่แยกโรงเรียนสตรีภูเก็ต

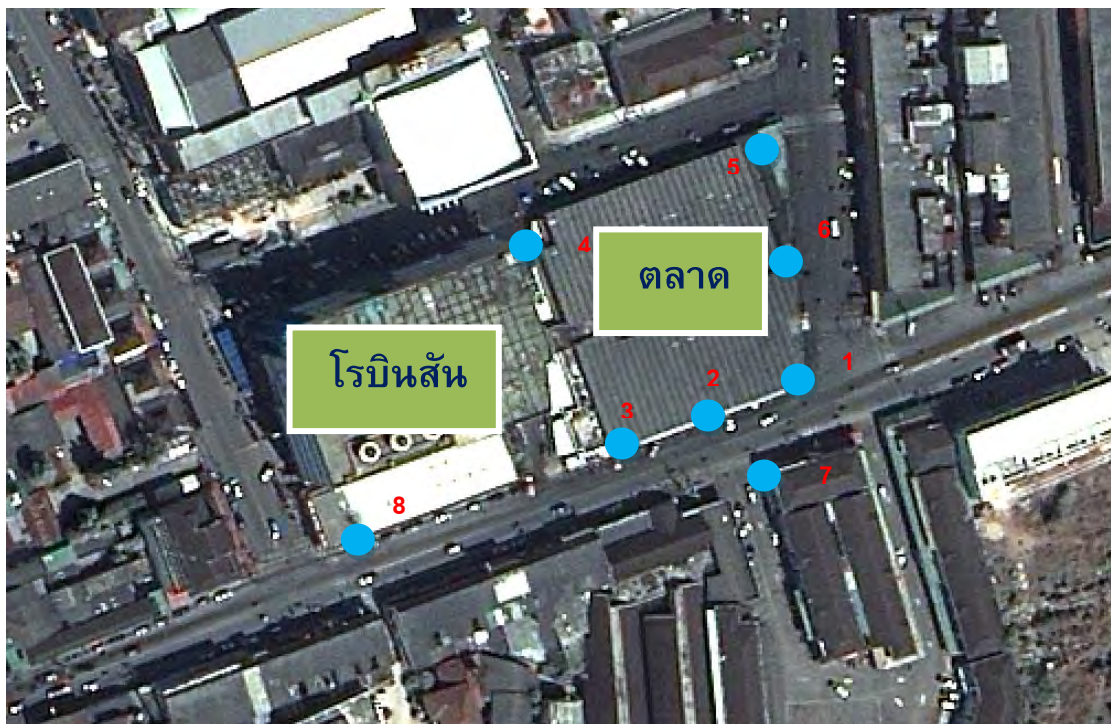
จากผลการศึกษาในรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า สาร BTEX จะมีปริมาณสูงสุดในจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ใกล้กับสถานีบริการน้ำมันมากที่สุด จึงมีการปนเปื้อนของสาร BTEX จากไอระเหยของน้ำมันโดยตรง ในขณะที่จุดอื่นปริมาณสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะมาจากส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ของน้ำมัน ของรถยนต์ เป็นที่น่าสังเกตว่า จุดที่ 3-5 มีปริมาณสาร BTEX สูงกว่าจุดที่ 1 และ 6 เนื่องจากบริเวณจุดที่ 3-5 นั้นอยู่ติดอาคารสูงซึ่งอาจบดบังทิศทางของกระแสลมได้ นอกจากนี้ ลักษณะถนนบริเวณจุดที่ 1 และ 6 มีลักษณะโค้งงอ ทำให้ถนนมีความกว้างกว่าจุดอื่น อุปกรณ์ กับตัวอย่างจึงตั้งอยู่ห่างไกลถนนกว่าจุดอื่น ทำให้ปริมาณสาร BTEX แพร่เข้าสู่ตัวดูดซับได้น้อย ดังนั้นปริมาณสารที่ตรวจวัดที่จุด 1 และ 6 จึงน้อยกว่าจุดอื่นๆ รอบสี่แยกฯ

เมื่อพิจารณาจุดอื่นๆรอบโรงเรียนสตรีภูเก็ต จะพบว่าจุดที่ 7 มีปริมาณสาร BTEX สูงใกล้เคียงกับบริเวณสี่แยกฯ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของกระแสลมในช่วงที่ทำการศึกษานี้ ซึ่งอยู่ในช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จึงทำให้มีสาร BTEX บางส่วนถูกพัดมาจากสี่แยกและสถานีบริการน้ำมันได้ นอกจากนี้ จุดเก็บตัวอย่างนี้ยังใกล้กับประตูทางเข้า -ออกของโรงเรียนมากกว่าจุดอื่น จึงทำให้ได้รับปริมาณสาร BTEX จากรถยนต์ที่เข้าออกเพิ่มเติมด้วย ส่วนจุดที่ 8 นั้น แม้ว่าจะอยู่ห่างไกลจากสี่แยกฯค่อนข้างมาก แต่ปริมาณสาร BTEX ก็ยังคงสูง ทั้งนี้เนื่องจากจุด

ที่ 8 นั้นเป็นจุดที่ตรงกับถนนชุมพรในลักษณะสามแพร่ง ทำให้ได้รับสาร BTEX จากถนนชุมพรด้วย ส่วนจุดที่ 9 ซึ่งเป็นจุดที่ไม่ได้รับอิทธิพลของสาร BTEX จากสี่แยกฯ ทำให้ตรวจพบสารในปริมาณน้อยที่สุด

(c) ตลาดสด

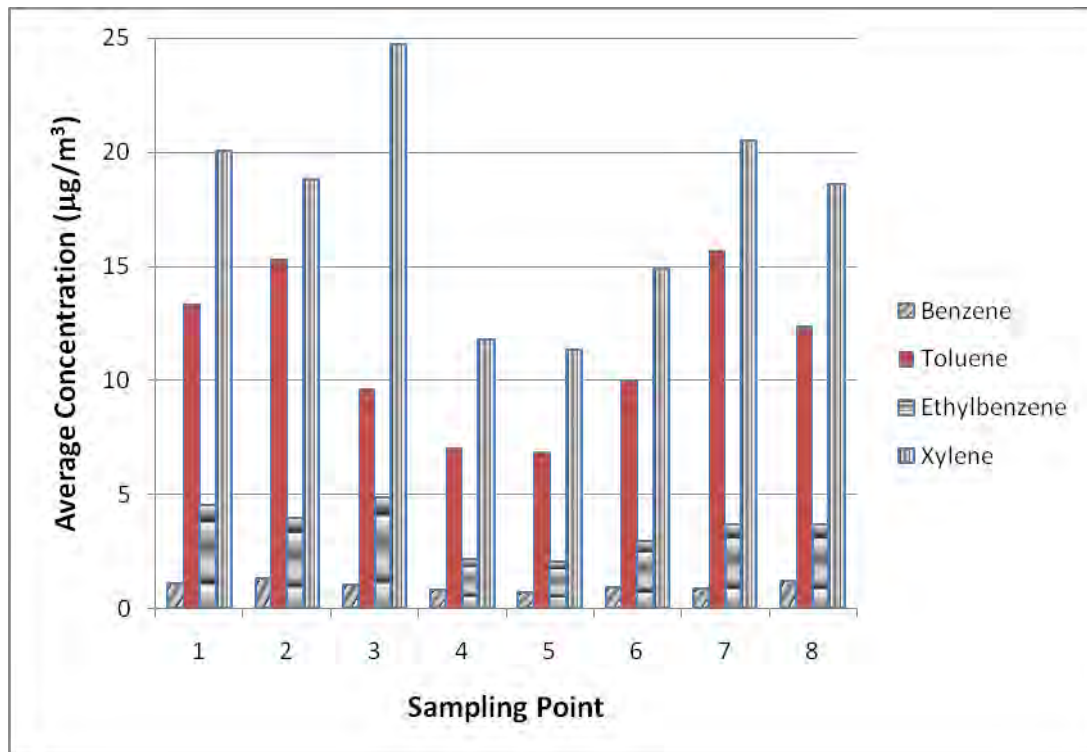
ในการศึกษานี้ ได้แบ่งจุดแขวนตัวอย่างออกเป็น 8 จุด (แสดงดังรูปที่ 9) โดยจุดที่ 1-6 จะเป็นจุดล้อมรอบอาคารตลาด ส่วนจุดที่ 7 เป็นบริเวณฝั่งถนนตรงข้ามของตลาดและจุดที่ 8 จะเป็นตัวแทนของบริเวณนอกพื้นที่ตลาดสด ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 9 ภาพถ่ายดาวเทียม QUICKBIRD แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ตลาดสด

จากรูปที่ 10 จะเห็นว่า บริเวณด้านถนนด้านทิศใต้ของตลาด (จุดที่ 1-3) จะมีปริมาณสาร BTEX สูงกว่าด้านอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากถนนด้านนี้มีปริมาณรถยนต์ที่หนาแน่น อีกทั้งยังมีร้านค้าและรถเข็นขายอาหารออกมาตั้งขายอย่างหนาแน่นในยามค่ำคืน ทำให้ปริมาณสาร BTEX สูงกว่าด้านอื่น โดยจุดที่ 2 จะมีปริมาณสารโทลูอินและเบนซีนสูงที่สุด เนื่องจากบริเวณที่ใกล้กับทางขึ้นลงตลาด แต่จุดที่ 3 จะมีปริมาณไซลีนสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากส่วนซ่อมบำรุงของห้างสรรพสินค้าโรบินสันที่อยู่ใกล้เคียง ส่วนจุดที่ 7 ซึ่งเป็นฝั่งตรงข้ามกับตลาดก็จะมีปริมาณสาร BTEX ใกล้เคียงกับจุดที่ 2 ซึ่งฝั่งอยู่ตรงข้าม เนื่องจาก บริเวณแถบนี้ถูกใช้เป็นพื้นที่จอดรถสำหรับลูกค้าของตลาดสดเช่นเดียวกัน สำหรับจุดที่ 8 นั้นจะมีปริมาณสาร BTEX

ใกล้เคียงกับจุดที่ 1 เนื่องจากเป็นบริเวณทางแยกถนน - ท้ายถนนเดียวกับจุดที่ 1 ปริมาณการจราจรจึงใกล้เคียงกัน ทำให้ปริมาณสาร BTEX ใกล้เคียงกันด้วย



รูปที่ 10 ปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจพบ ณ. จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่ตลาดสด

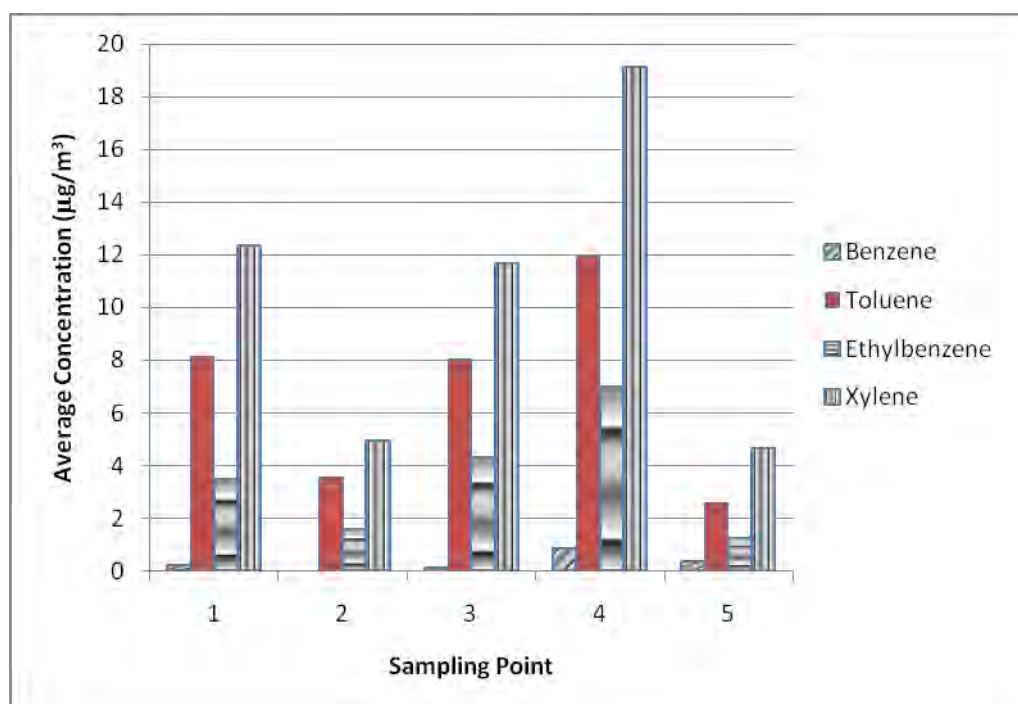
(d) ทำเรือร้ษฐฐฐฐ

ผู้วิจัยได้แบ่งจุดแขวนตัวอย่างเป็น 5 จุด (แสดงดังรูป 11) ได้แก่ บริเวณระเบียบทางเดินก่อนลงเรือ (จุดที่ 1-3) สถานีบริการน้ำมันสำหรับเรือ (จุดที่ 4) และบริเวณลานจอดรถ (จุดที่ 5) ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 12

จากผลการศึกษาในรูปที่ 12 จะเห็นได้ว่า ในบริเวณระเบียบทางเดิน ปริมาณสาร BTEX จะสูงที่บันไดทางขึ้นลงเรือ ได้แก่ จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 และ 3 อย่างไรก็ตาม ปริมาณสาร BTEX จะสูงที่สุด ณ. สถานีบริการน้ำมันสำหรับเรือ ส่วนจุดเก็บ ตัวอย่างบริเวณลานจอดรถนั้น (จุดที่ 5) จะมีปริมาณสาร BTEX ต่ำกว่าจุดอื่นๆ เนื่องจากทิศทางของกระแสลมพัดออกจากจุดนี้ออกสู่ทะเลด้วยความเร็วประมาณ 1.1 m/s



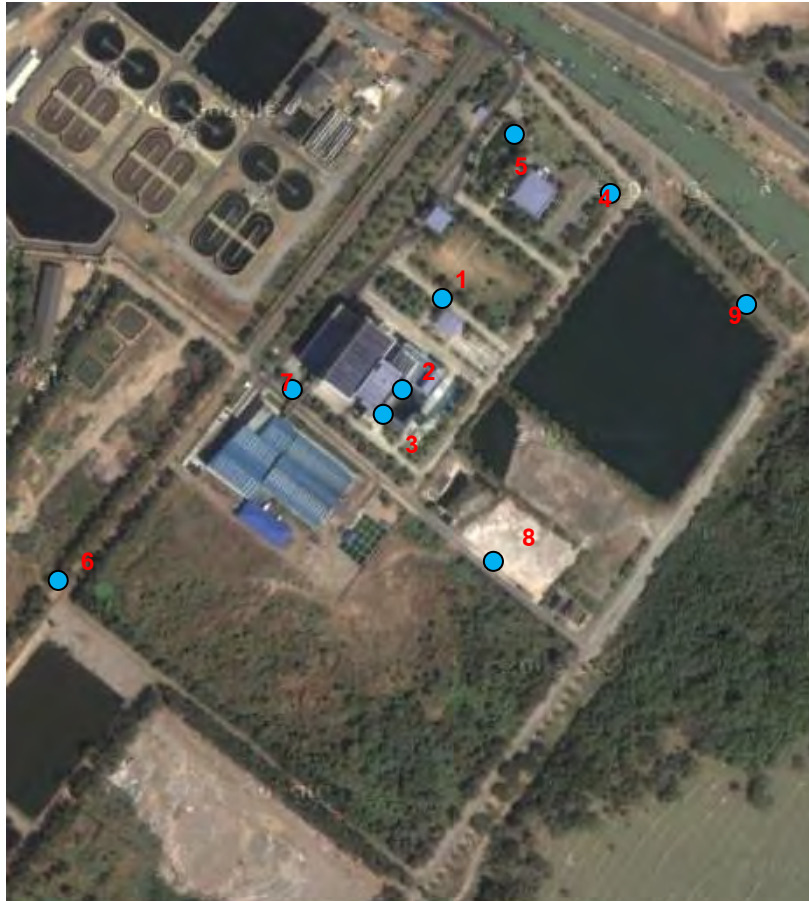
รูปที่ 11 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่บริเวณท่าเรือรักษา



รูปที่ 12 ปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจพบ ณ จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่บริเวณท่าเทียบเรือรักษา

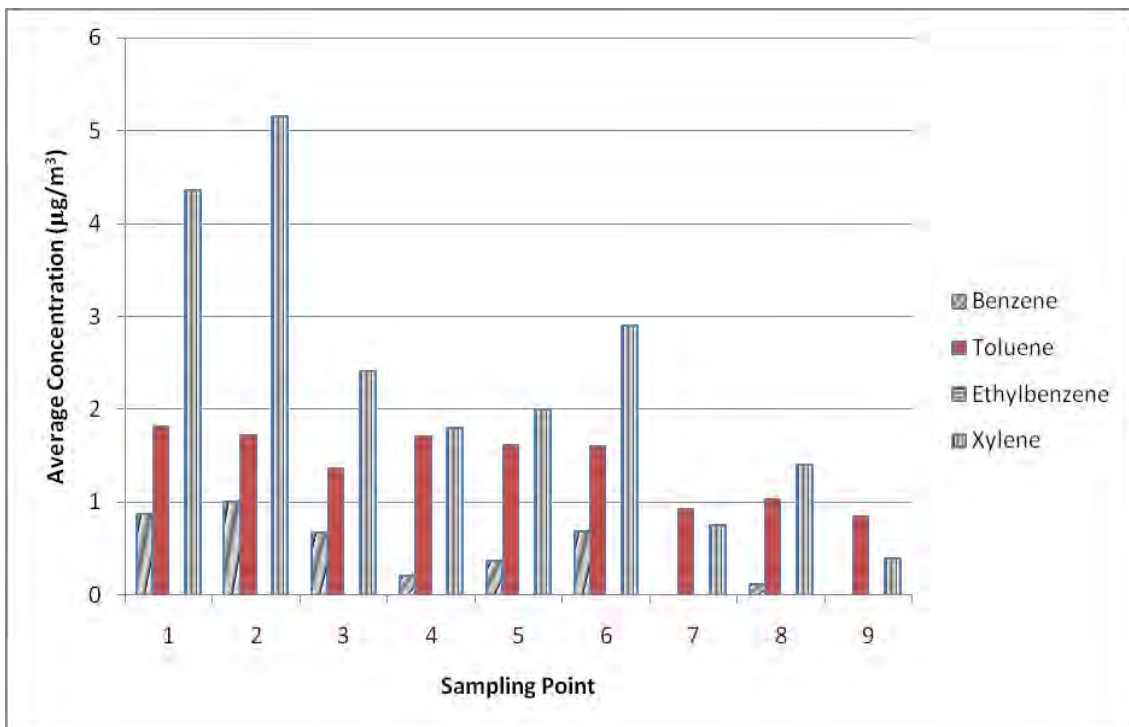
(e) เตาเผาขยะ

ในบริเวณโรงเผาขยะเทศบาลนครภูเก็ตนั้น ทางผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศทั้งสิ้น 9 จุด ประกอบไปด้วยจุดที่ 1-5 และ 7 จะเป็นบริเวณอาคารสำนักงานและเตาเผาขยะมูลฝอย จุดที่ 6 จะเป็นหลุมฝังกลบขยะ จุดที่ 8-9 เป็นพื้นที่โล่งและบ่อพักน้ำ โดยแผนที่จุดเก็บตัวอย่างจะแสดงดังรูปที่ 13 และผลการศึกษาก็จะแสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 13 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่บริเวณโรงเผาขยะ

จากผลการศึกษาในรูปที่ 14 พบว่า จุดเก็บตัวอย่างภายในบริเวณอาคารสำนักงานและเตาเผาขยะ (จุดที่ 1- 5) จะมีปริมาณสาร BTEX สูงกว่าบริเวณภายนอกอาคาร ยกเว้นจุดที่ 7 ซึ่งมีปริมาณสารน้อย เนื่องจากจุดนี้อยู่ในส่วนหนึ่งของโรงคัดแยกขยะซึ่งปัจจุบันปิดดำเนินการ จุดที่ 1 และ 2 จะเป็นจุดที่สารสูงที่สุด เนื่องจากจุดที่ 1 เป็นส่วนของโรงซ่อมบำรุงรถยนต์และจุดที่ 2 จะใกล้กับโรงจอดรถ ส่วนจุดที่ 6 นั้น แม้ว่าจะอยู่นอกอาคารสำนักงาน แต่ก็มีปริมาณสาร BTEX สูง อาจเป็นเพราะเป็นทางเข้าหลุมฝังกลบขยะ ทำให้มีรถเข้าออกตลอด อีกทั้งช่วงที่เก็บตัวอย่างเป็นช่วงเดือนตุลาคม ซึ่งมีอิทธิพลของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยมีความเร็วเฉลี่ยจากการวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลม (anemometer) ประมาณ 0.2 m/s



รูปที่ 14 ปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจพบ ณ . จุดเก็บตัวอย่างบริเวณพื้นที่บริเวณโรงเผาขยะ

5.5 ติดตามตรวจสอบ (montoring) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในพื้นที่อำเภอเมืองและชายหาดป่าตอง จังหวัดภูเก็ต

การศึกษาในส่วนนี้ จะทำการเก็บตัวอย่างทุก 3 สัปดาห์เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 1 ปี โดยเริ่มต้นจากเดือนธันวาคม 2552 เป็นต้นมา เพื่อให้ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงในฤดูกาลต่างๆ โดยได้ดำเนินการโดยการแขวนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างในพื้นที่ชายหาดป่าตองทั้งสิ้น 11 จุด พื้นที่อำเภอเมือง 29 จุด และอีก 1 จุดในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์อำเภอกะทู้เพื่อใช้เป็นพื้นที่เปรียบเทียบ (background area) โดยพื้นที่ดังกล่าวจะเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยที่มีการเข้าออกของรถยนต์น้อย รวมถึงเป็นพื้นที่ล้อมรอบด้วยเนินเขาทำให้มีกระแสลมพัดต่ำ เพื่อลดผลกระทบจากกระแสลม โดยจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดจะแสดงไว้ในรูปที่ 15-17 ซึ่งจะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าพื้นที่ศึกษาทั้งหมดนั้นอยู่ในละติจูดใกล้เคียงกัน

จากผลการศึกษาในรอบ 1 ปี (ธันวาคม 52 – พฤศจิกายน 53) จุดที่มีปริมาณสาร BTEX ปนเปื้อนสูงสุดในพื้นที่เขตชายหาดป่าตอง คือ จุดเก็บตัวอย่าง P2 กล่าวคือ เป็นจุดตั้งระหว่างถนนราษฎร์อุทิศและถนนบางลา ซึ่งบริเวณดังกล่าวเป็นย่านการค้าและที่ตั้งของ ห้างสรรพสินค้าจังซีลอน จึงเป็นบริเวณที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นที่สุดในพื้นที่หาดป่าตอง อีกทั้งถนนบางล่ายังถูกจัดให้เป็นถนนคนเดินในช่วงเวลากลางคืนอีกด้วย ส่วนจุดที่มีปริมาณสารอินทรีย์น้อย

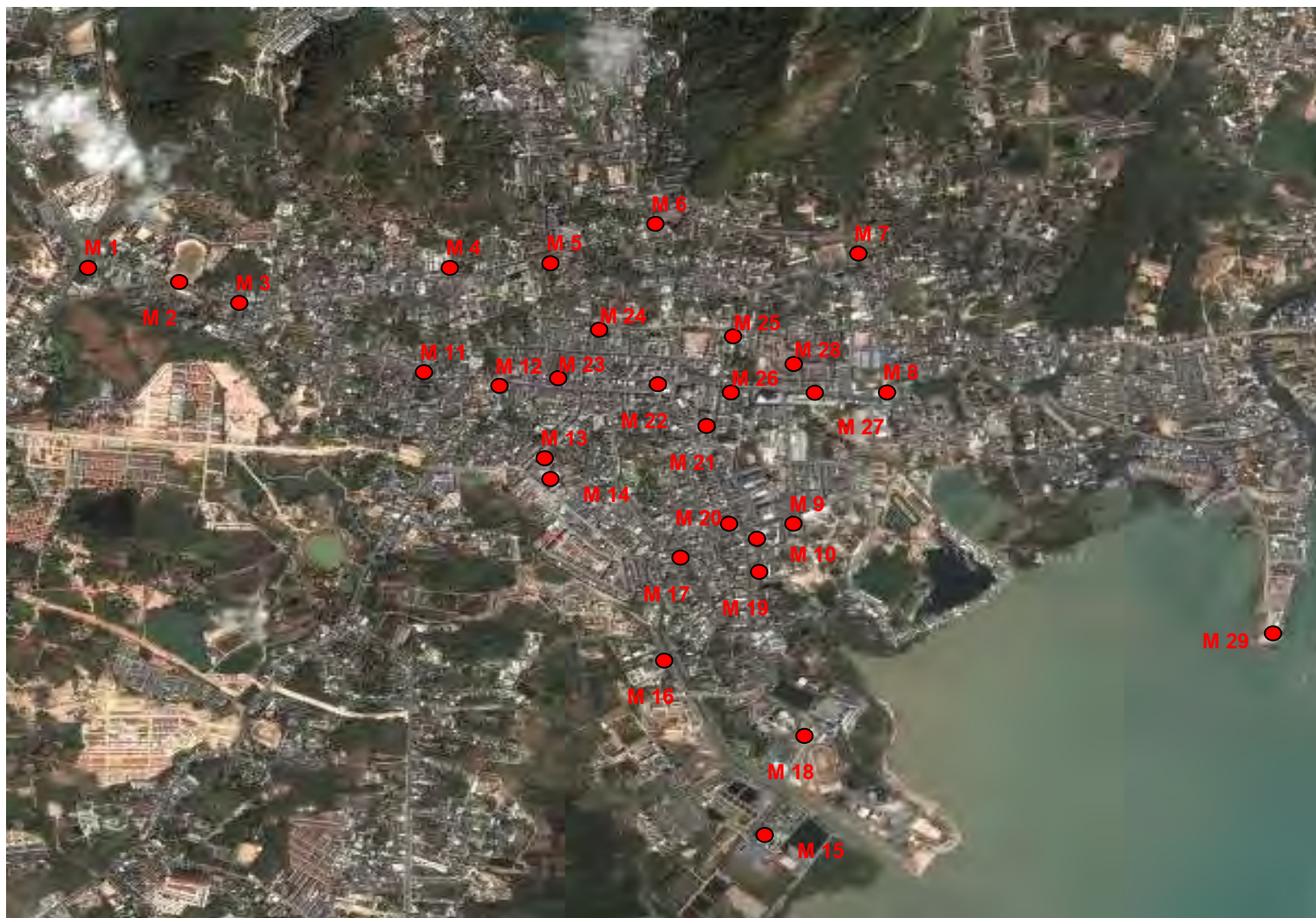
ที่สุด คือ จุด P3 หรือบริเวณปลายสุดถนนราชบุรีอุทิศ ซึ่งมีปริมาณการจราจรเบาบาง มีเพียง
โรงแรม 1 แห่งตั้งอยู่เท่านั้น เป็นที่น่าสังเกตว่า จุด P4 แม้จะเป็นบริเวณจุดจอดรถประจำทาง
แต่ก็มีปริมาณของสาร BTEX ต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นพื้นที่ดังกล่าวเป็นบริเวณที่ติดกับ
ทะเล ทำให้มีกระแสลมค่อนข้างแรง บริเวณที่มีปริมาณสารอินทรีย์ปานกลาง ได้แก่จุดเก็บ
ตัวอย่าง P7 P11และ P9 ซึ่งเป็นพื้นที่ทางแยกและตลาด แสดงให้เห็น ชัดว่าปริมาณสาร BTEX
นั้น สัมพันธ์กับกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์



รูปที่ 15 ภาพถ่ายดาวเทียมของจังหวัดภูเก็ต



รูปที่ 16 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณชายหาดป่าตอง



รูปที่ 17 ภาพถ่ายดาวเทียมแสดงจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่อำเภอจังหวัดภูเก็ต

เช่นเดียวกับพื้นที่ชายหาดป่าตอง ในพื้นที่อำเภอเมือง บริเวณที่มีปริมาณสารอินทรีย์ BTEX สูงสุด คือ จุดเก็บตัวอย่าง M13 ซึ่งเป็นสถานที่ตั้งของร้านซ่อมรถจักรยานยนต์ ทำให้มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและตัวทำละลายอินทรีย์มาก จึงปนเปื้อนสู่อากาศในปริมาณที่สูง นอกจากนี้ จุดที่มีปริมาณสาร BTEX สูงเป็นอันดับถัดมา ได้แก่ จุด M 10 และ M 20 ซึ่งเป็นบริเวณสี่แยกบางเหนียวที่มีการจราจรหนาแน่น อีกทั้งถนนบริเวณดังกล่าวยังเป็นถนนที่ค่อนข้างแคบและมีบ้านเรือนประชาชนอยู่ชิดติดถนน การระบายอากาศจึงไม่ดี ทำให้ปริมาณสารอินทรีย์สูง ในขณะที่จุด M 1 ซึ่งเป็นพื้นที่สี่แยกเช่นกัน (สี่แยกไทรทอง) แต่กลับมีปริมาณสาร BTEX ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากถนนดังกล่าวมีความกว้างมาก การระบายอากาศจึงค่อนข้างดี สำหรับจุดที่มีปริมาณสาร BTEX ต่ำ ได้แก่ จุด M15 M18 และ M29 เนื่องจากเป็นบริเวณนอกตัวเมืองออกไป จึงมีกิจกรรมของมนุษย์ค่อนข้างน้อยนั่นเอง ทำให้ปริมาณสาร BTEX ต่ำ ข้อมูลช่วงปริมาณความเข้มข้นของ BTEX (ppb_v) ที่พบในการศึกษาี้ สรุปไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลปริมาณ BTEX ในสภาพอากาศของ จ.ภูเก็ต ที่พบในรอบ 1 ปี เปรียบเทียบกับพื้นที่อื่นๆ

	Benzene (ppb _v)	Toluene (ppb _v)	Ethylbenzene (ppb _v)	Xylene (ppb _v)
หาดป่าตอง จ.ภูเก็ต	n.d.-0.55	0.84-17.74	0.28-3.98	1.82-19.26
อ.เมือง จ.ภูเก็ต	n.d.-0.93	0.54-16.96	0.28-7.38	1.24-31.46
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	0.86-1.34	6.05-11.46	-	15.91-62.38
กรุงเทพฯ	4.81-13.50	-	-	-
Ioannina- Greece	11.3-40.5	19.7-101.1	-	12.5-52.0
Hongkong	2.8-15.1	4.6-139.4	2.2-24.7	2.7-27.9
Yokohama- Japan	0.38-1.13	1.23-8.95	0.12-0.88	0.23-0.46

n.d. = not detected

จากตารางที่ 2 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณ BTEX ที่ตรวจพบในสภาพอากาศของอ.เมืองและชายหาดป่าตองของจังหวัดภูเก็ตในงานการศึกษาครั้งนี้กับข้อมูลปริมาณ BTEX ที่ตรวจพบในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ซึ่งศึกษาในพื้นที่เขตอ.หาดใหญ่ (Thammakhet et al., 2006) กรุงเทพมหานคร (Leong, 2002) เมือง Ioannina ประเทศกรีซ (Pilidis et al., 2005) เขตปกครองพิเศษฮ่องกง (Lee et al., 2002) และเมือง Yokohama ประเทศญี่ปุ่น (Yamamoto et al., 2000) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ BTEX ที่พบในพื้นที่ภาคใต้ ระหว่างเขตอ.เมืองและชายหาดป่าตอง จ.ภูเก็ตกับอ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ปริมาณ BTEX ในจ.ภูเก็ตมีค่าต่ำกว่าที่ตรวจพบในอ.หาดใหญ่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเชื้อเพลิงที่ใช้ในปี 2553 ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากปี พ.ศ. 2549 โดยมีการปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงของรถพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์เบนซินบางประเภทจากการใช้น้ำมันเบนซินเป็นการใช้ก๊าซ LPG ส่งผลให้ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาน้อยลง (รถยนต์ส่วนบุคคลและมอเตอร์ไซด์ที่ใช้น้ำมันเบนซินมีสัดส่วนในการปล่อยสาร BTEX ออกสู่บรรยากาศมากกว่าพาหนะประเภทรถบรรทุกและรถโดยสารประเภทอื่น (Leong et al., 2002)) เมื่อเปรียบเทียบกับ เมืองใหญ่ในเอเชีย เช่น กรุงเทพมหานครและฮ่องกง จะพบว่า ปริมาณเบนซิน ที่พบในจังหวัดภูเก็ตมีค่าต่ำกว่าที่พบในกรุงเทพมหานครและฮ่องกง เนื่องจากปริมาณการจราจรในจังหวัดภูเก็ตเบาบางกว่า ส่งผลให้ปริมาณเบนซินที่พบจึงมีค่าต่ำกว่า อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณเบนซินใน เมืองใหญ่ในเอเชียอย่างเช่นกรุงเทพฯและฮ่องกงนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเมืองในทวีปยุโรป (เมือง Ioannia ประเทศกรีซ) ปริมาณเบนซินในเอเชียก็ยังน้อยกว่ามาก

เมื่อปริมาณ BTEX ที่พบในพื้นที่ภายในจังหวัดภูเก็ตเอง ได้แก่ อ.เมืองและชายหาดป่าตอง พบว่า ช่วงความเข้มข้นของ BTEX ที่พบมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจาก มีแหล่งกำเนิดของ BTEX เดียวกัน คือ การจราจร และความเร็วในการเคลื่อนที่เฉลี่ยของรถยนต์ใกล้เคียงกัน คือ อยู่ระหว่าง 20 - 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในชั่วโมงทำงาน อีกทั้ง สภาพภูมิประเทศของ ทั้งจังหวัดเป็นเกาะ และเขตอำเภอเมืองก็อยู่ไม่ห่างจากฝั่งทะเล ทำให้ได้รับอิทธิพลของลมมรสุม เช่นเดียวกับชายหาดป่าตอง ดังนั้นช่วงปริมาณ BTEX โดยรวมจึงไม่ต่างกัน มีเฉพาะบางจุดเก็บตัวอย่างเท่านั้นที่สูงหรือต่ำกว่ากันมาก ขึ้นกับองค์ประกอบของสภาพโดยรอบจุดเก็บตัวอย่างนั้นๆ เช่น มีแหล่งกำเนิดอื่นนอกจากการจราจรหรือไม่ เป็นต้น เป็นที่น่าสังเกตว่า สภาพภูมิประเทศแบบเกาะนั้นมีส่วนช่วยให้สาร BTEX มีการระบายถ่ายเทออกจากพื้นที่ ดังจะเห็นได้จากปริมาณ BTEX ที่พบในเมือง Yokohama ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นพื้นที่ริมฝั่งทะเล เช่นเดียวกับจังหวัดภูเก็ตก็มีปริมาณ BTEX ในระดับต่ำเช่นเดียวกัน

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ถึงแม้ว่าปริมาณของสารในกลุ่ม BTEX ที่พบในจังหวัดภูเก็ตจะมีปริมาณที่ต่ำกว่าที่พบในเมืองในยุโรป แต่เมื่อเทียบเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณของ โทลูอินต่อปริมาณของเบนซิน (T/B) แล้วพบว่า จังหวัดภูเก็ตมีอัตราส่วนของ T/B ที่สูงกว่ามาก แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของมลสารชนิดตามแนวนอนต่อมลสารชนิดตามแนวแกนตั้ง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย (average correlation coefficient, R^2) (ซึ่งแสดงอยู่ในวงเล็บ)

	Benzene	Toluene	Ethylbenzene	Xylene
อำเภอเมือง				
Benzene	-	9.38 (0.69)	4.10 (0.67)	16.52 (0.65)
Toluene	-	-	0.44 (0.94)	1.86 (0.95)
Ethylbenzene	-	-	-	4.28 (0.94)
หาดป่าตอง				
Benzene	-	9.01 (0.59)	3.84 (0.62)	15.02 (0.59)
Toluene	-	-	0.24 (0.91)	1.13 (0.92)
Ethylbenzene	-	-	-	4.94 (0.92)
Naples, Italy (Murena, 2007)				
Benzene	-	12.8 (0.63)	4.10 (0.41)	14.8 (0.44)
Copenhagen, Denmark (Palmgren et al., 1996)				
Benzene	-	3.23 (0.98)	-	-
Paris, France (Vardoulakis et al., 2001)				
Benzene	-	3.95 (0.97)	-	-
Bangkok, Thailand (Gee and Sollars, 1998)				
Benzene	-	10	-	-
Manila, Philippines (Gee and Sollars, 1998)				
Benzene	-	10	-	-
Caracas, Venezuela (Gee and Sollars, 1998)				
Benzene	-	2.5	-	-
Sao Paulo, Brazil (Gee and Sollars, 1998)				
Benzene	-	2.0	-	-
Quito, Ecuador (Gee and Sollars, 1998)				
Benzene	-	3.3	-	-
Santiago (Chile) (Gee and Sollars, 1998)				
Benzene	-	2.5	-	-

จากข้อมูลในตารางที่ 2 และ 3 พบว่า ถึงแม้ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนในจังหวัดภูเก็ต (อาจหมายรวมถึง กรุงเทพฯด้วย) จะมีค่าน้อยกว่าที่ตรวจพบในทวีปยุโรป แต่เมื่อเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนระหว่างเบนซินต่อโทลูอีน (T/B) แล้วพบว่า อัตราส่วน T/B ของจังหวัดภูเก็ตมีค่าสูงกว่าที่พบในเมืองในยุโรปอย่างเช่น เมือง Copenhagen และ Paris ทั้งนี้เนื่องมาจากน้ำมันที่ใช้ในประเทศไทยมีสัดส่วนไฮโดรคาร์บอนจำพวกอะโรแมติกสูงถึง 45% (Gee and Sollars, 1998) ทำให้อัตราส่วน T/B ของเมืองในเอเชีย เช่น กรุงเทพฯ ภูเก็ต และ Manila มีค่าประมาณ 10 ขณะที่เมืองในยุโรป (Copenhagen และ Paris) และอเมริกาใต้ (Caracas, Sao Paulo, Quito และ Santiago) มีค่าอัตราส่วน T/B ประมาณ 2-4 (ดังแสดงในตารางที่ 3)

จากตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนระหว่าง TEX/B ของหาดป่าตองมีค่าต่ำกว่าของเขตอำเภอเมืองเล็กน้อย เนื่องจากเบนซินมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา photochemical ต่ำกว่าไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น (Pilidis et al., 2005) ทำให้บริเวณหาดป่าตองซึ่งมีอาคารบ้านเรือนซึ่งสามารถบดบังแสงได้น้อยกว่าในเขตเมือง รวมพื้นที่บางส่วนเป็นพื้นที่ลาดเชิงเขา ทำให้แสงสามารถส่องถึงได้มากกว่า ค่า TEX/B ของหาดป่าตองโดยเฉลี่ยจึงต่ำกว่าในเขตเมือง และเช่นเดียวกัน ถึงแม้เมือง Naples จะอยู่ในทวีปยุโรป ซึ่งเชื้อเพลิงมีปริมาณอะโรแมติกไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าในแถบเอเชีย แต่ค่า T/B กลับมีค่าสูงใกล้เคียงกับกรุงเทพฯและภูเก็ต ทั้งนี้เนื่องมาจากจุดเก็บตัวอย่างในงานวิจัยของ Murena (2007) ซึ่งปรากฏในตาราง 3 นั้น อยู่ในพื้นที่อู่โม่งครยนต์ ซึ่งแสงแดดส่องผ่านได้น้อย ทำให้ค่า T/B จึงมีค่าสูงนั่นเอง ปรากฏการณ์นี้สอดคล้องกับจุดเก็บตัวอย่าง M29 ซึ่งมีค่า T/B สูงมากกว่าจุดอื่น เนื่องจากเป็นจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ริมบริเวณท่าเทียบเรือรักษานั่นเอง

จากข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย (R^2) (แสดงในตารางที่ 3) ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ชี้ให้เห็นว่า มลสารชนิดต่างๆที่ศึกษาในงานวิจัยมีความสัมพันธ์กันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ได้แก่ ไอเสียจากรถยนต์ อย่างไรก็ตาม สารเบนซินจะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อยกว่าสารตัวอื่นในกลุ่ม BTEX ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเป็นสารที่มีอัตราค่าระเหยสูง จึงทำให้เกิดการปนเปื้อนเข้าสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดอื่น นอกเหนือจากไอเสียรถยนต์ได้ง่าย เช่น จากสถานีบริการน้ำมัน เป็นต้น (Murena, 2007) เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย ระหว่างเขตอำเภอเมืองกับเขตชายหาดป่าตอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ยของเขตอำเภอเมืองมีค่าสูงกว่าเขตชายหาดป่าตองเล็กน้อย อาจเป็นเพราะปฏิกิริยา photochemical ของสารเบนซินเกิดขึ้นในเขตอำเภอเมืองน้อยกว่าเขตชายหาดป่าตอง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองตามที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ในส่วน of ค่า T/B

สำหรับการศึกษาในเรื่องการกระจายตัวของสารในกลุ่ม BTEX จะเลือกใช้โทลูอีนเป็นตัวศึกษา เนื่องจากเป็นสารมีมวลโมเลกุลปานกลางหรือมีมวลโมเลกุลอยู่ระหว่างเบนซินและเอทิลเบนซิน/ไซลีน โดยจะทำการศึกษาในรูปของค่า spatial coefficient of variation

(SCV) ซึ่งคำนวณจากค่า standard deviation ของความเข้มข้นโทลูอินที่วัดได้ที่จุดเก็บตัวอย่างต่าง ๆ หารด้วยค่าความเข้มข้นของโทลูอินเฉลี่ย โดยจุดเก็บตัวอย่างที่เลือกศึกษาในเขตป่าตองจะใช้จุด P1 – P7 ส่วนในเขตอำเภอเมืองจะเลือกพื้นที่ชั้นใน M8 – M28 (ยกเว้นจุด M13 ที่มีความเข้มข้นของ BTEX สูงสุด เนื่องจากมีผลของแหล่งกำเนิดอื่น ได้แก่ ร้านซ่อมรถมอเตอร์ไซด์) ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า spatial coefficient of variation (SCV) ในรอบ 1 ปี (ธันวาคม 52 – พฤศจิกายน 53) สำหรับจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอเมืองและชายหาดป่าตอง

เดือน	Spatial CV (%)		ความเร็วลม (กม./ชม.)
	ชายหาดป่าตอง	อำเภอเมือง	
ธันวาคม 52	27	42	18.53 – 27.80
มกราคม 53	25	40	16.68 – 25.95
กุมภาพันธ์ 53	26	41	18.53 – 27.80
มีนาคม 53	26	41	18.53 – 31.51
เมษายน 53	29	42	18.53 – 35.21
พฤษภาคม 53	30	43	16.68 – 33.36
มิถุนายน 53	32	44	20.39 – 37.07
กรกฎาคม 53	34	44	16.77 – 40.88
สิงหาคม 53	33	44	20.39 – 40.77
กันยายน 53	30	43	16.68 – 35.21
ตุลาคม 53	31	44	22.24 – 38.92
พฤศจิกายน 53	26	41	18.53 – 25.93

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า เขตอำเภอจะมีค่า SCV สูงกว่าเขตชายหาดป่าตอง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากจำนวนจุดเก็บตัวอย่างที่ศึกษามีมากกว่า (แม้ว่าจะตัดจุดที่มีความเข้มข้นสูงและต่ำกว่าจุดอื่นๆ ออกไปแล้วก็ตาม) ทำให้ความแตกต่างทางกายภาพของพื้นที่มีสูง อีกทั้งจุดเก็บตัวอย่างในเขตชายหาดป่าตองมีลักษณะเป็นถนน 2 เลนที่ขนานกัน ทำให้ความแตกต่างของโทลูอินในแต่ละจุดของถนนไม่ต่างกันนัก (Vardoulakis et al., 2005) เมื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวของสารโทลูอินในรูปของค่า SCV ในแต่ละเดือนพบว่า การกระจายตัวในแต่ละเดือนไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ เพียงแต่จะมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนมิ.ย. – ต.ค. ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากเป็นฤดูมรสุม ซึ่งกระแสลมที่พัดในช่วงดังกล่าวมีความเร็วสูง ทำให้สารโทลูอินกระจายตัวได้ดี ค่า SCV จึงมีค่าสูงนั่นเอง อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า ความแตกต่างของค่า SCV ในแต่ละเดือนของจุดเก็บตัวอย่างในบริเวณชายหาดป่าตองจะมีช่วงความแตกต่างที่มากกว่าบริเวณใน

เขตอำเภอเมือง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ของชายหาดติดกับทะเลหรือระยะห่างจะทะเลน้อยกว่าในเขตอำเภอเมือง ทำให้ได้รับอิทธิพลของกระแสลมมากกว่า ดังนั้นค่า SCV ในแต่ละเดือนจึงสูงกว่าเขตอำเภอเมือง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ในเรื่องของจำนวนนักท่องเที่ยวกับปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติในเรื่องความเร็วลม ต่อการกระจายตัวของสารโพลูอินแล้วพบว่า ปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ในเรื่องจำนวนนักท่องเที่ยวมีผลน้อยกว่าปัจจัยธรรมชาติในเรื่องกระแสลม ดังจะเห็นได้จากในฤดูท่องเที่ยว (เดือนตุลาคม – เมษายน) ที่มีจำนวนนักท่องเที่ยวและการจราจรที่หนาแน่น กลับมีการกระจายตัวของสารโพลูอินน้อยกว่าช่วงนอกฤดูท่องเที่ยว (เดือนพฤษภาคม – กันยายน) ซึ่งมีปริมาณการจราจรที่เบาบาง

5.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุปกรณ์เก็บตัวอย่างอากาศที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีขายในเชิงพาณิชย์

ในการศึกษาจะนำอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการไปเก็บตัวอย่างอากาศควบคู่กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์ (© SKC Ultra Passive Sampler) โดยจะศึกษาผลของปริมาณสาร BTEX ต่อประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างในจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณ BTEX แตกต่างกัน 2 จุด ได้แก่ M15 (ใกล้โรงเผาขยะสะพานหิน) ซึ่งมีปริมาณ BTEX ต่ำ และ บ้านเรือนประชาชน ใกล้จุด M20 (สี่แยกบางเหี้ยว) ซึ่งมีปริมาณ BTEX สูง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาผลของเวลาต่อประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างที่บ้านเรือนประชาชนใกล้จุด M20 ในช่วงเวลา 1-3 สัปดาห์ ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณสาร BTEX ที่ตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีขายในเชิงพาณิชย์

เวลาในการเก็บตัวอย่าง	อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ				อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีขายเชิงพาณิชย์			
	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene	Benzene	Toluene	Ethyl benzene	Xylene
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
จุด M20								
1 สัปดาห์	1.02	6.17	4.81	25.51	1.21	16.97	5.15	35.42
2 สัปดาห์	1.14	10.79	5.11	34.31	1.46	18.85	5.55	40.33
3 สัปดาห์	1.34	19.19	5.56	40.23	1.57	20.56	5.58	45.33
จุด M15								
3 สัปดาห์	0.28	2.42	1.24	5.15	0.38	2.88	1.36	6.38

จากตารางที่ 5 พบว่า ที่จุดเก็บตัวอย่าง M 20 ในสัปดาห์ที่ 1 ปริมาณ BTEX ที่ตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างชนิดพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการจะแตกต่างอย่างมากกับปริมาณ BTEX ที่ตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่มีขายเชิงพาณิชย์ แต่ความแตกต่างจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในสัปดาห์ที่ 2 และ 3 โดยในสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณ BTEX จะแตกต่างจากที่ตรวจวัดได้โดยใช้อุปกรณ์เก็บตัวอย่างเชิงพาณิชย์ ไม่เกิน 15% (14.65%, 6.66%, 0.36%, 11.25% สำหรับสารเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน ตามลำดับ) เนื่องจากในสัปดาห์นี้ ปริมาณของสาร BTEX จะเข้าใกล้ภาวะสมดุลระหว่างสารที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับและสารในบรรยากาศ ((Krupa and Legge, 2000) ซึ่งสอดคล้องผลการศึกษาในรูปที่ 4 ในเรื่องเวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง สำหรับจุดเก็บตัวอย่าง M15 ซึ่งเป็นจุดเก็บตัวอย่างที่มีปริมาณสาร BTEX ต่ำ พบว่า เมื่อเก็บตัวอย่าง 3 สัปดาห์ ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เก็บได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเชิงพาณิชย์ จะเท่ากับ 26.32%, 15.97% 8.82% 19.28% สำหรับสารเบนซีน โทลูอีน เอทิลเบนซีน และไซลีน ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าจุดเก็บตัวอย่าง M20 ที่มีความเข้มข้นของสาร BTEX ในบรรยากาศน้อยและเป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณของสารเอทิลเบนซีนที่เก็บได้ ในทั้งสองจุดเก็บตัวอย่าง โดยอุปกรณ์เก็บตัวอย่างทั้งสองชนิดจะแตกต่างกันน้อยกว่าสารชนิดอื่น ในกลุ่มสาร BTEX ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่เตรียมขึ้นนี้ มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ทดแทนอุปกรณ์เก็บตัวอย่างเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้ในการเก็บตัวอย่างเอทิลเบนซีน

6 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากรายงานการวิจัยฉบับนี้ แสดงให้เห็นว่าระบบการเก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการและระบบการ วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย แบบออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีประสิทธิภาพในการใช้วิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยเฉพาะสารในกลุ่ม BTEX ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิด ตัวตรวจวัดเฟรมไอออนไนเซชัน คือ อัตราการไหลของฮีเลียม ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจนเท่ากับ 6, 35, 300 และ 30 มล./นาทีตามลำดับ อุณหภูมิเริ่มต้น 45 องศาเซลเซียสคงที่ไว้ 1 นาที อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที อุณหภูมิสุดท้าย 100 องศาเซลเซียสคงที่ไว้ 1 นาที อุณหภูมิตัวตรวจวัดและวาล์วเก็บตัวอย่างแก๊สเท่ากับ 150 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ และเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่ตัวอย่าง คือ 1 นาที เวลาที่เหมาะสมในการเก็บตัวอย่าง คือ 3 สัปดาห์ จากการทำการศึกษาโดยใช้ตัวดูดซับ 2 ชนิดคือ Porapak P และ Tenax TA พบว่า สภาวะอากาศในภูเก็ต (ambient air) ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่ายในกลุ่ม BTEX จากผล การติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสาร BTEX ในเขตพื้นที่ชายหาดป่าตองและเขตอำเภอเมืองพบว่า ในเขตหาดป่าตองนั้น จุดที่มีปริมาณสารสูงสุดได้แก่บริเวณจุดตัดถนนซึ่งเป็นที่ตั้งห้างสรรพสินค้า ส่วนในเขตอำเภอเมือง จะมีปริมาณสารสูงสุดในบริเวณใกล้สถาน

ประกอบการชอมรถจักรยานยนต์ ซึ่งมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นและตัวทำละลายอินทรีย์มาก เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณ BTEX ที่ตรวจพบในสภาพอากาศของจังหวัดภูเก็ตกับเมืองต่างๆที่ปรากฏอยู่ในรายงานการวิจัย ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จ.สงขลา จังหวัดกรุงเทพฯ เขตปกครองพิเศษฮ่องกง เมืองโยฮานนีนา ประเทศกรีซพบว่า ปริมาณ BTEX ของจังหวัดภูเก็ตยังต่ำกว่าเมืองอื่นทั้งในเขตภาคใต้ด้วยกันหรือเมืองอื่นๆในเอเชีย และแตกต่างอย่างมากระหว่างเมืองในยุโรป อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ปริมาณความเข้มข้นของ BTEX ต่ำ แต่เมื่อคิดเป็นอัตราส่วนระหว่าง T/B กลับพบว่า จังหวัดภูเก็ตมีค่าอัตราส่วน T/B สูงถึง 9.38 และ 9.01 สำหรับเขตอำเภอเมืองและชายหาดป่าตองตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบ อัตราส่วนระหว่าง TEX/B ของชายหาดป่าตองกับอำเภอเมือง พบว่า อัตราส่วน TEX/B ของชายหาดป่าตองมีค่าต่ำกว่าของเขตอำเภอเมือง เนื่องจากผลของปฏิกิริยา photochemical ของเบนซีนที่ต่ำกว่ากว่าไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่น จากข้อมูล ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เฉลี่ย (R^2) ของสารในกลุ่ม BTEX ที่พบในจังหวัดภูเก็ตซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงนั้น ชี้ให้เห็นว่า มลสารชนิดต่างๆที่ศึกษาในงานวิจัยมีความสัมพันธ์กันหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ มาจากแหล่งกำเนิดใหญ่เดียวกันได้แก่ ไอเสียรถยนต์ และจากการติดตามตรวจสอบปริมาณ BTEX ในรอบ 1 ปี พบว่า การกระจายตัวของสารโพลีอินในรูป spatial coefficient of variation (SCV) จะมีค่าสูงในช่วง เดือนมิ.ย. – ต.ค. เนื่องจากเป็นฤดูมรสุมที่มีอัตราเร็วของกระแสลมสูง เมื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บตัวอย่างระหว่างอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการศึกษานี้กับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟที่มีขายในเชิงพาณิชย์พบว่า ร้อยละความแตกต่างจะมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างมากขึ้น โดยความแตกต่างจะมีค่าน้อยกว่า 15% เมื่อใช้เวลาในการเก็บตัวอย่าง 3 สัปดาห์

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

- พัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟให้มีลักษณะที่สารสามารถแพร่เข้าสู่ตัวดูดซับได้ง่ายขึ้น เพื่อจะสามารถลดเวลาในการเก็บตัวอย่างลงให้น้อยกว่า 3 สัปดาห์
- พัฒนาระบบการเก็บตัวอย่างและระบบการวิเคราะห์ให้สามารถตรวจวัดชนิดของสารอินทรีย์ระเหยง่ายจำนวนมากขึ้น เช่น นำมาใช้กับเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี -แมสสเปกโตรมิเตอร์ (GC-MS) ควบคู่ไปกับเปลี่ยนชนิดของตัวดูดซับ เป็นต้น
- ศึกษาผลของชนิดของเชื้อเพลิงยานพาหนะต่อชนิดและปริมาณของสารอินทรีย์ระเหยง่าย

7. Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจากสกว.

7.1 ผลงานที่คาดว่าจะตีพิมพ์

คาดหวังว่า จะตีพิมพ์ในชื่อเรื่อง Measurement of BTEX distribution in economic hot spot zone by lab-built passive sampling: A case study in Phuket, Thailand

ชื่อวารสาร Journal of Environmental Science and Health,
Part A

กำหนดการตีพิมพ์ พฤศจิกายน 2555

7.2 การนำเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ

Wongniramaikul, W. Thammakhet, C. and Kanatharana, P. "Development of Analytical System for Volatile Organic Compounds (VOCs) in Ambient Air by using Laboratory-built Passive Sampler" Proceeding of the Conference on Waste Management and Alternative Energy in the Global Warming Crisis: Opportunities and Challenges, February, 11-12, 2010, Hat Yai, Thailand.