



บทที่ 3

อุปกรณ์การวิจัยและวิธีดำเนินการ

การศึกษาชนิดและปริมาณสารมลพิษทางอากาศ ซึ่งระบายนจากท่อไอเสียของรถยนต์ก๊าซโซลีนจะใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนวิธีดำเนินการดังต่อไปนี้

รถยนต์ที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาชนิดและปริมาณสารมลพิษทางอากาศจากท่อไอเสียรถยนต์ เครื่องยนต์ ก๊าซโซลีนได้แบ่งรถยนต์ออกเป็นห้าประเภท คือ รถยนต์ส่วนบุคคล รถจักรยานยนต์ชนิดเครื่องยนต์สอง และสี่จังหวะ รถแท็กซี่ และ รถสามล้อ ซึ่งรถยนต์แต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป โดยมีลักษณะสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดังนี้

1 รถยนต์ส่วนบุคคล เป็นรถยนต์ใช้เชื้อเพลิงก๊าซโซลีนเหลวออกเทนเอ็มเบอร์ แก๊สลิพ้า ถึงแก๊สลิพ้าเจ็ดกับเครื่องยนต์สี่จังหวะ มีจำนวนลูกสูบสี่สูบ ความจุกระบอกสูบระหว่างหนึ่งพันสองร้อย ถึงสองพันลูกบาศก์เซนติเมตร ระบายความร้อนภายในเครื่องยนต์ โดยใช้ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ

2 รถจักรยานยนต์สองจังหวะ ใช้เชื้อเพลิงก๊าซโซลีนเหลว ออกเทนเอ็มเบอร์ แปดลิบสาม เป็นเครื่องชนิดลูกสูบเดี่ยว มีความจุกระบอกสูบระหว่าง แปดลิบถึงหนึ่งร้อยห้าสิบลูกบาศก์เซนติเมตร เชื้อเพลิงจะถูกผสมด้วยน้ำมันหล่อลื่นในอัตราส่วนระหว่างสี่ลิบต่อหนึ่ง ถึงสามลิบต่อหนึ่งโดยปริมาตร การระบายความร้อนจากเครื่องยนต์ใช้การไหลของอากาศผ่านครีระบายความร้อนที่ติดอยู่บนเสื้อสูบ

3 รถจักรยานยนต์สี่จังหวะ ใช้เชื้อเพลิงก๊าซโซลีนเหลว มีค่าออกเทนเอ็มเบอร์ระหว่างแก๊สลิพ้า ถึงแก๊สลิพ้าเจ็ด ส่วนใหญ่กันิยมใช้เป็นชนิดลูกสูบเดี่ยว มี

ตารางที่ 3.1 ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างรถยนต์ส่วนบุคคล

ลำดับที่	จำนวนลูกสูบ	ความจุกระบอกสูบ (ซ.ม. ³)	อายุการใช้งาน (ปี)	ออกเทน นัมเบอร์ ของเชื้อเพลิง
1	4	2000	3	97
2	4	1800	8	95
3	4	1300	7	97
4	4	1600	2	97
5	4	1400	5	95
6	4	1600	4	95
7	4	1600	15	95
8	4	1600	0.5	97
9	4	1600	5	95
10	4	1600	6	95
11	4	1300	14	95
12	4	1600	7	97
13	4	1800	8	95
14	4	1200	2	95
15	4	1800	8	95
16	4	1800	6	97
17	4	1600	11	95
18	4	1800	7	95
19	4	1300	23	97
20	4	1800	5	95

ความจุกระบอกสูบระหว่างแปดสิบ ถึงหนึ่งร้อยห้าสิบลูกบาศก์เซนติเมตร ระบบระบาย
ความร้อนทั้งแบบที่ใช้ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ และแบบใช้อากาศไหลผ่านครีระบายความ

ตารางที่ 3.2 ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างรถจักรยานยนต์สองจังหวัด

ลำดับที่	จำนวนลูกสูบ	ความจุกระบอกสูบ (ซ.ม. ³)	อายุการใช้งาน (ปี)	ออกแทน นัมเบอร์ ของเชื้อเพลิง
1	1	100	0.5	83
2	1	100	2	83
3	1	110	2	83
4	1	125	5	83
5	1	125	1	83
6	1	130	2	83
7	1	135	5	83
8	1	100	0.5	83
9	1	100	3	83
10	1	100	0.5	83
11	1	110	13	83
12	1	80	2	83
13	1	125	2	83
14	1	125	1	83
15	1	125	5	83
16	1	135	1	83
17	1	150	2	83
18	1	150	1	83
19	1	100	2	83
20	1	120	0.5	83

รถยนต์สี่สูบ ปัจจุบันมีที่นิยมใช้รถประเภทนี้ที่มีเครื่องยนต์ขนาดใหญ่ มีความจุกระบอกสูบตั้งแต่สองร้อยห้าสิบ ไปจนถึงหนึ่งพันสองร้อยลูกบาศก์เซนติเมตร ระบายความร้อนโดยใช้

ระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ แต่ยังมีความนิยมใช้ไม่มากเนื่องจากราคาแพง และบำรุงรักษายากกว่าเครื่องยนต์ขนาดเล็ก

ตารางที่ 3.3 ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างรถจักรยานยนต์สี่จังหวะ

ลำดับที่	จำนวนลูกสูบ	ความจุกระบอกสูบ (ซ.ม. ³)	อายุการใช้งาน (ปี)	ออกแทน นัมเบอร์ ของเชื้อเพลิง
1	1	125	2	83
2	1	110	2	83
3	4	400	10	83
4	1	100	0.5	83
5	1	100	3	83
6	1	125	5	83
7	1	100	10	83
8	1	125	15	83
9	1	110	2	83
10	1	150	12	83

4 รถแท็กซี่ เป็นรถยนต์ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนเช่นเดียวกับรถยนต์ส่วนบุคคล แต่ได้ถูกดัดแปลงให้ใช้กับเชื้อเพลิงแอลพีจี แทนก๊าซโซลีนเหลว โดยทั่วไปที่นิยมใช้มีความจุกระบอกสูบระหว่างหนึ่งพันสามร้อย ถึงหนึ่งพันสี่ร้อยลูกบาศก์เซนติเมตร

5 รถสามล้อ เป็นรถยนต์ใช้เครื่องยนต์สองจังหวะ และใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี มีจำนวนลูกสูบสองลูก ความจุกระบอกสูบสามร้อยห้าสิบลูกบาศก์เซนติเมตร ใช้น้ำมันหล่อลื่นฉีดผ่านท่อไอดีเพื่อช่วยการหล่อลื่นในห้องสันดาป สำหรับรุ่นเครื่องยนต์ขนาดห้าร้อยห้าสิบลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นเครื่องยนต์สี่จังหวะแต่ยังมีที่ใช้น้อยมาก ทั้งสองรุ่นใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น

ตารางที่ 3.4 ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างรถแท็กซี่

ลำดับที่	จำนวนลูกสูบ	ความจุกระบอกสูบ (ซ.ม. ³)	อายุการใช้งาน (ปี)	ชนิด ของเชื้อเพลิง
1	4	1300	10	แอลพีจี
2	4	1300	6	แอลพีจี
3	4	1300	5	แอลพีจี
4	4	1300	8	แอลพีจี
5	4	1300	10	แอลพีจี

ตารางที่ 3.5 ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างรถสามล้อ

ลำดับที่	จำนวนลูกสูบ	ความจุกระบอกสูบ (ซ.ม. ³)	อายุการใช้งาน (ปี)	ชนิด ของเชื้อเพลิง
1	2	350	3	แอลพีจี
2	2	350	4	แอลพีจี
3	2	350	4	แอลพีจี
4	2	350	6	แอลพีจี
5	2	350	7	แอลพีจี

รถยนต์ที่สุ่มเลือกใช้เป็นตัวอย่าง เป็นรถยนต์ที่ใช้กันทั่วไป มีอายุการใช้งานตั้งแต่หกเดือนจนถึงสิบปีหรือมากกว่า การบำรุงรักษาเครื่องยนต์ขึ้นอยู่กับเจ้าของและผู้ขับขี่และความเร็วที่กำหนดในการใช้เก็บตัวอย่างก๊าซ ได้ให้ผู้ขับขี่เป็นผู้ควบคุมลักษณะการขับ เช่น การใช้เกียร์ เป็นต้น

เครื่องวิเคราะห์และอุปกรณ์

1 เครื่องวัดปริมาณสารมลพิษที่เป็นก๊าซ

1.1 เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งใช้วิธีการวัดแบบ หนึ่งสีสเปกตรัมอินฟราเรด (Non Dispersive Infra-Red:NDIR) สามารถวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดีในช่วงความเข้มข้น 0.5 ถึง 50 พีพีเอ็ม โดยใช้เครื่องยี่ห้อ เบกแมน(Beckman) รุ่น 866 ของประเทศสหรัฐอเมริกา

1.2 เครื่องวัดก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ซึ่งใช้วิธีการวัดแบบ เคมีลูมิเนสเซนซ์ (Chemiluminescence) สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซนี้ได้ดีในช่วงความเข้มข้น 0.01 ถึง 5.0 พีพีเอ็ม โดยใช้เครื่องยี่ห้อ เทอร์โมอิเล็กตรอน (Thermo Electron) รุ่น 14 B/E ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งสามารถวัดความเข้มข้นก๊าซไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจนได้ในขณะเดียวกัน

1.3 เครื่องวัดไฮโดรคาร์บอน (Total Hydrocarbon : HC) ใช้วิธีการวัดด้วย เพรมไอออนไนเซชัน ดีเทคชัน (Flame Ionization Detection : FID) สามารถวัดความเข้มข้นก๊าซนี้ได้ดีในช่วง 1 ถึง 100 พีพีเอ็ม โดยใช้เครื่องยี่ห้อ เบกแมน รุ่น 400 ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยวัดความเข้มข้นเปรียบเทียบกับก๊าซมีเทนที่ทราบความเข้มข้น

1.4 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟ (Gas Chromatograph หรือ G.C.) ซึ่งใช้วิธีการวัดแบบ เพรมไอออนไนเซชัน ดีเทคชัน โดยใช้เครื่องยี่ห้อ ชิมาดซุ (Shimadzu) รุ่น GC 8A ของประเทศญี่ปุ่น และใช้ คานิลลารี คอลัมน์ (Capillary column) สำหรับแยกสารไฮโดรคาร์บอนระหว่าง C_3 ถึง C_{10} จากรถยนต์ใช้เชื้อเพลิง ก๊าซโซลีนเหลวโดยใช้คานิลลารี คอลัมน์ของ SUPELCO หมายเลข SPB TM-1 wide bore (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 มิลลิเมตร) ยาวสามสิบเมตร และใช้คอลัมน์แก้วบรรจุด้วยสารแอคทีเวต อลูมินา (Activated alumina) วิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนระหว่าง C_1 ถึง C_5 จากรถยนต์ใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี พร้อมอุปกรณ์ประกอบดังนี้

1.4.1 เครื่องผลิตไฮโดรเจน (Hydrogen generator) สำหรับเป็นเชื้อเพลิงของการวัดด้วยระบบ เพรมไอออนไนเซชัน ดีเทคชัน

1.4.2 ก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ (Oxygen Free Nitrogen laboratory grade) เป็นคาร์เรียร์ก๊าซ (carrier gas)

1.4.3 เครื่องอัดอากาศ (Air compressor) สำหรับป้อนออกซิเจนเผาไหม้กับไฮโดรเจนในระบบการวัด

1.5 อินทิเกรเตอร์ (Integrator) สำหรับคำนวณ และ บันทึกผลของการวิเคราะห์ชนิด และปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน

1.6 เครื่องผลิตอากาศบริสุทธิ์ (Zero gas generator) สำหรับผลิตอากาศบริสุทธิ์นำไปใช้ในการปรับแต่ง (Calibrate) เครื่องวัดก๊าซในข้อ 1.1 ถึง 1.3 และสำหรับใช้ในการเจือจางตัวอย่างก๊าซ (Gas dilution) โดยใช้เครื่องยี่ห้อ KIN-TEK Laboratory รุ่น Zero Pac TM 5A ซึ่งสามารถผลิตอากาศบริสุทธิ์ได้โดยมีปริมาณมลสาร (Impurity) ดังนี้

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	น้อยกว่า 0.1	พีพีเอ็ม
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	น้อยกว่า 0.001	พีพีเอ็ม
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	น้อยกว่า 0.001	พีพีเอ็ม
ก๊าซไนตริกออกไซด์	น้อยกว่า 0.001	พีพีเอ็ม
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	น้อยกว่า 0.001	พีพีเอ็ม
ก๊าซโอโซน	น้อยกว่า 0.001	พีพีเอ็ม

1.7 ถังเก็บตัวอย่างก๊าซเป็นถุงพลาสติกชนิดเทตลาร์ขนาด หนึ่งลิตร และยี่สิบลิตร

1.8 เครื่องเก็บตัวอย่างก๊าซ ซึ่งประกอบไปด้วย

1.8.1 ปั๊มที่สูบอากาศ

1.8.2 ท่อพลาสติกชนิดเทฟลอน (Teflon)

1.8.3 วาล์ว (Valve) สามทาง (Three ways value)

1.8.4 กล้องสูญอากาศ

1.8.5 แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 20 แอมแปร์ต่อชั่วโมง ใช้กับปั๊มที่สูบ

อากาศ

1.9 อุปกรณ์อื่นๆ

1.9.1 ไซลิงจ์ (Syringe) ชนิด แอร์ไทท์ (Air tight) ขนาด 10 และ 0.1 มิลลิลิตร (Millilitre)

1.9.2 ไซลิงจ์ ชนิด ลิควิดไทท์ (Liquid tight) ขนาด 1.0 และ 25 ไมโครลิตร (Microlitre)

1.9.3 เครื่องวัดปริมาตรอากาศแบบชื้น (Wet test meter)

1.9.4 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มาตรฐานความเข้มข้น 40 ถึง 50 พีพีเอ็ม ในไนโตรเจน (N_2 balance)

1.9.5 ก๊าซไนตริกออกไซด์มาตรฐาน ความเข้มข้น 0.4 ถึง 0.5 พีพีเอ็ม ในไนโตรเจน

1.9.6 ก๊าซมีเทนมาตรฐาน ความเข้มข้น 40 ถึง 50 พีพีเอ็ม ในไนโตรเจน

1.9.7 ขวดตวง (Volumetric flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร (± 0.15 มิลลิลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส)

1.9.8 สารเคมี เบนซีน โทลูอีน ไซลีน และ อาซีโตน ชนิด สเปกโตรเกรด (Spectro-grade)

1.9.9 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Flow meter) ช่วงการวัด 0 ถึง 250 มิลลิลิตรต่อนาที

การเตรียมการวิเคราะห์

1 การเตรียมเครื่องวัดก๊าซ

เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และไฮโดรคาร์บอน ได้รับแต่งตั้งตามขั้นตอนในหนังสือคู่มือการใช้งานประจำเครื่อง (15) (16) (17)

แล้วปรับแต่งแบบ ซิงเกิลพอยท์ แคริเบรชัน (Single point calibration) คือ ปรับค่าศูนย์โดยป้อนอากาศบริสุทธิ์จาก เครื่องผลิตอากาศบริสุทธิ์ แล้วปรับให้เครื่องอ่านความเข้มข้นก๊าซเป็นศูนย์ จากนั้นจึงป้อนก๊าซมาตรฐาน แล้วปรับให้เครื่องอ่านค่าความเข้มข้นของก๊าซนั้นๆ ตามที่ระบุไว้ในเอกสารรับรอง (Certificate card) ของแต่ละถัง

2 การเตรียมเครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟ

เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโครมาโตกราฟ ซึ่งจะใช้วิเคราะห์ชนิด และปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนตั้งแต่ C_3 ถึง C_{10} ได้เตรียมเครื่องตามขั้นตอนการใช้งานในหนังสือคู่มือการใช้งานประจำเครื่อง (18) แล้วปรับระบบของเครื่องให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ชนิด และปริมาณไฮโดรคาร์บอน จากรถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซโซลีนเหลว

ใช้คาพิลลารี คอลัมน์ วิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนระหว่าง C_3 ถึง C_{10} โดยปรับระบบของเครื่องดังต่อไปนี้

คาร์เออร์ก๊าซ ปรับความดันในระบบให้ได้ประมาณ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและสปริงก๊าซ (Split gas) อยู่ในช่วง 30 ถึง 50 มิลลิเมตรต่ออนาทีก๊าซ (air) ปรับความดันบนหน้าปัทม์เครื่องให้ได้ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ไฮโดรเจน ปรับความดันบนหน้าปัทม์เครื่องให้ได้ 0.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เมคอัพก๊าซ (Make up gas) ซึ่งใช้ก๊าซไนโตรเจนปรับความดันให้ได้ 0.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

อินเจคชัน พอก และ ดีเทคเตอร์ (Injection port และ detector) ใช้อุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส

โอเวน (Oven) ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นจาก 30 องศาเซลเซียส ไปสิ้นสุดที่ 100 องศาเซลเซียส

2.2 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณไฮโดรคาร์บอนจากรถยนต์ใช้เชื้อเพลิงแอลพีจี

ใช้คอลัมน์แก้ววิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนระหว่าง C_1 ถึง C_5 โดยปรับระบบของเครื่องดังนี้

คาร์บอนไดออกไซด์ ปรับความดันในระบบให้ได้ประมาณ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

อากาศ (air) ปรับความดันบนหน้าปัทม์เครื่องให้ได้ 0.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ไฮโดรเจน ปรับความดันบนหน้าปัทม์เครื่องให้ได้ 0.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

อินเจคชัน พอก และดีเทคเตอร์ (Injection port และ detector) ใช้อุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส

โอเวน (Oven) ใช้อุณหภูมิเริ่มต้นจาก 30 องศาเซลเซียส ไปสิ้นสุดที่ 100 องศาเซลเซียส

2.3 การเตรียมสารมาตรฐาน (standard) สำหรับเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี

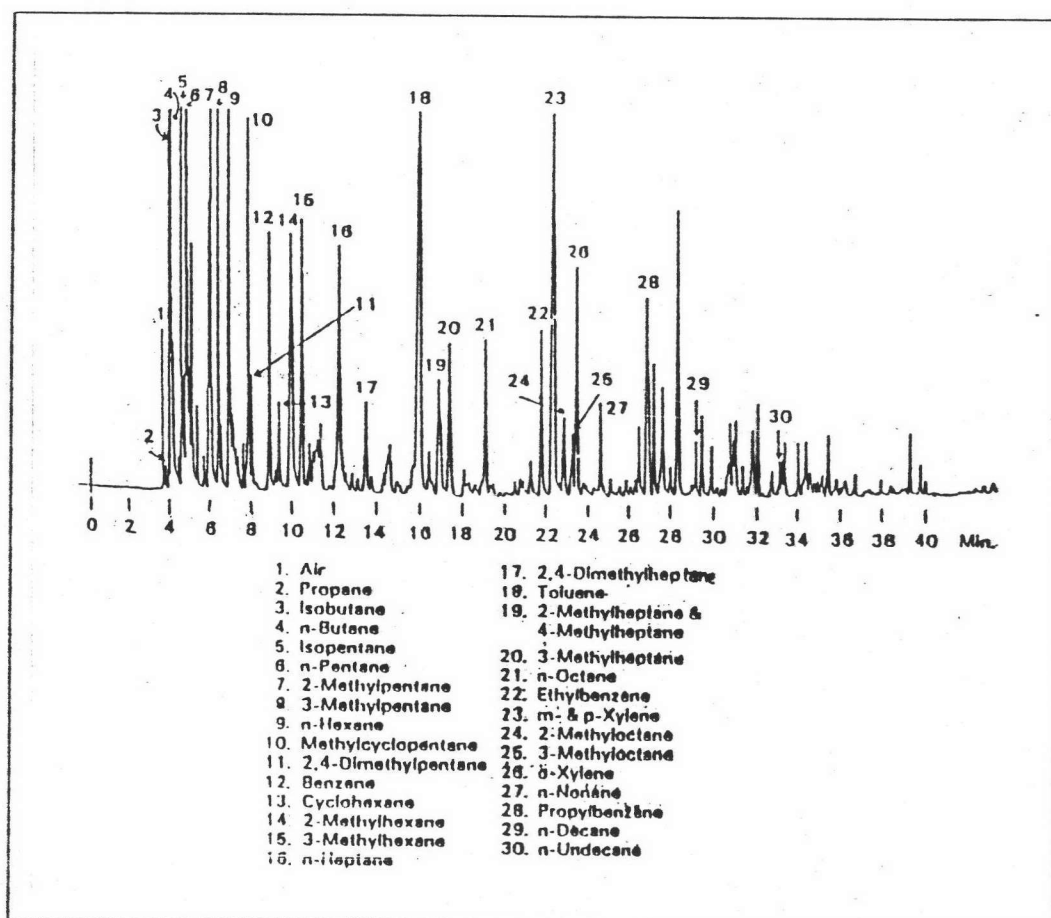
การเตรียมแบ่งออกเป็นสองส่วนสำหรับการวิเคราะห์ซึ่งต่างกันดังนี้

2.3.1 การเตรียมสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน C_3 ถึง C_{10}

เนื่องจากการวิเคราะห์สารไฮโดรคาร์บอนที่ทำการศึกษานี้ เป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนในหนึ่งโมเลกุล ระหว่าง C_3 ถึง C_{10} ซึ่งมีปริมาณ ยี่สิบเก้าตัว และในจำนวนนี้ เบนซีน โทลูอีน และ ไซลีน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และมีความเป็นพิษสูงกว่าชนิดอื่นๆ ดังนั้นการเตรียมสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐานสำหรับใช้คำนวณความเข้มข้นจึงใช้สารทั้งสามชนิดเป็นหลัก แล้วได้ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ เนื่องจากเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี แบบเฟรมไอออนไนเซชัน ดีเทคชัน วัดจำนวนคาร์บอนเป็นหลัก สำหรับการพิจารณาชนิดของสารชนิดอื่นๆ ใช้วิธีการเปรียบเทียบจากโครมาโตแกรม (chromatogramme) ซึ่งผู้ผลิตคานิลาสีคอลัมน์ได้วิเคราะห์ไว้แล้ว

2.3.1.1 วิธีการเตรียมสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน

นำขวดดวงซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ ยี่สิบองศาเซลเซียส ดวงอะซีโตนให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร (ผู้ผลิตขวดดวงได้กำหนดปริมาตร 250 ± 0.15 มิลลิลิตรที่ 20 องศาเซลเซียส) ผสมกับเบนซีน โทลูอีน และไซลีนซึ่งตวงด้วย ไมโครไซริงจ์ (Microlitre syringe) ขนาด 25 ไมโครลิตร ให้ได้ปริมาตร 125 ไมโครลิตร 75 ไมโครลิตร และ 50 ไมโครลิตรตามลำดับ เขย่าให้เข้ากันแล้วเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเช่นเดิม เพื่อป้องกันการระเหย



รูปที่ 3.1 โครมาโตแกรมของคานิลารี คอลัมน์ SPB-TM1 ยี่ห้อSPELCO(19)

2.3.1.2 หลักการและการคำนวณ

เนื่องจากสาร เบนซีน โทลูอีน และ ไซลีน มีจุดเดือดอยู่ระหว่าง 80 ถึง 144 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมา-

โตกราฟ ซึ่งอุณหภูมิของอินเจคชันพอก สูงถึง 200 องศาเซลเซียส สารทั้ง 3 ชนิดจะกลายเป็นไอทันทีทั้งหมด และสามารถเปรียบเทียบความเข้มข้นของตัวอย่างก๊าซซึ่งฉีดในรูปของก๊าซได้ ตัวอย่างก๊าซฉีดครั้งละ 0.05 มิลลิลิตร และสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐานฉีดครั้งละ 1 ไมโครลิตร การคำนวณความเข้มข้นของตัวอย่างเปรียบเทียบกับสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน มีขั้นตอนดังนี้

สารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน ซึ่งมี อะซีโตน 250 มิลลิลิตรรวมกับ เบนซีน 125 ไมโครลิตร โทลูอีน 75 ไมโครลิตร และ ไซลีน 50 ไมโครลิตรจะมีปริมาตรรวมเป็น 250250 ไมโครลิตร เมื่อใช้ตัวเทียบ 1 ไมโครลิตรจะมีเนื้อสารเบนซีน โทลูอีน และ ไซลีน ดังนี้

$$\text{น้ำหนักของสาร} = (\text{ปริมาตรของสาร} \times \text{ความหนาแน่น}) / \text{ปริมาตรของสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน}$$

ดังนั้นน้ำหนักของสารคำนวณได้ดังนี้

เบนซีน	=	$(1 \times 125 \times 0.8787) / 250250 \times 1000$	กรัม
	=	4.38911×10^{-7}	กรัม
โทลูอีน	=	$(1 \times 75 \times 0.866) / 250250 \times 1000$	กรัม
	=	2.5954×10^{-7}	กรัม
ไซลีน	=	$(1 \times 50 \times 0.86472) / 250250 \times 1000$	กรัม
	=	1.72771×10^{-7}	กรัม

เมื่อนำสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน ฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟจะได้พีค (peak) สี่พีค คือ อะซีโตน เบนซีน โทลูอีน และไซลีน พร้อมค่าพื้นที่ใต้พีคซึ่งอินทีเกรเตอร์จะคำนวณมาให้ และ นำน้ำหนักของอะซีโตนมาพิจารณาพื้นที่ของพีคของสาร สาม ชนิด จะกำหนดให้เป็นตัวแปรเพื่อการคำนวณดังนี้

$$\text{ให้ เบนซีน ได้พื้นที่ใต้พีค} = X$$

$$\text{โทลูอีน ได้พื้นที่ใต้พีค} = Y$$

$$\text{ไซลีน ได้พื้นที่ใต้พีค} = Z$$

ค่าที่กำหนดนี้ ได้นำมาคำนวณหาปริมาณเนื้อสารเปรียบเทียบระหว่างสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน กับตัวอย่างก๊าซ โดยกำหนดให้

ตัวอย่างก๊าซมีพื้นที่ผิวดังนี้

$$\text{เบนซีน} \quad \text{ได้พื้นที่ผิว} = X_1$$

$$\text{โทลูอีน} \quad \text{ได้พื้นที่ผิว} = Y_1$$

$$\text{ไซลีน} \quad \text{ได้พื้นที่ผิว} = Z_1$$

เมื่อนำพื้นที่ผิวระหว่าง สารไฮโดรคาร์บอน

มาตรฐาน และ ตัวอย่างก๊าซมาเปรียบเทียบหาเนื้อสารได้

$$\text{เบนซีน} = (X_1 \times 4.38911 \times 10^{-7}) / X \quad \text{กรัม}$$

$$\text{โทลูอีน} = (Y_1 \times 2.5954 \times 10^{-7}) / Y \quad \text{กรัม}$$

$$\text{ไซลีน} = (Z_1 \times 1.72771 \times 10^{-7}) / Z \quad \text{กรัม}$$

จำนวนเนื้อสารที่คำนวณได้นี้ จะต้องเปลี่ยน

เป็นปริมาตรที่สถานะก๊าซเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของสารแต่ละชนิด ในปริมาตรของตัวอย่างก๊าซ 0.05 มิลลิลิตรใช้กฎของก๊าซ (Gas's law) ซึ่งกำหนดไว้ว่าไอสาร และก๊าซทุกชนิดจำนวน 1 กรัม-โมล (gm-mol) จะมีปริมาตร 24.45 ลิตรที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ดังนั้นปริมาตรของสารทั้ง สาม ชนิด คำนวณได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\text{เบนซีน} = (X_1 \times 4.38911 \times 10^{-7} \times 24.45 \times 10^3) / (X \times 78.11) \quad \text{ไมโครลิตร}$$

$$\text{โทลูอีน} = (Y_1 \times 2.5954 \times 10^{-7} \times 24.45 \times 10^3) / (Y \times 92.13) \quad \text{ไมโครลิตร}$$

$$\text{ไซลีน} = (Z_1 \times 1.72771 \times 10^{-7} \times 24.45 \times 10^3) / (Z \times 106.16) \quad \text{ไมโครลิตร}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสาร คำนวณได้จาก

$$\text{เบนซีน} = (X_1 \times 0.13739 \times 20000) / (X \times 50 \times 20000) \quad \text{พีพีเอ็ม}$$

$$\text{โทลูอีน} = (Y_1 \times 0.06888 \times 20000) / (Y \times 50 \times 20000) \quad \text{พีพีเอ็ม}$$

$$\text{ไซลีน} = (Z_1 \times 0.03979 \times 20000) / (Z \times 50 \times 20000) \quad \text{พีพีเอ็ม}$$

เมื่อคำนวณความเข้มข้นของสาร ทั้งสามชนิด

ในตัวอย่างก๊าซได้แล้ว สามารถนำไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ ได้โดยเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ผิว แต่เนื่องจากเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีซึ่งใช้เฟรมไอออนไนเซชัน ดีเทคเตอร์มีคุณสมบัติทางด้าน การตอบสนอง (Sensitivity) ของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดไม่เท่ากัน โดยการตอบสนองนั้นขึ้นกับจำนวนอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของสาร ดังนั้นจึงต้องคำนวณค่าการตอบสนองของสารแต่ละชนิดจากความสัมพันธ์

การตอบสนอง = น้ำหนักของคาร์บอนใน 1 โมเลกุล / น้ำหนักโมเลกุล

การคำนวณ ได้แบ่งการเปรียบเทียบออกเป็นสามกลุ่ม โดยเบนซีนใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไฮโดรคาร์บอนระหว่าง C_3 ถึง C_8 โทลูอีนใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของไฮโดรคาร์บอนเฉพาะ C_7 และ ไชลีนใช้เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารไฮโดรคาร์บอนระหว่าง C_8 ถึง C_{10} (ภาคผนวก ก)

2.3.2 สารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน C_1 ถึง C_5

ได้ใช้ก๊าซที่ทราบค่าความเข้มข้น (Standard gas) เปรียบเทียบกับตัวอย่าง (ภาคผนวก ก)

2.4 การเตรียมถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ

ถุงเก็บตัวอย่างก๊าซใช้ขนาดบรรจุหนึ่งลิตร ในการทำให้ตัวอย่างก๊าซเจือจาง (Dilution) เพื่อวัดความเข้มข้นก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนตริกออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ได้ใช้ถุงชนิดเดียวกันขนาดบรรจุสี่ลิตร เนื่องจากถุงที่ใช้เป็นถุงพลาสติกชนิด เทดลาร์ ซึ่งยังคงมีคุณสมบัติเหมือนพลาสติกชนิดอื่นคือ มีช่องว่างระหว่างเนื้อพลาสติก ทำให้โมเลกุลของก๊าซบางชนิดผ่านออกได้ (Permeation) ดังนั้นเมื่อเก็บตัวอย่างก๊าซไว้ช่วงเวลาานกว่าสี่สิบสี่ชั่วโมงความเข้มข้นก๊าซจะลดลงซึ่งจะต้องทดสอบความเข้มข้นของก๊าซที่ลดลงต่อเวลาที่ผ่านไปด้วย

2.4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ

นำถุงเก็บตัวอย่างไปบรรจุก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไนตริกออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วนำมาวัดค่าความเข้มข้นที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ยี่สิบสี่ สิบแปด และเจ็ดสิบสองชั่วโมง สำหรับชนิด และปริมาณของไฮโดรคาร์บอนใช้ไอของน้ำมันก๊าซ ไชลีนบรรจุ แล้วนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นลดลง เมื่อเวลาผ่านไป ยี่สิบสี่ สิบแปด และเจ็ดสิบสองชั่วโมง เช่นกัน

2.4.2 การล้างถุงเก็บตัวอย่างก๊าซ

เมื่อนำถุงเก็บตัวอย่างไปใช้งานแล้ว จะนำไปใช้ใหม่จะ

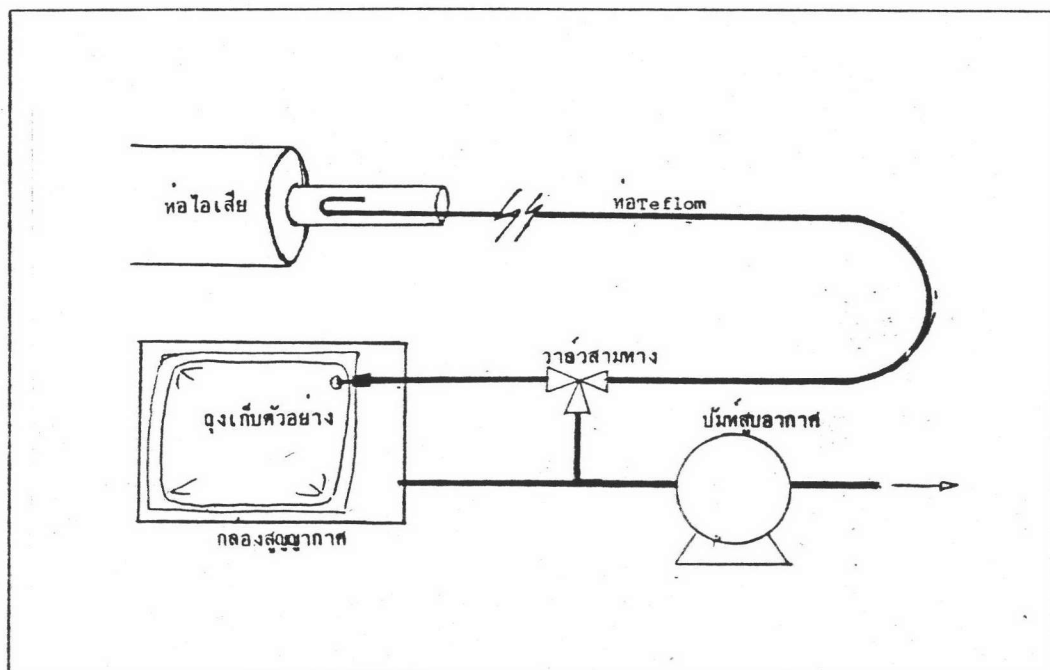
ต้องล้างด้วยการเติมไนโตรเจนบริสุทธิ์ให้เต็ม แล้วระบายออก ทำเช่นนี้สามครั้ง ก๊าซที่ค้างอยู่จะถูกไล่ออกหมด

การเก็บตัวอย่างก๊าซจากท่อไอเสีย

1 การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างก๊าซจากท่อไอเสียของรถยนต์ส่วนบุคคล จำนวนยี่สิบคัน รถจักรยานยนต์สองจังหวะจำนวนยี่สิบคัน รถจักรยานยนต์สี่จังหวะจำนวนสิบคัน รถแท็กซี่จำนวนห้าคัน และรถสามล้อจำนวนห้าคัน ในขณะที่รถแต่ละคันใช้รอบเครื่องเดินเบา ใช้ความเร็วสิบ สิบแปด ยี่สิบแปด และหกสิบกิโลเมตรต่อชั่วโมง คันละห้าตัวอย่าง ซึ่งรวมจำนวนตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ทั้งสิ้น สามร้อยตัวอย่าง

2 เครื่องมือเก็บตัวอย่างไอเสีย



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องมือเก็บตัวอย่างก๊าซจากท่อไอเสียรถยนต์

การศึกษาครั้งนี้ได้ออกแบบเครื่องเก็บตัวอย่างก๊าซ ซึ่งมีการทำงานดังนี้ คือปลายท่อเฟลลอน ต้องสอดเข้าไปในท่อไอเสียให้ลึกที่สุด ปลายท่ออีกด้านหนึ่งต่อกับ วาล์วสามทาง (Three ways valve) จากวาล์วสามทางหนึ่งต่อเข้ากับถุงเก็บตัวอย่าง ก๊าซในกล่องสุญญากาศ และอีกปลายหนึ่งแยกไปต่อกับกล่องสุญญากาศ อีกปลายหนึ่งต่อกับ บิมท์สูบอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

ขณะเก็บตัวอย่างก๊าซ วาล์วสามทางอยู่ในตำแหน่งควบคุมให้ก๊าซไหลผ่าน จากท่อเฟลลอน (เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร) ผ่านออกไปทางบิมท์สูบอากาศ เมื่อรถยนต์วิ่งได้ความเร็วตามที่กำหนดแล้ว จึงปล่อยให้บิมท์สูบอากาศที่ค้างอยู่ในท่อทิ้งไป แล้วจึงเปลี่ยนวาล์วไปอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้บิมท์สูบอากาศ ดึงอากาศออกจากกล่อง สุญญากาศ เมื่อความดันในกล่องสุญญากาศลดลง ตัวอย่างก๊าซจะไหลจากปลายท่อเก็บตัว อย่างซึ่งสอดอยู่ในท่อไอเสีย เข้าถุงโดยอัตโนมัติ ซึ่งวิธีการนี้ตัวอย่างอากาศจะไหลผ่านท่อ เฟลลอน และวาล์วสามทางเท่านั้น ทำให้ไม่มีการปนเปื้อนในตัวอย่างก๊าซ

จากการคำนวณท่อเก็บตัวอย่างเฟลลอน มีปริมาตรอากาศ 87 มิลลิลิตร แต่บิมท์สูบอากาศมีอัตราการสูบอากาศผ่านท่อนี้มากกว่า 2000 มิลลิลิตร ต่อ หนึ่งนาที ซึ่ง แสดงให้เห็นว่า การไล่อากาศที่ค้างอยู่ในท่อจะใช้เวลาน้อยกว่าสองวินาที จากการทดลองให้เครื่องเก็บตัวอย่างก๊าซทำงานจริงจะใช้เวลา หก ถึง แปดวินาที จึงจะเก็บตัว อย่างเต็มถุง ดังนั้นเมื่อรถยนต์วิ่งได้ความเร็วตามที่กำหนดแล้วจะเปิดบิมท์ให้สูบอากาศ ที่ค้างอยู่ในท่อทิ้ง สองวินาทีแล้วเก็บตัวอย่างก๊าซอีก หก ถึง แปดวินาที รวมเป็นเวลาทั้งสิ้น สิบวินาที

3 การเตรียมรถยนต์ที่ใช้เลือกศึกษา

รถยนต์ที่จะนำมาเก็บตัวอย่างก๊าซจะต้องทำตามขั้นตอนดังนี้

3.1 ใช้งานตามสภาพปกติเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า ห้า กิโลเมตรซึ่งใช้ เวลาประมาณ สิบห้านาทีถึงยี่สิบนาที เพื่อให้อุณหภูมิและสภาพทั่วไปของเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะ ใช้งานตามปกติ แล้วสอบเทียบความเร็วบนมิเตอร์วัดความเร็วของรถยนต์คันนี้เข้ากับรถยนต์

ที่ได้ปรับแต่งแล้ว

3.2 บันทึกลักษณะทั่วไปและลักษณะเฉพาะของรถยนต์คันนั้นๆ เช่นประเภทเชื้อเพลิงที่ใช้ ชนิดของเครื่องยนต์ อายุการใช้งานและอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

3.3 เก็บตัวอย่างที่ความเร็วต่างๆ กัน โดยให้เจ้าของหรือผู้ขับขี่รถยนต์คันนั้นเป็นผู้ควบคุมการใช้งานรถยนต์ตามปกติ แล้วรับนำตัวอย่างก๊าซกลับมาวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์ตัวอย่างก๊าซ

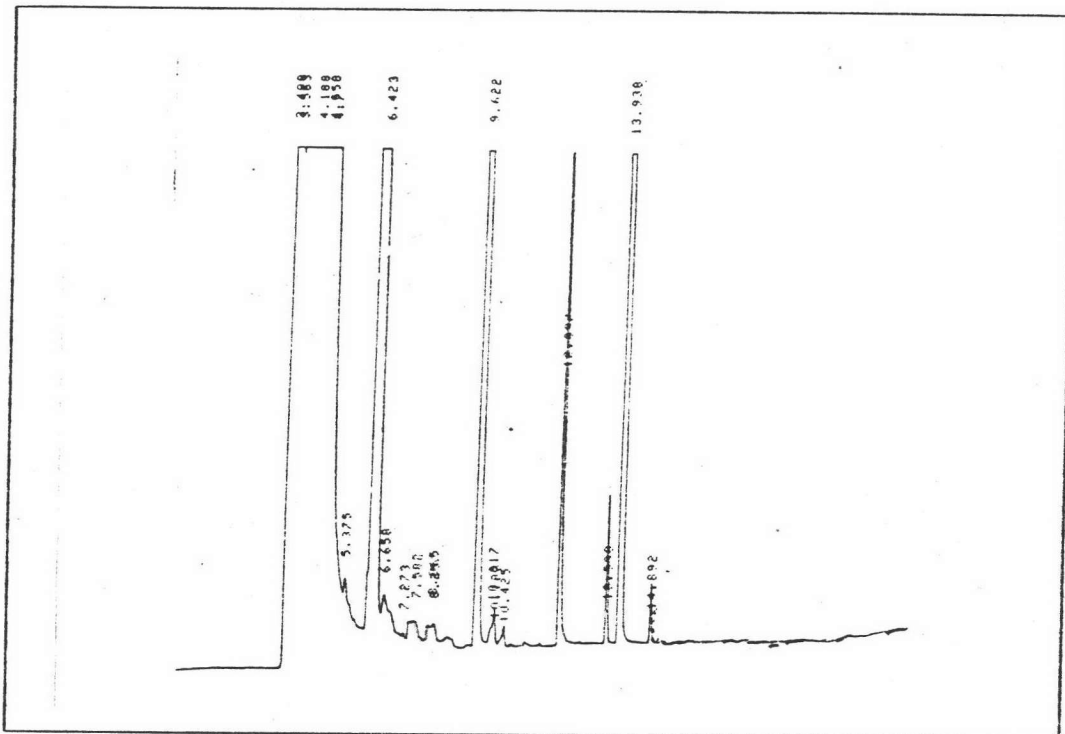
ก่อนเก็บตัวอย่าง ได้เตรียมเครื่องวัด และเครื่องวิเคราะห์ทุกเครื่องไว้พร้อมแล้วตามรายละเอียดในตอนต้นของบทนี้ เมื่อนำตัวอย่างมาถึงห้องปฏิบัติการแล้วจึงนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นดังนี้

1 วิเคราะห์ปริมาณ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนตริกออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน

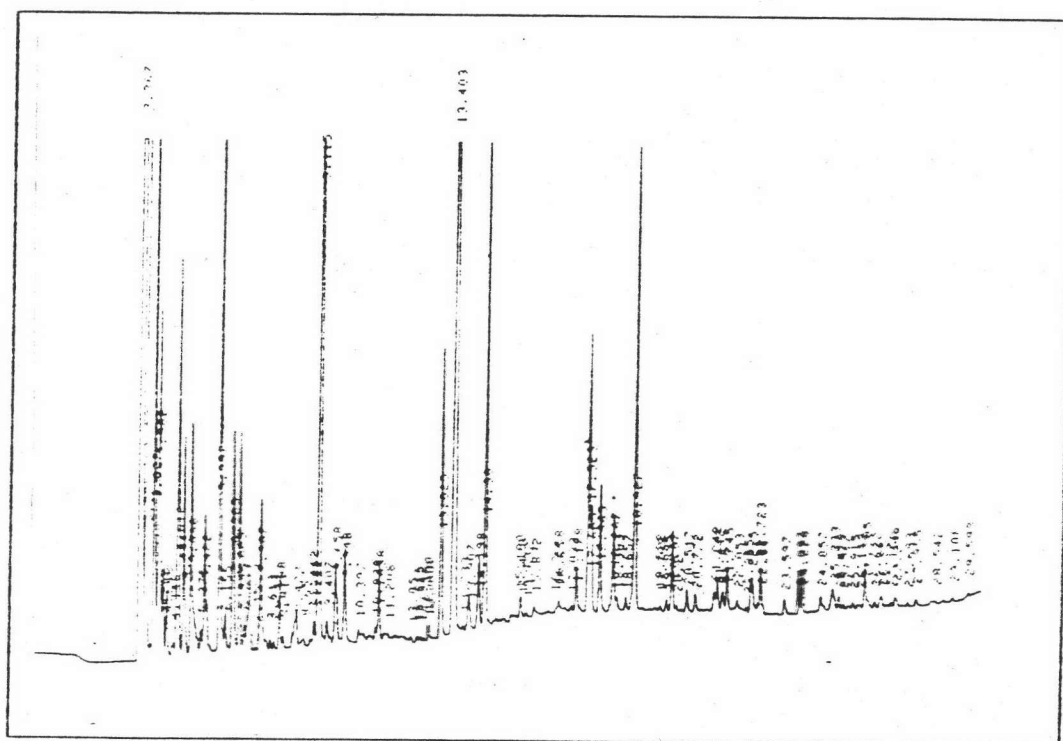
การทำให้เจือจาง ใช้อากาศบริสุทธิ์จากเครื่องผลิตอากาศบริสุทธิ์จำนวนลิบลิตร ผ่านการวัดปริมาตรด้วยเครื่องวัดปริมาตรอากาศแบบขึ้น เพื่อวัดปริมาตรอากาศซึ่งบรรจุลงถุงพลาสติก ชนิดเทดลาร์ขนาดยี่สิบลิตร แล้วจึงนำตัวอย่างก๊าซมาผสม โดยตรง ปริมาตรด้วย ไชลิงจ์ ชนิด แอร์โททขนาด 10 มิลลิลิตร ซึ่งได้สัดส่วนที่เหมาะสมกับความเข้มข้นที่เครื่องวัดก๊าซสามารถวัดได้ แล้วจึงคำนวณกลับไปหาความเข้มข้นจริงอีกครั้งหนึ่ง

2 การวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ

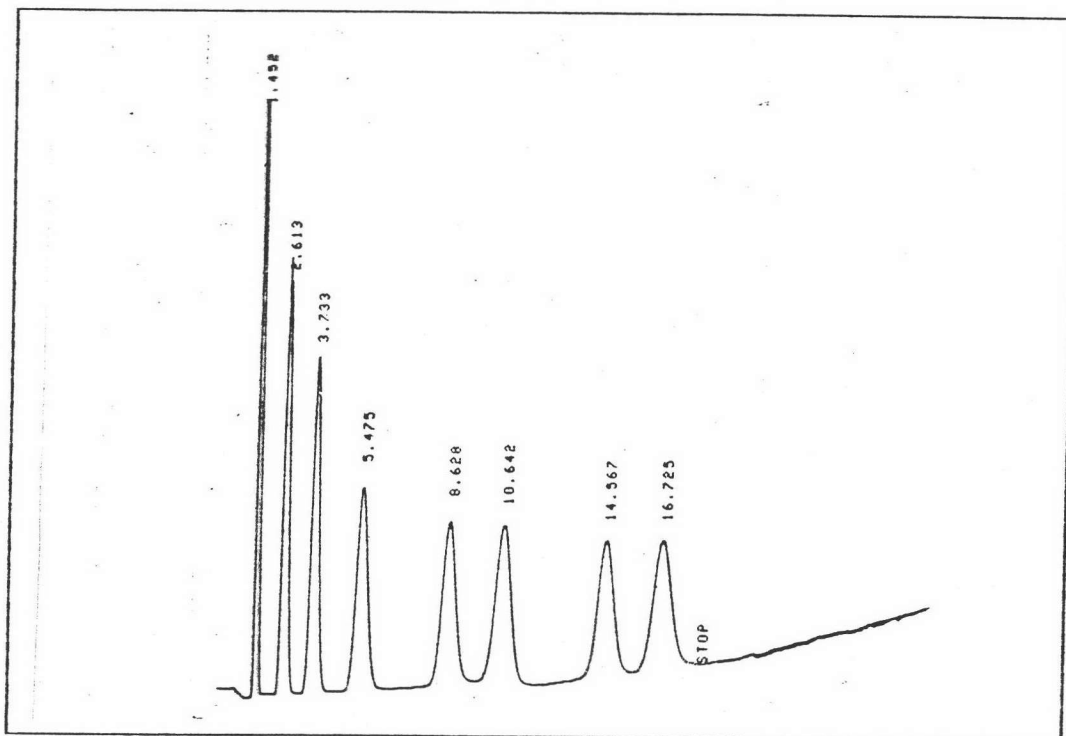
นำตัวอย่างก๊าซฉีดเข้าเครื่องโดยตรง แยกพีคของไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิด โดยเปรียบเทียบกับโครมาโตแกรม ในรูปที่ 3.1 แล้วนำมาหาความเข้มข้นโดยคำนวณพื้นที่พีค เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐาน



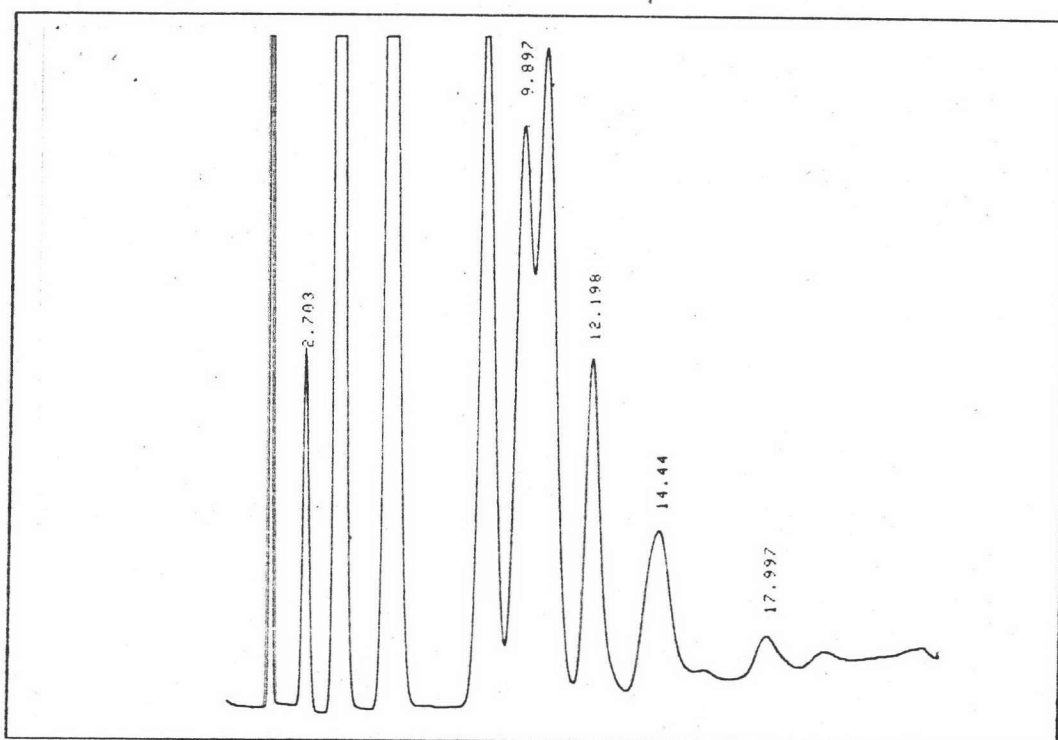
รูปที่ 3.3 พิกของสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐานจากการเตรียม(C₃ ถึง C₁₀)



รูปที่ 3.4 พิกของตัวอย่างก๊าซจากเชื้อเพลิงก๊าซโซลีนเหลว



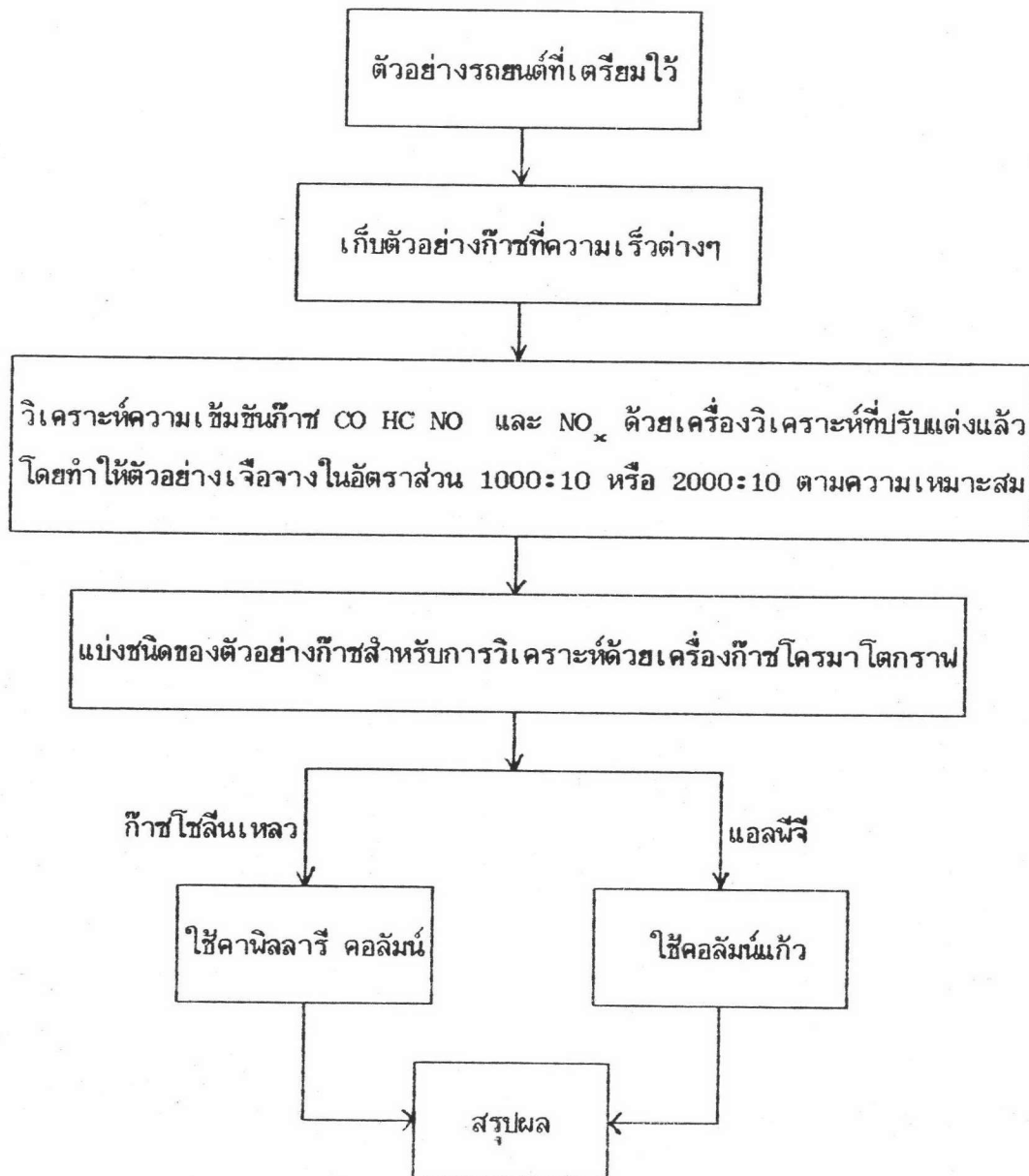
รูปที่ 3.5 พิกของสารไฮโดรคาร์บอนมาตรฐานจากก๊าซมาตรฐาน(C₁ ถึงC₅)



รูปที่ 3.6 พิกของตัวอย่างก๊าซจากเขื่อนพลังน้ำ

ขั้นตอนการดำเนินการ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในขั้นตอนการดำเนินการวิจัยจึงได้สรุปขั้นตอนต่างๆ
ดังแสดงในแผนภาพต่อไปนี้



การสรุปผลการวิเคราะห์

การสรุปผล

จะใช้หลักการทางสถิติในการประเมินผล

และแสดงผล

ดังต่อไปนี้

1 แสดงค่าพิสัย (Range) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดต่ำสุดของความเข้มข้นสารมลพิษที่วิเคราะห์ได้แต่ละชนิด

2 แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) จากความสัมพันธ์

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

เมื่อ X คือค่าเฉลี่ย
 x คือความเข้มข้นก๊าซ
 n คือจำนวนตัวอย่าง

3 หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) จากความสัมพันธ์

$$(S.D.)^2 = \left(\sum x^2 - (\sum x)^2/n \right) / (n - 1)$$

4 ใช้วิธีการทางสถิติอื่นๆ

5 นำผลที่ได้มาสรุป และเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในประเทศไทยและของต่างประเทศ