บทที่ 2

ทฤษฎี และรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากปัญหามลพิษทางอากาศจะก่อให้เกิดความเสียหายได้มาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสาเหตุของการเกิด เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางป้องกันและแก้ไข ในต่างประเทศนั้น ได้มีการศึกษาค้นคว้าปัญหาต่างๆและรายงานผลแล้วเป็นจำนวนมาก แต่ในประเทศไทยนั้นยังมีการดำเนินการน้อยกว่า การศึกษาสาเหตุของปัญหาในครั้งนี้ จึงได้ค้นคว้าเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศมาแสดง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินงานดังต่อไปนี้

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา

จากตารางที่ 1.1 ในบทที่ 1 แสดงให้เห็นว่ายานพาหนะซึ่งได้แก่ รถยนต์ เป็นแหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญ รถยนต์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal combusion engine) ซึ่งเครื่องยนต์ประเภทนี้ยังแบ่งออกตามลักษณะการทำงานและเชื้อเพลิงที่ใช้ดังต่อไปนี้

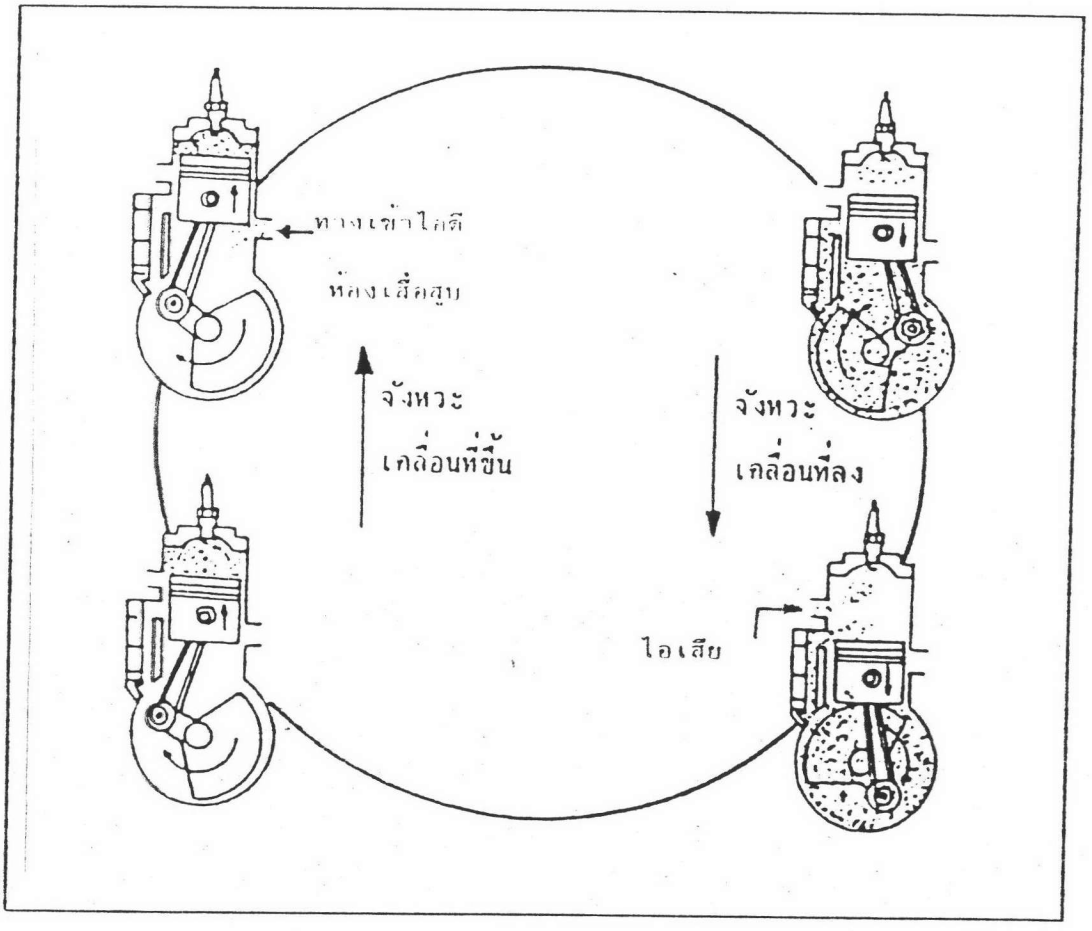
1 เครื่องยนต์ที่ใช้กับยานพาหนะ

1.1 เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน (Gasoline engine) เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงเหลวก๊าซโซลีน (หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าน้ำมันเบนซิน) หรือก๊าซ แอลพีจี (Liquid Petroleum Gas : LPG) ในการเผาไหม้เพื่อให้เกิดพลังงานขับเคลื่อน เครื่องยนต์ชนิดนี้ยังแบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนชนิดสองจังหวะ และชนิดสี่จังหวะ โดยมีวงจรของการทำงานดังต่อไปนี้

1.1.1 เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสองจังหวะ เป็นเครื่องยนต์ที่ไม่มีลิ้นไอดีและลิ้นไอเสีย ลูกสูบและเสื้อสูบจะทำหน้าที่แทน การทำงานครบวงจรเพลาข้อเหวี่ยง

จะหมุนเพียงหนึ่งรอบ ดังขั้นตอนต่อไปนี้(3)

จังหวะที่ 1 เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งสูงสุด จะอัดอากาศผสมเชื้อเพลิง



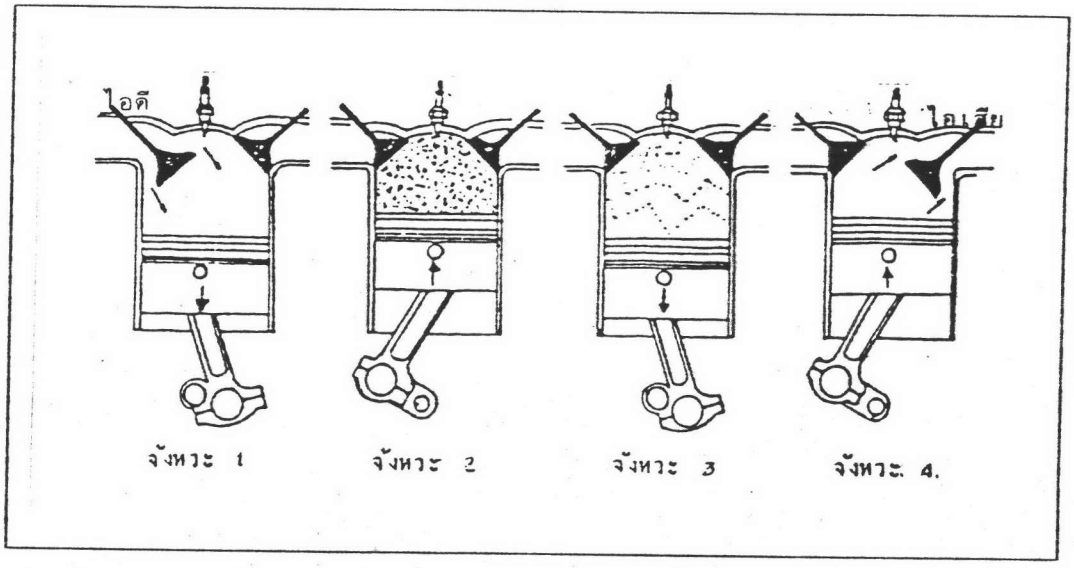
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสองจังหวะ(25)

ในห้องสันดาป พร้อมกันนั้นช่องไอดีจะเปิดพร้อมกับในห้องเสื้อสูบ (Crankcase) จะมีความดันต่ำดึงเอาไอดีเข้าไป และหัวเทียนจะจุดระเบิดเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อัดไว้ในขณะเดียวกัน ส่วนผสมเชื้อเพลิงจะถูกสันดาปอย่างรุนแรงและเกิดการขยายตัว ลูกสูบจะถูกดันลงมาได้ช่วงหนึ่ง ช่องไอเสียจะเปิดปล่อยให้ไอเสียระบายออกไปได้ส่วนหนึ่ง

จังหวะที่ 2 เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาถึง ทรานส์เฟอ พอร์ท (Transfer port) ซึ่งต่อจากห้องเสื้อสูบจะเปิด ทำให้ไอดีที่อยู่ในห้องเสื้อสูบถูกดันเข้าไปในห้องสันดาปพร้อมกับไล่ไอเสียออกมาเกือบทั้งหมด แล้วลูกสูบจะอัดไอดีขึ้นไปอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะซ้ำกับจังหวะที่ 1

เครื่องยนต์ชนิดนี้มีข้อดีคือให้กำลังขับเคลื่อนสูงเพราะมีการจุดระเบิดให้พลังงานทุกครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนถึงจุดสูงสุด แต่มีข้อเสียคือในจังหวะคายไอเสียจะมีไอดีบางส่วนปะปนออกมา และเนื่องจากในห้องเสื้อสูบไม่มีการหล่อลื่นจึงต้องผสมน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปพร้อมกับน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจะถูกเผาไหม้พร้อมกันทำให้ไอเสียมีสีขาว

1.1.2 เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสี่จังหวะ มีการทำงานคล้ายกับเครื่อง



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสี่จังหวะ(3)

ยนต์ก๊าซโซลีนสองจังหวะ แต่วงจรของการทำงานมีสี่ขั้นตอนคือ

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด ที่ลิ้นไอดีจะเปิดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะทำให้อากาศภายนอกถูกสูบผ่านคาร์บูเรเตอร์ พร้อมกับน้ำมันเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่ถูกปรับไว้อย่างเหมาะสม

จังหวะที่ 2 จังหวะอัด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงต่ำสุดลิ้นไอดีจะปิดลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นอัดส่วนผสมให้เกิด คอมเพรสชันเรโช (Compression ratio) ประมาณ 8.5:1 ถึง 10:1 และทำให้เกิดความร้อนสูงประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส ในห้องสันดาป

จังหวะที่ 3 จังหวะระเบิด เป็นจังหวะที่หัวเทียนจุดประกายไฟฟ้าที่ตำแหน่งสูงสุดของลูกสูบทำให้เกิดการสันดาปอย่างรุนแรง เชื้อเพลิงและอากาศขยายตัวอย่างรวดเร็วประมาณ 40ถึง45 เท่าของความดันบรรยากาศดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไปชับเพลาข้อเหวี่ยง

จังหวะที่ 4 จังหวะคาย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงต่ำสุด ลิ้นไอเสียจะเปิด ใน

ขณะนั้นลูกสูบจะเคลื่อนที่ขึ้นด้วยแรงเฉื่อยของล้อตุนแรงแล้วดันไล่ไอเสียออกจากห้องสันดาป เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดสูงสุดลิ้นไอเสียจะปิดพร้อมกับลิ้นไอดีจะเปิดแล้ววงจรการทำงานจะซ้ำจังหวะที่ 1 ต่อไป

1.2 เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel engine) เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมันก๊าซโซลีน เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน มีสองชนิดเช่นกันคือ ชนิด สองจังหวะ และ สี่จังหวะ ซึ่งมีการทำงานดังนี้

1.2.1 เครื่องยนต์ดีเซลสองจังหวะ จะมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสองจังหวะ ต่างกันที่การบรรจุไอดีเข้าห้องสันดาป จะใช้นัดลมอัดไอดีผ่านรูในกระบอกสูบ (ports in cylinder wall) และมีลิ้นไอเสียเป็นช่องระบายไอเสีย

1.2.2 เครื่องยนต์ดีเซลสี่จังหวะ ซึ่งมีวงจรการทำงานคล้ายคลึงเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสี่จังหวะ แต่การอัดไอดีจะต่างกันคือ

จังหวะที่ 1 จังหวะดูด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงพร้อมกับลิ้นไอดีเปิดปล่อยให้อากาศภายนอกเข้าไปในห้องสันดาป ลิ้นไอดีจะปิดเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงต่ำสุด

จังหวะที่ 2 จังหวะอัด ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ในขณะที่ลิ้นไอดีและไอเสียปิดสนิท อากาศทั้งหมดจะถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงตั้งแต่ 14:1 ถึง 22:1 ซึ่งจะทำให้เกิดความดันสูงขึ้นตั้งแต่ 30ถึง45 เท่าของบรรยากาศ เกิดความร้อนสูงขึ้นระหว่าง 500-700 องศาเซลเซียส

จังหวะที่ 3 จังหวะระเบิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่สูงสุด ปั๊มหัวฉีดจะฉีดเชื้อเพลิงผ่านรูหัวฉีดเข้าไปในห้องสันดาป จากความร้อนสูงของอากาศที่ถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงในจังหวะที่ 2 จะทำให้เชื้อเพลิงติดไฟแล้วขยายตัวอย่างรุนแรง จนมีแรงดันสูงถึง 60-80 เท่าของบรรยากาศ ดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงอย่างรวดเร็ว

จังหวะที่ 4 จังหวะคาย เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงมาเกือบต่ำสุดลิ้นไอเสียจะเปิด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นสูงสุดไอเสียจะถูกดันออกจากห้องสันดาปแล้วซ้ำในจังหวะที่ 1 ต่อไป

เครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสองจังหวะ นิยมใช้ในรถจักรยานยนต์ขนาดเล็ก รถสามล้อ ส่วนเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนสี่จังหวะ ใช้ในรถจักรยานยนต์ขนาดเล็กบางยี่ห้อ และขนาดใหญ่ ตลอดจนรถยนต์ส่วนบุคคล รถแท็กซี่ รถสี่ล้อเล็ก และรถบรรทุกขนาดเล็กบางรุ่น ส่วนเครื่องยนต์ดีเซลสองจังหวะไม่นิยมใช้แต่จะใช้ชนิดสี่จังหวะมาก

ในรถโดยสาร และรถบรรทุกขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ นอกจากเครื่องยนต์ทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วนี้ปัจจุบันยังมีเครื่องยนต์โรตารี่ (Rotary engine) ซึ่งใช้ลูกสูบแบบหมุนในการให้กำลัง แต่ยังมีที่ใช้น้อยมาก เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นน้ำมันก๊าซโซลีนเช่นกัน

2 น้ำมันเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์ ที่นิยมใช้กันในประเทศไทยมีอยู่สี่ชนิดคือ น้ำมันก๊าซโซลีนที่มีค่าออกเทนแปดสิบสามและเก้าสิบห้า น้ำมันดีเซล และแอลพีจี แต่ละชนิดได้มาจากขบวนการกลั่นจากน้ำมันดิบ ยกเว้นแอลพีจีได้มาจากก๊าซธรรมชาติ ดังนั้นจึงมีลักษณะและคุณสมบัติต่างกันออกไป

น้ำมันก๊าซโซลีนทั้งสองชนิด เป็นส่วนผสมที่ไม่มีสีของ โวลาไทล์ ปิโตรเลียม แฟลคชัน (Volatile petroleum fraction) มีจุดเดือดอยู่ในช่วงสามสิบ ถึงสองร้อย องศาเซลเซียส ที่ใช้กับรถยนต์จะมีความหนาแน่นประมาณ 0.73 น้ำมันชนิดนี้จะแสดงคุณสมบัติเฉลี่ยของสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบ โดยจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกันกับออกเทน (C_8H_{18}) แต่องค์ประกอบจริงจะประกอบไปด้วยสารไฮโดรคาร์บอน ที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนตั้งแต่ C_3 ถึง C_{12} โดยจะให้ความร้อนจำเพาะ (Net calorific value) ประมาณ 43.9 MJ/kg สำหรับในประเทศไทยที่เรียกน้ำมันชนิดนี้ทั่วไปว่า " เบนซินธรรมดา " นั้นจะมีค่าออกเทน (RON) ไม่ต่ำกว่า 82.6 และ " เบนซินพิเศษ " จะมีค่าออกเทนไม่ต่ำกว่า 94.6 น้ำมันชนิดนี้จะมีการเติมสารตะกั่ว (Tetra Ethyl Lead: TEL หรือ Tetra Methyl Lead: TML) ลงไปไม่มากกว่า 0.15 กรัมต่อลิตร เพื่อใช้เป็นตัวป้องกันเครื่องยนต์ " น็อก " ช่วยเพิ่มค่าออกเทนให้อยู่ในระดับที่กำหนดในลักษณะเฉพาะแต่ละชนิดและช่วยหล่อลื่นระหว่างลูกสูบกับเสื้อสูบด้วย ค่าออกเทนนัมเบอร์ของน้ำมันคือระดับการจุดระเบิดที่ดีที่สุด เทียบเท่ากับน้ำมันที่เกิดจากอัตราส่วนผสมร้อยละของไอโซออกเทน(iso-octane) กับเฮพเทน(heptane) และร้อยละของไอโซออกเทน

น้ำมันดีเซล เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม ตั้งแต่ C_{12} ถึง C_{14} ได้จากขบวนการกลั่นจากสายของ ก๊าซออยล์(Gas oils) ผสมกับสาย คีโรซีน (kerosine) มีจุดเดือดอยู่ระหว่าง หนึ่งร้อยแปดสิบ ถึง สามร้อยหกสิบ องศาเซลเซียส

มีความหนาแน่นประมาณ 0.84 ความร้อนจำเพาะประมาณ 42.5 MJ/kg มีค่าออกเทนนัมเบอร์ประมาณ 50 ซึ่งค่าออกเทนนัมเบอร์ของน้ำมันดีเซลนี้หมายถึงระดับการระเบิดที่ดีที่สุดเทียบเท่าน้ำมันที่เป็นอัตราส่วนผสมร้อยละของซีเทน (Cetane $C_{16}H_{34}$) กับแอลฟาเมททิล แนบทาลีน(Alpha-methyl-naphthalene $C_{11}H_{10}$)

แอลพีจี ได้จากการกลั่นก๊าซธรรมชาติ โดยมีส่วนผสมระหว่างโปรเพนและบิวเทน (propane and butane) ในอัตราส่วนประมาณร้อยละเจ็ดสิบต่อสามสิบแต่อาจมีโปรพีน บิวทีน โปรพิลีน และบิวทิลีนเจือปนอยู่บ้าง แอลพีจีมีค่าออกเทนนัมเบอร์ประมาณเก้าสิบห้าถึงหนึ่งร้อยแปดจึงไม่จำเป็นต้องผสมสารตะกั่วเข้าไปด้วย

3 สารมลพิษทางอากาศจากรถยนต์

จากชนิดของเครื่องยนต์ และน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในปฏิกิริยาการสันดาป ไอเสียที่เกิดขึ้นจึงมีองค์ประกอบแตกต่างกันออกไป นอกจากนี้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีจุดเดือดต่ำจึงมีการระเหยออกมาจากจุดต่างๆ ในรถยนต์ได้อีกด้วย

3.1 แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศจากรถยนต์

Verschueren(7) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณสารมลพิษจากรถยนต์อธิบายได้ว่า รถยนต์เป็นแหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศหลายชนิด โดยมีปริมาณการระบายตามจุดต่างๆดังนี้

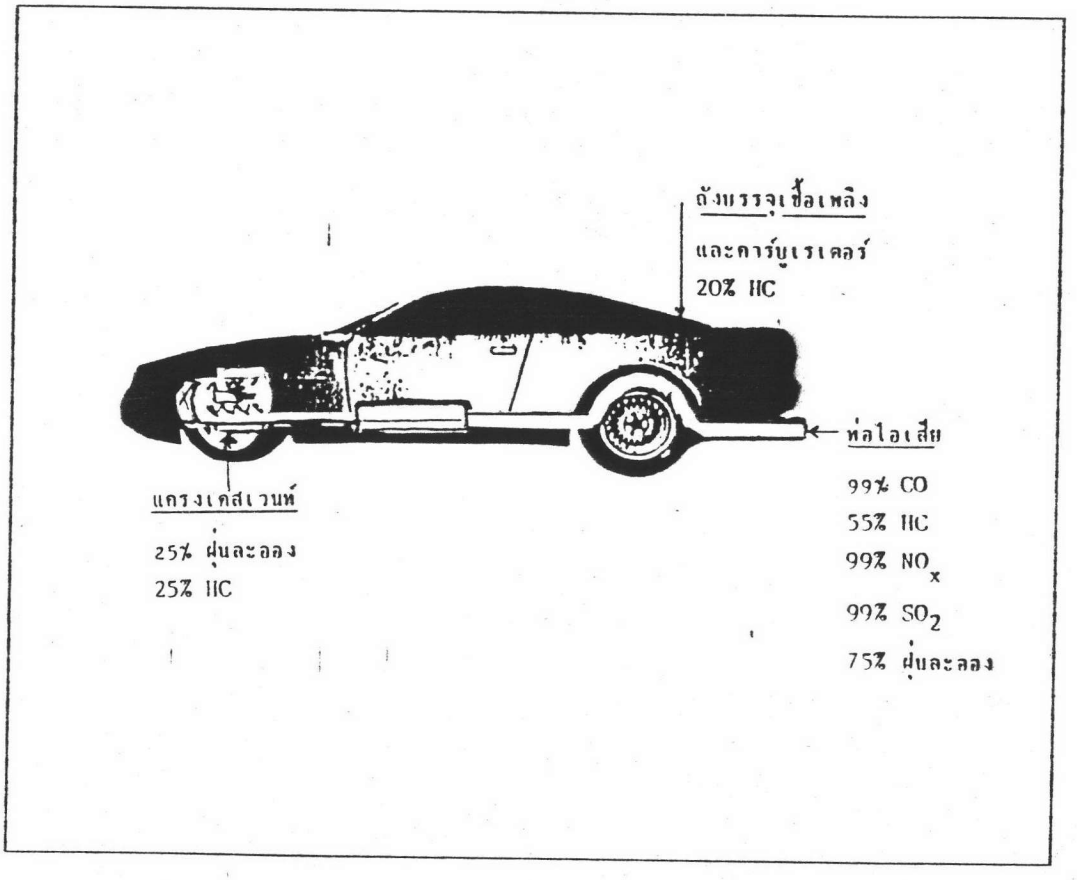
3.1.1 ถังบรรจุน้ำมันเชื้อเพลิง และคาร์บูเรเตอร์ มีการระเหยไฮโดรคาร์บอนร้อยละยี่สิบ

3.1.2 แครงเคส เวนท์ (Crankcase vent) มีการระบายไฮโดรคาร์บอนร้อยละยี่สิบห้า และฝุ่นละอองร้อยละยี่สิบห้า

3.1.3 ที่ท่อไอเสีย จะมีการระบายมากที่สุด คือ มีไฮโดรคาร์บอนออกมาร้อยละห้าสิบห้า คาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละเก้าสิบเก้า ออกไซด์ของไนโตรเจนร้อยละเก้าสิบเก้า ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ร้อยละเก้าสิบเก้า และฝุ่นละอองร้อยละเจ็ดสิบห้า

ตารางที่ 2.1 ร้อยละของสารมลพิษที่ระบายออกจากจุดต่างๆ ในรถยนต์(7)

สารมลพิษ	ถังบรรจุเชื้อเพลิงและคาร์บูเรเตอร์	แครงเคส เวนท์	ท่อไอเสีย
คาร์บอนมอนอกไซด์	-	-	99
ไฮโดรคาร์บอน	20	25	55
ออกไซด์ของไนโตร-เจน	-	-	99
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	-	-	99
ฝุ่นละออง	-	25	75



รูปที่ 2.3 แสดงจุดระบายสารมลพิษทางอากาศจากรถยนต์

3.2 การเกิดสารมลพิษทางอากาศจากเครื่องยนต์

ปฏิกิริยาการสันดาปน้ำมันเชื้อเพลิงที่สมบูรณ์ ผลที่ได้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ดังสมการ

$$C_xH_y + (x + 1/4y)\ O_2 \text{ ----------> } xCO_2 + 1/2yH_2O$$

เช่น การสันดาป ไอโซออกเทน C_8H_{18} จะได้

$$2C_8H_{18} + 25\ O_2 \text{ ----------> } 16CO_2 + 18H_2O$$

การใช้งานเครื่องยนต์ในสภาพทั่วๆไปนั้น การสันดาปเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ในบางสภาวะ สิ่งเจือปนอื่นๆในน้ำมันเชื้อเพลิงและอากาศ จะทำให้เกิดสารมลพิษทางอากาศหลายชนิด ลักษณะการเกิดสารแต่ละตัวอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เกิดจากปฏิกิริยาการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ ในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ ดังสมการ

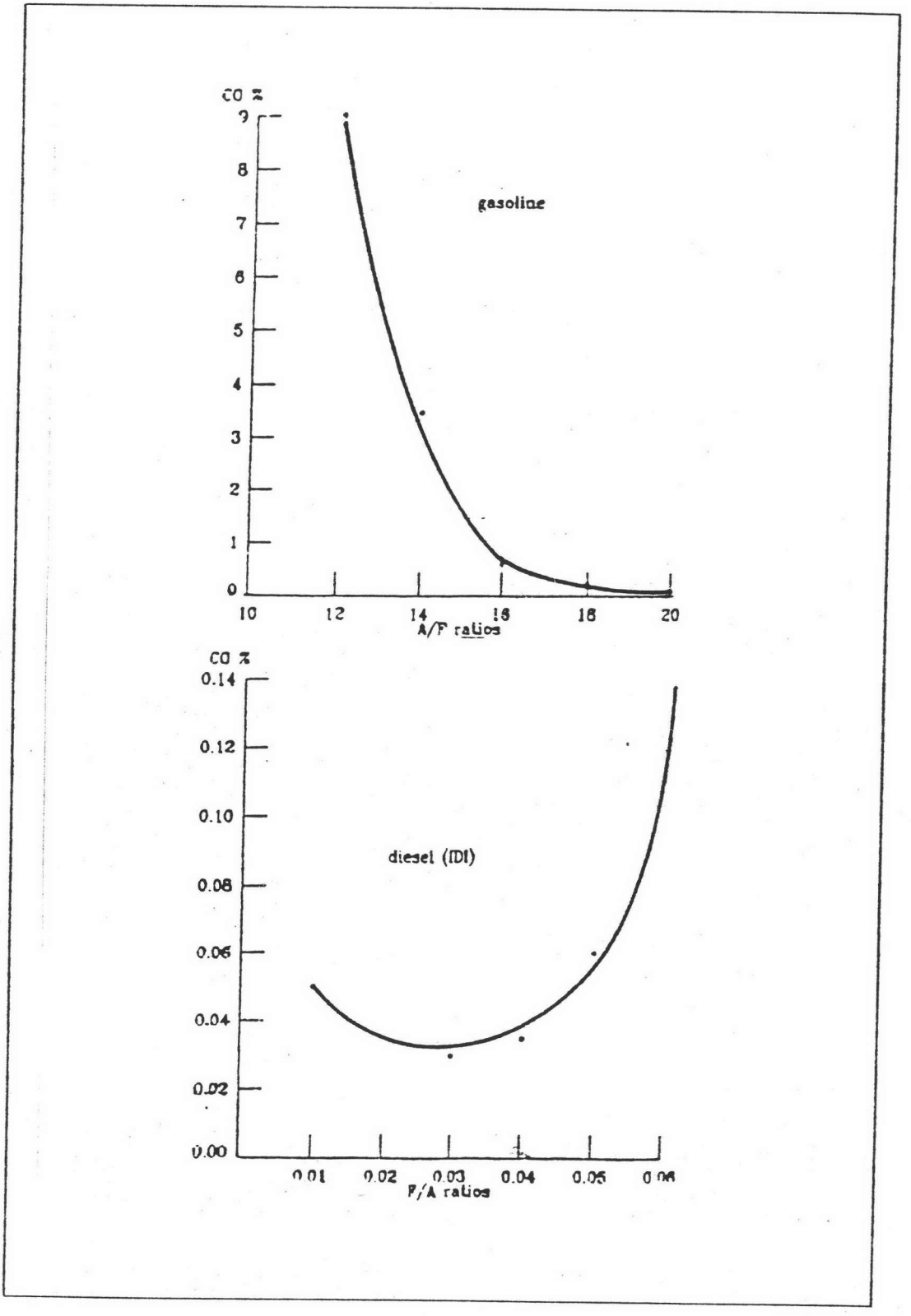
$$C_xH_y + O_2 \text{ ----------> } CO + HC$$

การป้องกันไม่ให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์นั้นเพียงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยามีจำนวนมากเกินพอเท่านั้น ซึ่งเรียกว่าอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air:Fuel ratio) ในเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนค่าอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงจะคำนวณได้จากสมการการสันดาปที่สมบูรณ์ และพิจารณาจากน้ำมันก๊าซโซลีนซึ่งทั่วๆไปมีอัตราส่วนของ C:H = 1:2.04 อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง

$$C_1H_{2.04} + 1.51\ O_2 \text{ ----------> } CO_2 + 1.02\ H_2O$$

ที่เผาไหม้สมบูรณ์ตามทฤษฎีและไม่มีออกซิเจนเหลือเรียกว่า Stoichiometric mixture ซึ่งมีอัตราส่วนประมาณ 15.1 แต่การทำงานของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนมีค่าอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงระหว่าง 8 ถึง 16 ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้นได้มากเมื่ออัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงต่ำกว่า 15.1 แต่อัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าสูงกว่า 20 และอาจมีค่าสูงถึง 40 ได้เมื่อมีความเร็วสูง ดังนั้นจึงพบว่าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนมีการระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมามากกว่าจากเครื่องยนต์ดีเซลมาก นอกจากนี้ในเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนด้วยกัน การใช้เชื้อเพลิงที่ติดไฟได้ง่ายกว่า หรือมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่ำกว่า การเผาไหม้จะเกิดขึ้นดีกว่าด้วย ดังนั้นภาระระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนที่ใช้แอลพีจี จึงต่ำกว่าที่ใช้เชื้อเพลิงเหลว

017525



รูปที่ 2.4 แสดงปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ระบายจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน และเครื่องยนต์ดีเซล(8)

3.2.2 ออกไซด์ของไนโตรเจน ที่เกิดขึ้นในขบวนการสันดาปนั้น คือไนตริกออกไซด์ ไนโตรเจน และ ออกซิเจนในอากาศจะรวมตัวกันโดยจะเกิดได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงมากๆ และปริมาณของออกซิเจนในขณะนั้นด้วย เนื่องจากปฏิกิริยานี้ต้องการออกซิเจนจึงเกิดได้ดีเมื่ออยู่ในภาวะที่มีอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง สูง ดังนั้นอัตราการเกิดก๊าซนี้ในเครื่องยนต์ดีเซลจึงมากกว่าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน เพราะเครื่องยนต์ดีเซล มีค่าอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงและอุณหภูมิในห้องสันดาปสูงกว่าหลายเท่า

3.2.3 ไฮโดรคาร์บอน คือเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้ในขบวนการสันดาป และผลผลิตจากการเผาไหม้ที่ยังไม่สิ้นสุด ไฮโดรคาร์บอนนี้แตกต่างจากการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน คือถ้าเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงและมีออกซิเจนเพียงพอ จะเกิดไฮโดรคาร์บอนค่อนข้างต่ำ การเกิดไฮโดรคาร์บอนทั้งๆ ที่ อัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงอยู่ในระดับที่เพียงพอสำหรับปฏิกิริยาแรง เนื่องจากสาเหตุสำคัญ สี่ประการคือ

3.2.3.1 บริเวณผนังของเสื้อสูบที่ถูกหล่อเย็น (Quench zone) มีอุณหภูมิต่ำ เพราะระบบต้องมีการหล่อเย็น บริเวณผนังกระบอกสูบจึงมีอุณหภูมิต่ำจนกระทั่งไม่เกิดการสันดาป

3.2.3.2 ในบางจุดในกระบอกสูบมีอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงต่ำจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่หมด

3.2.3.3 ในบางจุดในกระบอกสูบเช่นกันมีอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงสูงเกินไป ทำให้สูญเสียความร้อนเนื่องจากอากาศที่มีมากเกินไป จึงไม่เกิดการสันดาป

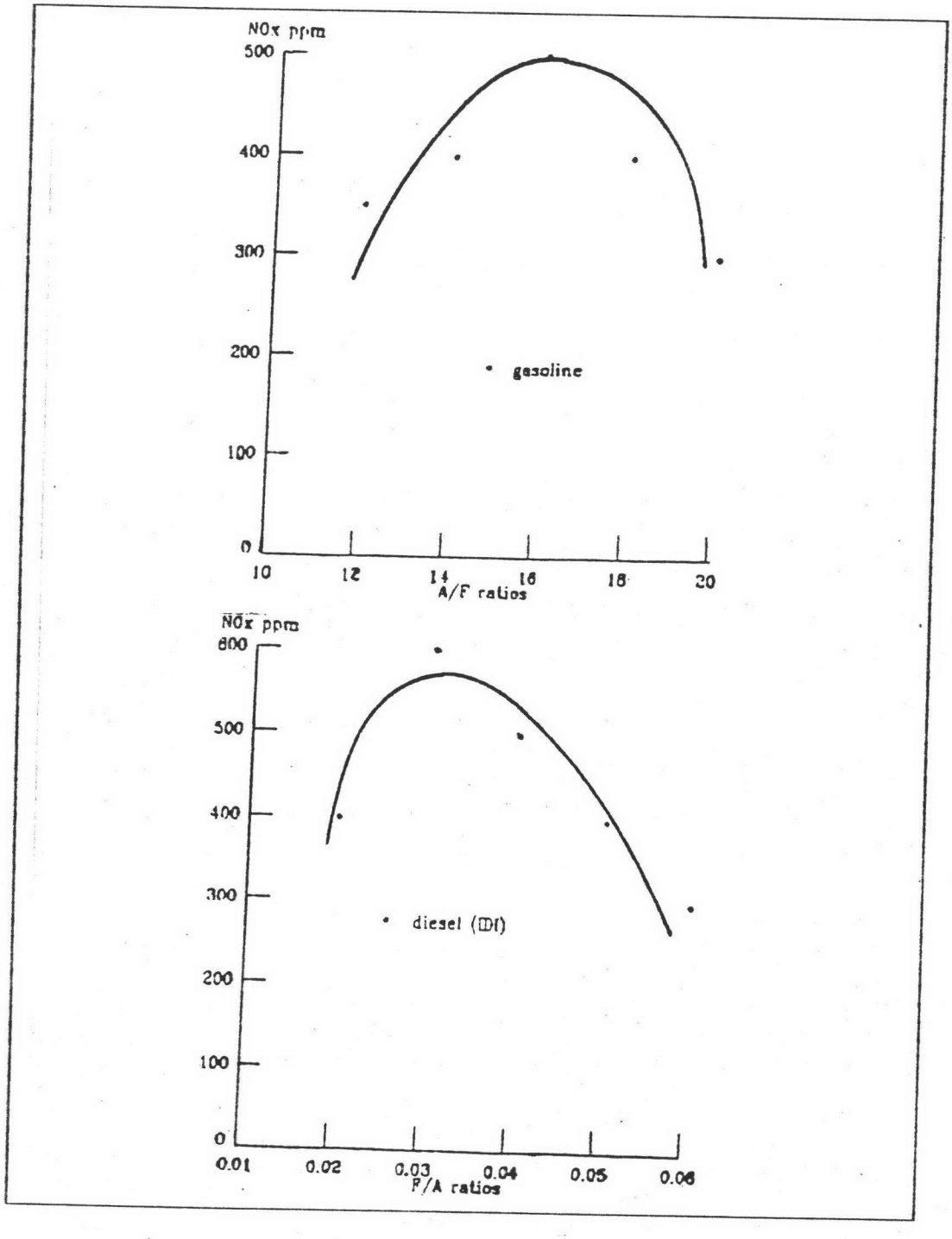
3.2.3.4 ลักษณะเฉพาะ และสภาพของเครื่องยนต์ที่ไม่สามารถป้องกันน้ำมันหล่อลื่นเข้ามาปะปนในห้องสันดาป

3.2.4 ควันดำ (Black smoke) ซึ่งคือเขม่าควันและฝุ่นละอองขนาดต่างๆ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

3.2.4.1 หยดของเหลว ซึ่งจะเห็นเป็นควันสีขาวคล้ายไอน้ำเกิดขึ้นขณะเริ่มต้นเดินเครื่องเมื่อเครื่องยังเย็นอยู่ ส่วนนี้จะประกอบไปด้วยส่วนของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นของเหลว น้ำมันหล่อลื่น และบางส่วนเป็นเชื้อเพลิงที่เหลือจากการเผาไหม้

3.2.4.2 ควันสีดำ เป็นการรวมตัวของอะตอมของคาร์-

บอน และส่วนหนึ่งของไฮโดรคาร์บอนซึ่งถูกเผาไหม้บางส่วน ทำให้ในโมเลกุลมีอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ดังนั้น การเกิดควันสีดำเป็นขบวนการที่โมเลกุล



รูปที่ 2.5 แสดงปริมาณก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ที่ระบายออกจากท่อไอเสียทางเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน และเครื่องยนต์ดีเซล(8)

ของไฮโดรคาร์บอน เกิดปฏิกิริยาคายไฮโดรเจน (Dehydrogenation) แล้วเกิดรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่ขึ้น (Polymerization) แล้วที่สุดจะเกาะกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (Agglomeration)

เนื่องจากปฏิกิริยาคายไฮโดรเจนเกิดที่อุณหภูมิสูง และเกิดกับไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง ปฏิกิริยาการเกิดนั้น สอดคล้องกับการทำงานของเครื่องดีเซล ส่วนเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนจะมีการเผาไหม้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า เชื้อเพลิงมีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่าน้ำมันดีเซลมากจึงทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเกิดขึ้นง่ายกว่า ดังนั้นเชื้อเพลิงแอลพีจี จึงไม่พบควันดำเลย

3.2.5 สารตะกั่ว ซึ่งผสมอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ก๊าซโซลีน สำหรับป้องกันเครื่องยนต์ น็อก และช่วยการหล่อลื่นได้ด้วย ขณะนี้ใช้ทั้งที่เป็น TEL และ TML สารทั้งสองนี้จะไม่เข้าไปร่วมในปฏิกิริยาการสันดาป จะทำหน้าที่คล้ายๆคาทาลิสท์(Catalyst) เท่านั้น สารตะกั่วร้อยละร้อยที่เข้าไปในห้องสันดาป จะถูกระบายออกทางท่อไอเสียประมาณร้อยละเจ็ดสิบ ที่เหลือจะลงไปอยู่ในแครงเคสของเครื่องยนต์

4 ชนิดและปริมาณรถยนต์ในกรุงเทพมหานคร

สถิติยานพาหนะทางบกที่จดทะเบียนยานพาหนะในกรุงเทพมหานคร กับกองทะเบียนกรมตำรวจ และกรมการขนส่งทางบก ซึ่งรวบรวมสถิติโดยฝ่ายสถิติการขนส่ง กองวิชาการและวางแผน กรมการขนส่งทางบก(9) แสดงอัตราการเพิ่มจำนวนมีอยู่ประมาณร้อยละสิบ

รถยนต์ซึ่งกรมทางขนส่งทางบกแบ่งเป็น สิบหกประเภท ตามการใช้งานในปี พ.ศ. 2532 (ไม่รวม 6 ประเภทที่ขึ้นกับกฎหมายขนส่ง) รวมทั้งสิ้น 1,644,018 คันนั้น เป็นรถจักรยานยนต์ร้อยละสี่สิบสี่ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรถจักรยานยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ สองจังหวะ ร้อยละสามสิบสอง เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน เจ็ด คน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน ประมาณร้อยละสิบสอง เป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกินเจ็ด คน ซึ่งมีทั้งรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ก๊าซโซลีน และเครื่องยนต์ดีเซล เช่น รถตู้ รถแวน เป็นต้น นอกนั้นเป็นรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล รถยนต์บรรทุกสาธารณะ รถยนต์โดยสารส่วนบุคคลและรถยนต์โดยสารสาธารณะ ซึ่งเกือบทั้งหมดใช้เครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 2.2 สถิติยานพาหนะทางบกที่จดทะเบียนในกรุงเทพมหานคร(9)

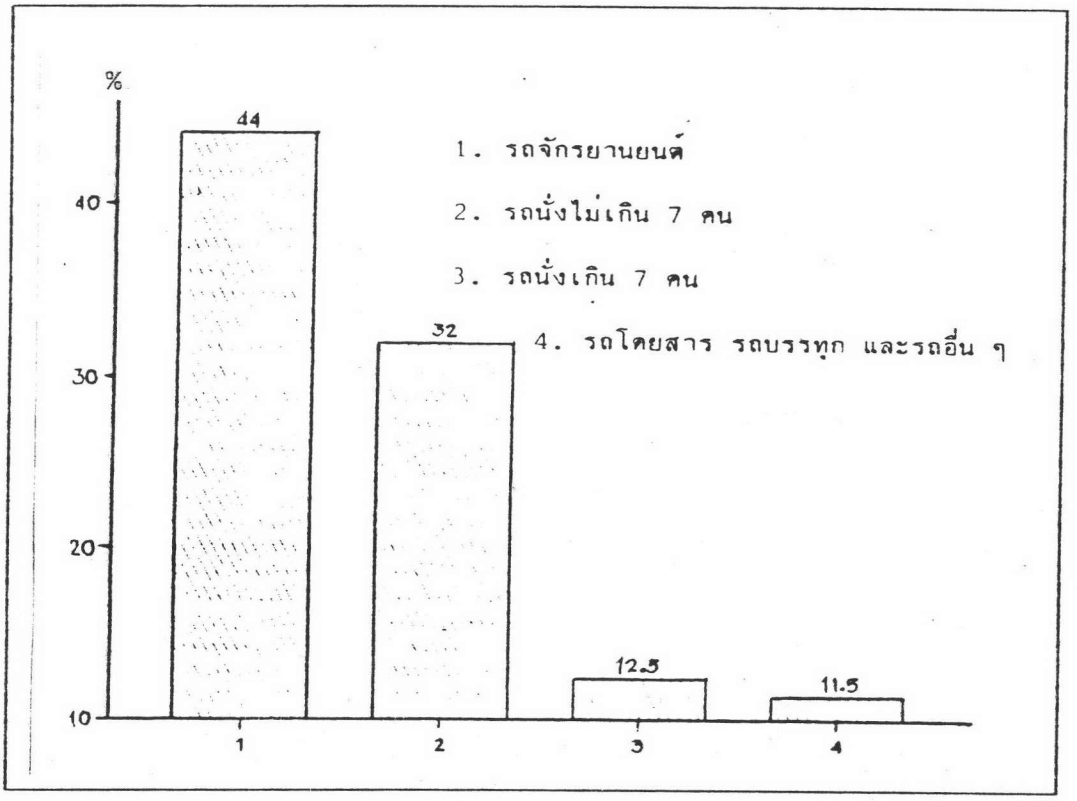
จำนวนรถยนต์ที่จดทะเบียนแต่ละปี	จำนวนรถยนต์ตามหน่วยงานที่รับจดทะเบียน(คัน)		
	กรมตำรวจ	กรมการขนส่งทางบก	รวม
2523	571,535	38,869	610,404
2524	733,920	46,770	780,690
2525	849,588	52,801	902,389
2526	942,171	55,387	998,022
2527	1,071,726	58,087	1,129,753
2528	1,185,004	60,248	1,245,252
2529	1,324,750	61,051	1,385,801
2530	1,472,569	65,404	1,537,973
2531	1,760,167 *	75,002	1,835,169
2532	1,644,018 *	77,568	1,721,586

หมายเหตุ " * " อยู่ระหว่างการโอนย้ายหน่วยงานจดทะเบียน

รถยนต์นั่งสาธารณะ ซึ่งได้แก่รถแท็กซี่ และรถสามล้อ จะถูกควบคุมจำนวนไว้ให้คงที่ไม่เกิน 13,500 และ 7,406 คันตามลำดับ ส่วนรถยนต์ประเภทอื่นซึ่งยังไม่มีการควบคุมจำนวนนั้น ประมาณร้อยละสี่สิบห้า ของรถยนต์ส่วนบุคคล และรถจักรยานยนต์เป็นของส่วนราชการ และรัฐวิสาหกิจ รวมทั้งรถยนต์ขององค์การระหว่างประเทศและผู้มีเอกสิทธิ์ทางการทูตด้วย

ตารางที่ 2.3 สถิติยานพาหนะทางบกที่จดทะเบียนในกรุงเทพมหานคร ของปี 2532 แยกประเภทตามลักษณะการใช้งานซึ่งรายงานโดย กรมการขนส่งทางบก

ประเภทรถยนต์ที่จดทะเบียน	จำนวน (คัน)
1. รถยนต์นั่งส่วนบุคคลไม่เกิน 7 คน	470,927
2. รถยนต์นั่งส่วนบุคคลเกิน 7 คน	232,689
3. รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล	236,082
4. รถยนต์สามล้อส่วนบุคคล	73
5. รถยนต์รับจ้างระหว่างจังหวัด	370
6. รถยนต์รับจ้างบรรทุกคนโดยสารไม่เกิน 7 คน	13,493
7. รถยนต์สี่ล้อเล็กรับจ้าง	8,150
8. รถยนต์รับจ้างสามล้อ	7,406
9. รถยนต์บริการธุรกิจ	574
10. รถยนต์บริการทัศนาจร	774
11. รถยนต์บริการให้เช่า	522
12. รถจักรยานยนต์	644,597
13. รถแทรกเตอร์	9,669
14. รถบดถนน	1,508
15. รถใช้งานเกษตรกรรม	-
16. รถพ่วง	3,085
รถอื่นๆ	14,099
รวม	1,644,018



รูปที่ 2.6 แสดงปริมาณรถยนต์แต่ละประเภทที่จดทะเบียนในกทม. ปี 2532
ที่มา : สรุปจากตารางที่ 2.3 : ผู้วิจัย

5 การจราจรในกรุงเทพมหานคร

จากรายงานเรื่อง " Study on Road Improvement, Rehabilitation and Traffic Safety in Bangkok "(5) โดย Japan International Cooperation Agency ซึ่งได้ศึกษาการจราจรในกรุงเทพมหานครในปี 2529 แล้วรายงานผลไว้เมื่อปี 2530 ดังนี้

5.1 โครงข่ายของถนนในกรุงเทพมหานคร

จุดที่มีความเจริญทางเศรษฐกิจเกิดขึ้นตามเส้นทางคมนาคมสายสำคัญทุกๆบริเวณในกรุงเทพมหานครจะถูกเชื่อมโยงด้วยถนนประธานหลายสาย ระหว่างถนนประธานจะมีถนนรองและซอยต่างๆเชื่อมต่อถึงกันมีความยาวรวมกันทั้งหมดประมาณ 2,800

กิโลเมตร รอบกรุงเทพมหานครมีถนนวงแหวนรองรับการจราจรในพื้นที่ชั้นนอก และมีทางด่วนพิเศษเชื่อมระหว่างแยกดินแดงกับบางนาระยะทาง 16.8 กิโลเมตรและเชื่อมระหว่างดาวคะนอง กับท่าเรือคลองเตย ยาว 10.3 กิโลเมตร สำหรับระบายการจราจรที่ต้องตัดผ่านตัวเมือง ขนาดความกว้างของถนนประมาณร้อยละห้าสิบเป็นชนิด หกและแปดช่องทาง นอกจากนี้เป็นชนิด สองและสี่ ช่องทาง

เส้นทางสายสำคัญซึ่งเชื่อมโยงกรุงเทพมหานครชั้นในกับพื้นที่ส่วนนอกทางทิศเหนือมีสามสายคือ ถนนวิภาวดีรังสิต ถนนพหลโยธิน และถนนประชาชื่น ทางทิศตะวันออกมีถนนลาดพร้าว ถนนเพชรบุรี ถนนสุขุมวิท และถนนพระรามที่ 4 ติดต่อกับพื้นที่ชั้นใน ส่วนฝั่งตะวันตกหรือฝั่งธนบุรีเดิมนั้น มีถนนจรัลสนิทวงศ์ ถนนสุขสวัสดิ์ และถนนธนบุรีปากท่อเป็นโครงข่ายสำคัญ และเชื่อมโยงกับพื้นที่กรุงเทพมหานครชั้นใน โดยผ่านสะพานข้ามแม่น้ำเจ้าพระยาห้าแห่งคือ สะพานกรุงธน สะพานพระปิ่นเกล้า สะพานพระ-พุทธยอดฟ้า สะพานพระปกเกล้า และสะพานสมเด็จพระเจ้าตากสิน

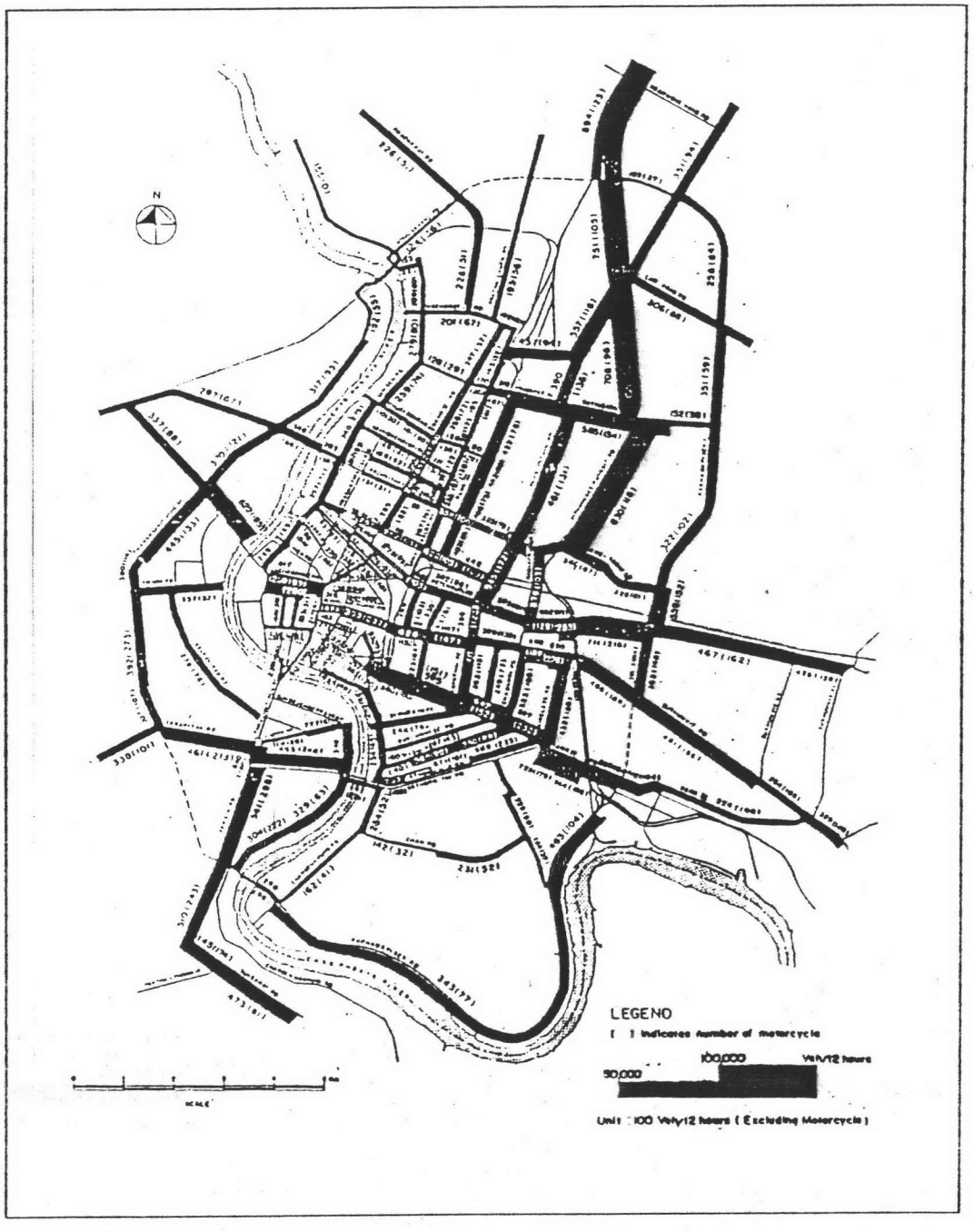
5.2 สภาพการจราจร

ผลจากการสำรวจปริมาณการจราจรในกรุงเทพมหานคร(5)ระหว่างเวลา 7.00 ถึง 20.00 นาฬิกา สรุปได้ว่า ถนนวิภาวดีรังสิตและถนนพหลโยธินมีปริมาณรถยนต์ระหว่าง 70,000 ถึง 85,000 คัน และ 46,000 ถึง 56,000 คัน ถนนเพชรบุรี ถนนสุขุมวิท และถนนพระรามที่ 4 มีปริมาณรถยนต์ระหว่าง 46,000 ถึง 80,000 คัน 46,000 ถึง 50,000 คันและ 53,000 ถึง 72,000 คันตามลำดับ บนสะพานพระปิ่น-เกล้า สะพานตากสิน และสะพานพระปกเกล้า มีปริมาณรถยนต์ 257,000 คันสัญจรเข้าและออกในช่วงเวลานี้ รถยนต์เหล่านี้ส่วนใหญ่ในช่วงเช้าจะมีทิศทางมุ่งหน้าเข้าสู่ตัวเมืองชั้นใน และมีสภาพตรงข้ามกันในช่วงเวลาเย็น

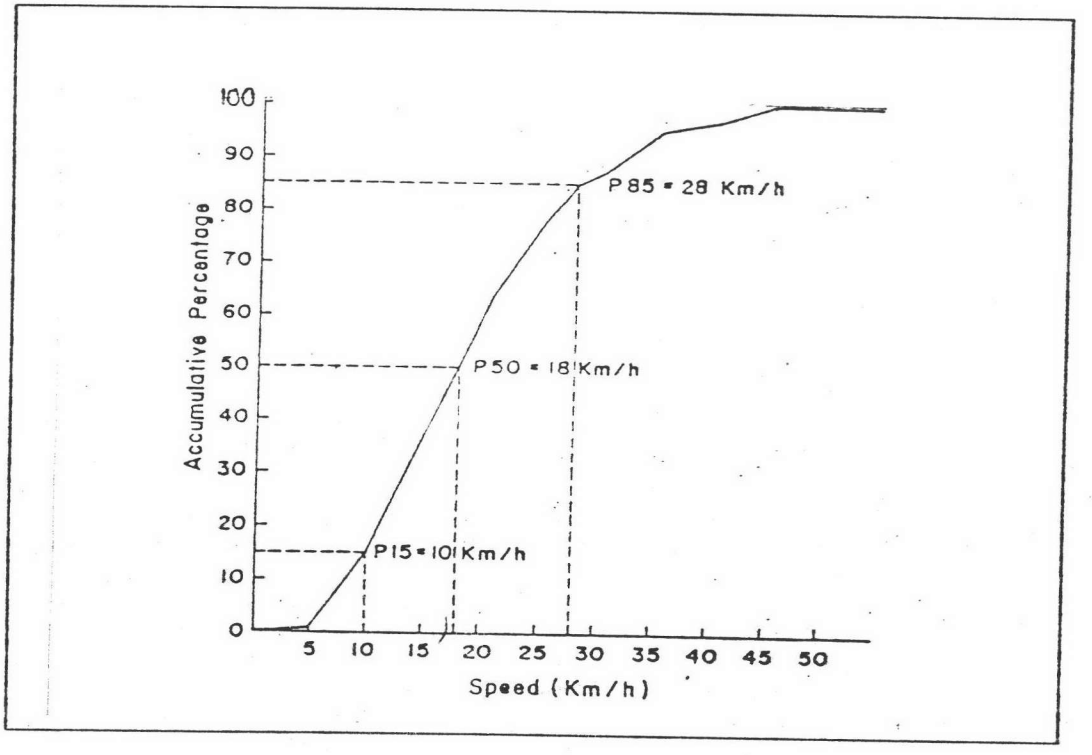
ความเร็วของรถยนต์ที่ใช้ในการเดินทางระหว่างชั่วโมงเร่งด่วน พบว่า รถยนต์ทั้งหมดที่สัญจรบนถนนมีอยู่ร้อยละสิบห้าใช้ความเร็วต่ำกว่าสิบกิโลเมตรต่อชั่วโมง ร้อยละแปดสิบห้าใช้ความเร็วไม่เกินยี่สิบแปดกิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงว่ารถยนต์เกือบทั้งหมดใช้ความเร็วอยู่ในช่วงสิบถึงยี่สิบแปดกิโลเมตรต่อชั่วโมงโดยความเร็วที่ใช้เดินทางมาก

ที่สุดในช่วงเวลานี้คือสิบแปดกิโลเมตรต่อชั่วโมง(5)

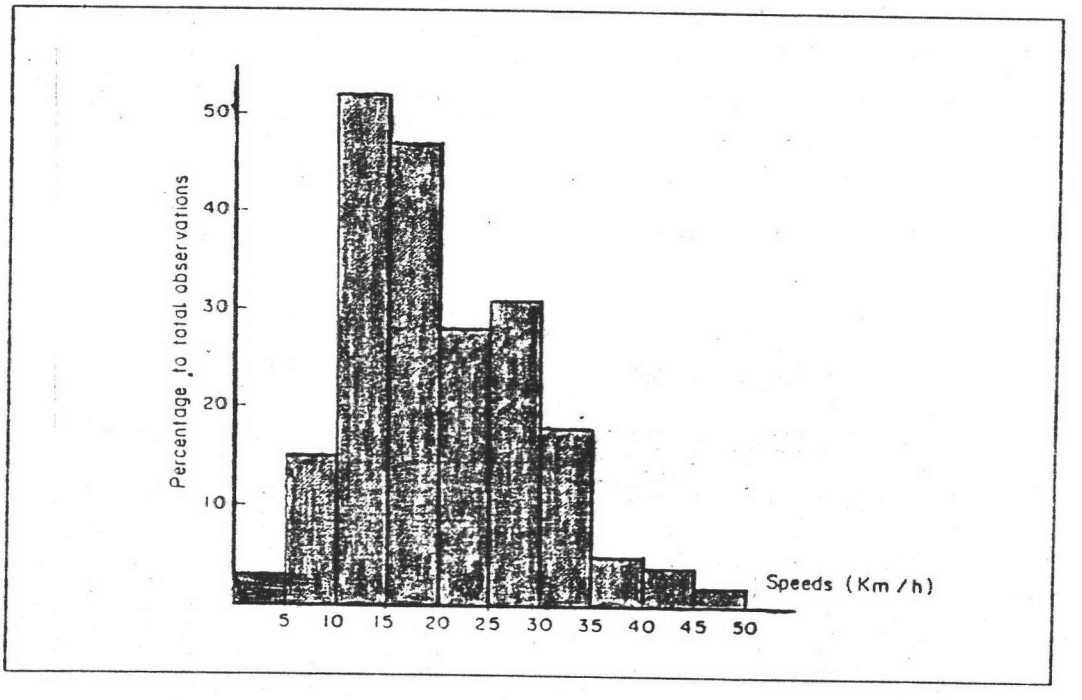
การสำรวจในเรื่องเดียวกันนี้ กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำ-



รูปที่ 2.7 แสดงปริมาณการจราจรของถนนสายสำคัญในกทม. ระหว่างเวลา 7.00 ถึง 20.00 น. ของวันทำงาน(5)



รูปที่ 2.8 แสดง เปอร์เซนไทล์ (Percentile) ที่ 15 50 และ 85 ของความเร็วรถยนต์ที่สัญจรในกทม. ระหว่างช่วงเวลาเร่งด่วน(5)

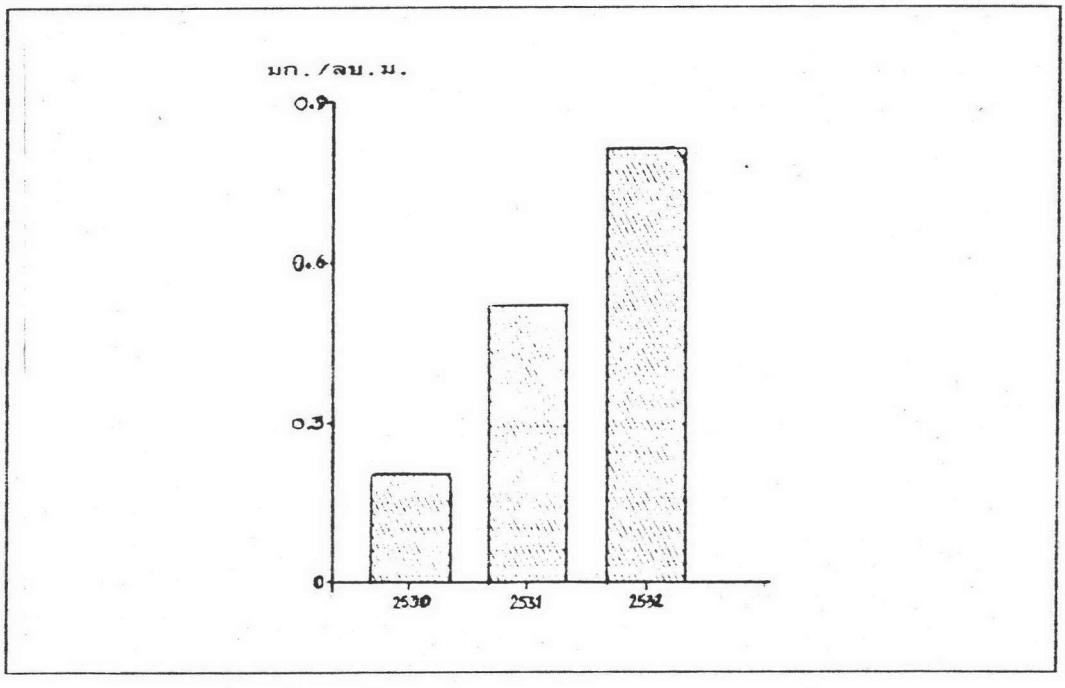


รูปที่ 2.9 ฮีสโตแกรม (Histrogram) ของความเร็วรถยนต์ในกทม. (5)

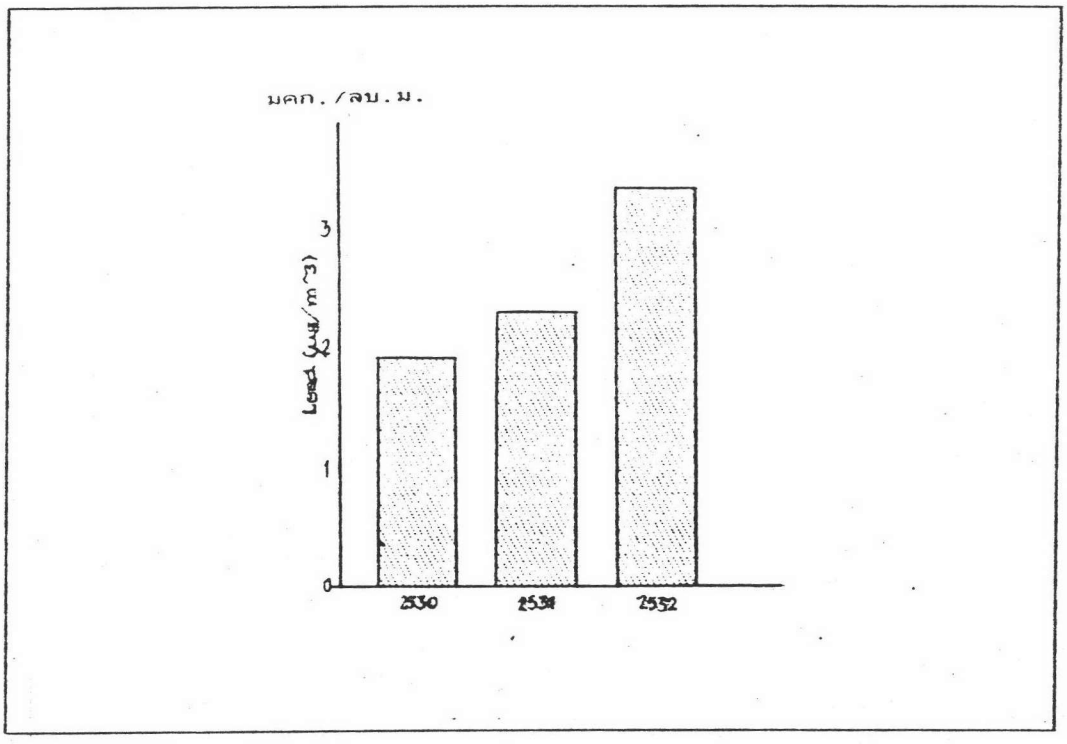
นักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ได้ทำการสำรวจความเร็วของรถยนต์ที่ใช้ในการเดินทาง ในช่วงเร่งด่วนเช้าและเย็นโดยใช้แบบสอบถาม สรุปได้ว่าความเร็วที่ใช้ในการเดินทางอยู่ในช่วง สิบสามถึงสิบหก กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งสอดคล้องกับความเร็วเฉลี่ยสิบ-แปดกิโลเมตรต่อชั่วโมงที่สำรวจโดยกรุงเทพมหานคร(5)

6 ปริมาณสารมลพิษทางอากาศริมเส้นทางจราจร

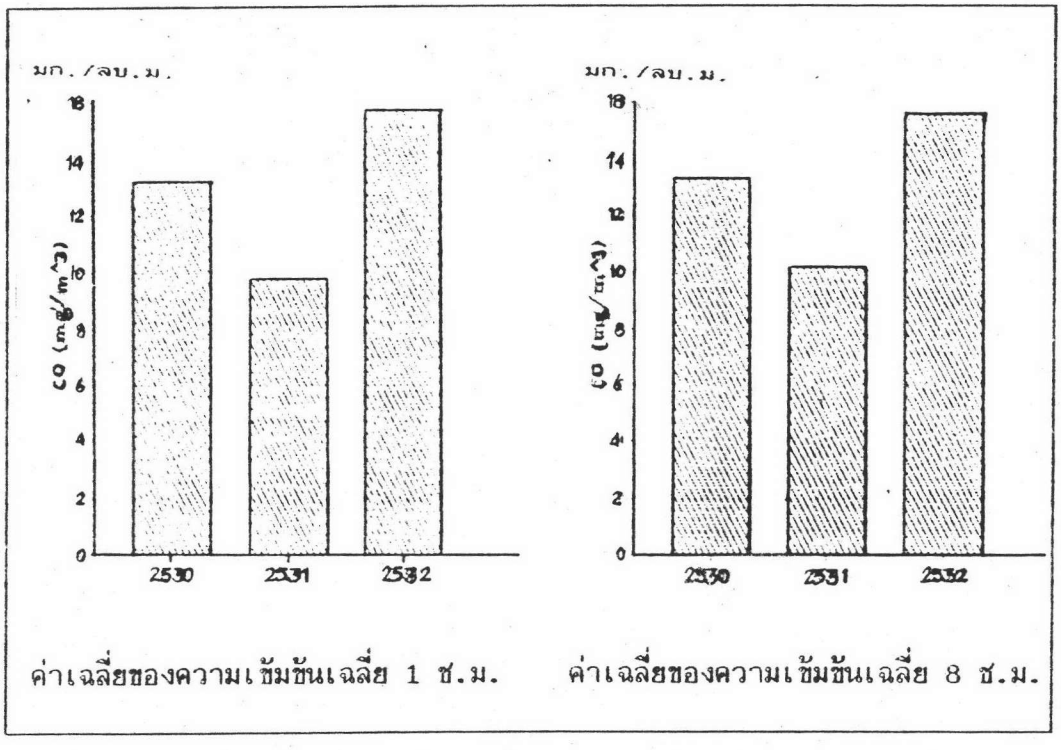
สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้เสนอรายงานผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศริมเส้นทางจราจรในกรุงเทพมหานคร(4) ณ บริเวณที่มีการจราจรคับคั่งแปดจุด ระหว่างปี 2530 ถึง 2532 โดยได้ทำการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศ ฝุ่นละอองในอากาศ และวิเคราะห์ปริมาณสารตะกั่วในฝุ่นละอองนั้นพบว่าสารมลพิษหลักซึ่งกำลังมีปัญหามากคือ ฝุ่นละออง ซึ่งส่วนมากจะพบสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยายกาศ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น บริเวณประตูน้ำ พบปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ย ยี่สิบสี่ชั่วโมงสูงกว่าจุดอื่น ส่วนปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ย ยี่สิบสี่ชั่วโมงพบมากที่สุดที่ย่านแม้นศรี ถนนบำรุงเมือง และปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่ามีปริมาณต่ำกว่ามาตร-



รูปที่ 2.10 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยยี่สิบสี่ช.ม.ที่ประตูน้ำ(10)

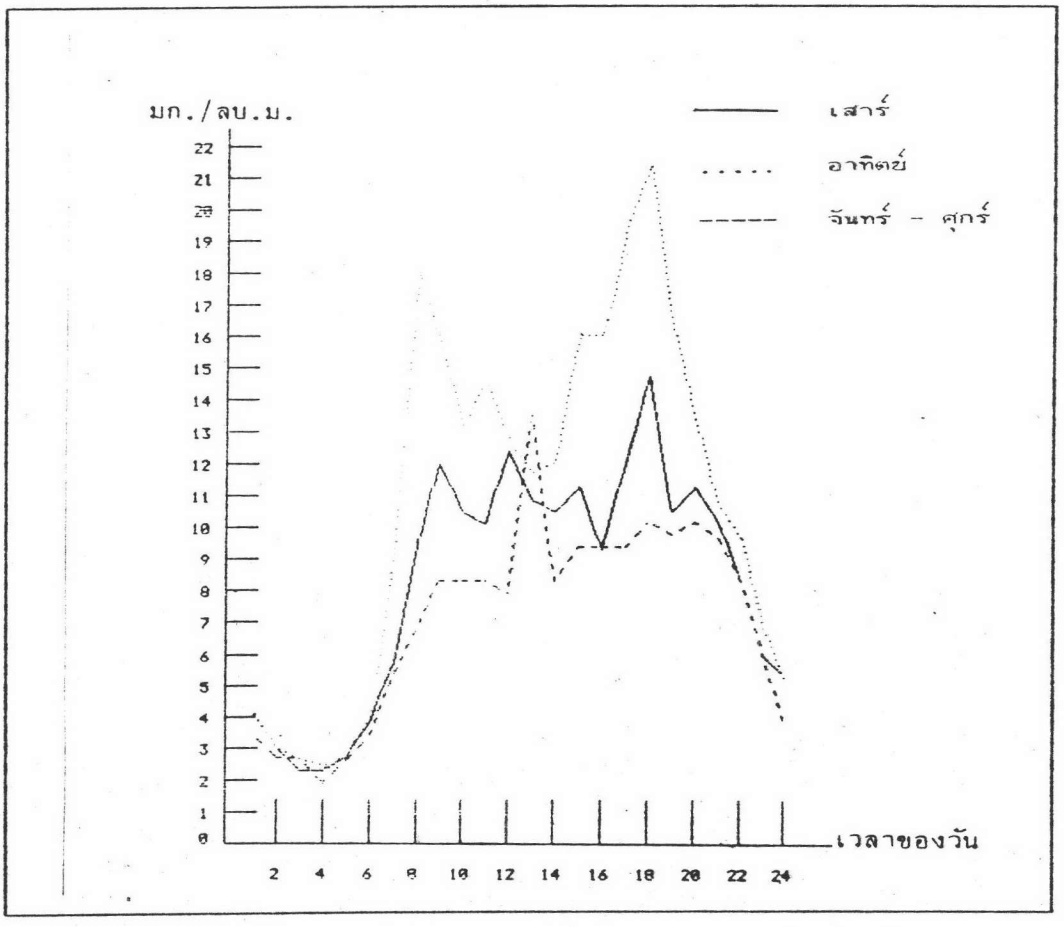


รูปที่ 2.11 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ย 24 ช.ม.ที่แม้นศรี(4)



ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ช.ม. ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นเฉลี่ย 8 ช.ม.

รูปที่ 2.12 ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ริมถนนสีลม(4)



รูปที่ 2.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในอากาศบริเวณริมเส้นทางจราจรในคาบ ยี่สิบสี่ ชั่วโมง(4)

ฐานคุณภาพอากาศ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยพบปริมาณสูงสุดที่ริมถนนสีลมซึ่งมีการจราจรคับคั่งมากสายหนึ่ง

การตรวจวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดำเนินการอย่างต่อเนื่องตลอดยี่สิบสี่ชั่วโมง พบการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในอากาศโดยปริมาณจะเพิ่มขึ้นในเวลา ประมาณ 6.00 น. ไปจนถึงเวลาประมาณ 10.00 น. แล้วลดลงเล็กน้อย จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งประมาณ 15.00 น. ไปจนถึงเวลาประมาณ 24.00 น. เป็นเช่นนี้เกือบทุกวันยกเว้นวันอาทิตย์จะมีปริมาณต่ำกว่าวันอื่นๆ เหตุที่พบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มากในช่วงเวลาดังกล่าว เพราะในช่วงเวลานี้มีการเดินทางด้วยรถยนต์มาก การจราจรอยู่ในสภาพคับคั่ง รถยนต์เคลื่อนที่ได้ช้า การสันดาปเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์จึงมีการระบาย

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากท่อไอเสียในปริมาณสูง

7 ปริมาณสารมลพิษทางอากาศจากท่อไอเสียรถยนต์

ผลการสำรวจปริมาณมลพิษทางอากาศจากยานพาหนะ โดยสำนักงานคณะ-กรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ(11) สรุปได้ว่า จากจำนวนรถยนต์ที่ได้สำรวจ 450 คัน ประมาณครึ่งหนึ่ง มีการระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เกินมาตรฐานฯ (ร้อยละหกของปริ-มาตรอากาศ) ร้อยละแปดสิบสอง ระบายไฮโดรคาร์บอนระหว่าง 100 ถึง 800 ส่วนในล้านส่วน หรือ พีพีเอ็ม(part per million : ppm)โดยปริมาตร และระบายสูงกว่า 800 พีพีเอ็ม อีกร้อยละสิบสาม

รถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแอลพีจีพบว่า รถสามล้อ ที่สำรวจทั้งหมด 242 คัน พบว่ามีการระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่ามาตรฐานฯทั้งหมด กล่าวคือ ร้อยละหก ระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาร้อยละสองของปริมาตรอากาศ ร้อยละเจ็ดสิบระบายต่ำกว่าหนึ่งในสองของปริมาตรอากาศ แต่ทุกคันมีการระบายไฮโดรคาร์บอนสูงกว่า 200 พีพีเอ็ม เทียบเท่า นอร์มาล เฮกเซน (n-hexane)

จากการสำรวจรถยนต์ใหม่จากผู้ผลิต(12) พบว่า ร้อยละเจ็ด ของรถยนต์ที่สำรวจทั้งหมดมีการระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่ามาตรฐานฯ ร้อยละสิบมีการระ-บายไฮโดรคาร์บอนสูงกว่า 1000 พีพีเอ็ม อีกร้อยละสามสิบแปดระบายไฮโดรคาร์บอนในช่วง 300 ถึง 500 พีพีเอ็ม(เทียบเท่า นอร์มาล เฮกเซน)

สำหรับรถจักรยานยนต์ใหม่จากผู้ผลิตสำรวจไว้ หกสิบเก้าคัน(12) ส่วนใหญ่จะมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกมาระหว่าง ร้อยละสอง ถึงร้อยละสามของปริมาตรอากาศ ส่วนไฮโดรคาร์บอนในจักรยานยนต์ชนิดเครื่องยนต์ สี่จังหวะ ระบายอยู่ในช่วง 400 ถึง 600 พีพีเอ็ม เทียบเท่านอร์มาล เฮกเซน ส่วนเครื่องยนต์สองจังหวะร้อยละ 78 มีการระบายสูงกว่า 8,000 พีพีเอ็ม เทียบเท่านอร์มาล เฮกเซน

Nelson และ Quigley(13) ได้ทำการศึกษาไอเสียจากรถยนต์หกสิบเจ็ด

คัน ในเมืองซิดนีย์ ประเทศสหรัฐอเมริกา สรุปว่า ที่ท่อไอเสียของรถยนต์ก๊าซโซลีนทุกคันที่ทำการศึกษามีไฮโดรคาร์บอนระบายออกมา มากกว่าห้าสิบชนิด มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ในจำนวนสารไฮโดรคาร์บอนที่ระบายออกมานี้ เบนซีน โทลูอีน และไซลีน (benzene, toluene and xylene) จะมีความเข้มข้นสูงกว่าไฮโดรคาร์บอนชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2.4 แสดงชนิด และปริมาณของสารไฮโดรคาร์บอนที่ระบายออกจากท่อไอเสียของรถยนต์ในเมืองซิดนีย์ ประเทศสหรัฐฯ(13)

ไฮโดรคาร์บอน	ค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนัก	ความเบี่ยงเบน-มาตรฐาน
ethane	1.4	0.5
ethylene	11.2	3.2
acetylene	8.7	2.7
propane	0.1	0.1
propylene	5.0	1.6
methylacetylene	0.4	0.3
n-butane	2.1	0.6
i-butane	1.0	0.3
1-butene	0.9	0.3
i-butene	1.4	0.6
trans-2-butene	0.6	0.4
cis-2-butene	0.5	0.2
n-pentane	3.0	0.7
i-pentane	4.8	0.9
cyclopentane	0.4	0.1
1-pentene	0.2	0.1
trans-2-pentene	0.3	0.2

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ไฮโดรคาร์บอน	ค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนัก	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
cis-2-pentene	0.3	0.2
2-methyl-1-butene	0.3	0.2
2-methyl-2-butene	0.5	0.2
n-hexane	1.9	0.4
2-methylpentane	2.3	0.4
3-methylpentane	1.6	0.3
2,2-dimethylbutane	0.3	0.2
2,3-dimethylbutane	0.6	0.1
methylcyclopentane	1.0	0.2
cyclohexane	0.6	0.2
C_6 olefins	0.7	0.2
benzene	5.0	0.7
n-heptane	0.8	0.2
2-methylhexane	1.5	0.3
3-methylhexane	1.2	0.3
2,4-dimethylpentane	0.3	0.1
methylcyclohexane	0.6	0.2
other C_7 cycloalkanes	0.3	0.2
toluene	10.2	0.9
n-octane	0.4	0.1
2,2,4-trimethylpentane	1.0	0.4
other C_8 alkanes	3.2	0.7
ethylbenzene	1.9	0.2

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ไฮโดรคาร์บอน	ค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำหนัก	ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
m,p-xylenes	6.5	0.9
o-xylene	2.5	0.4
n-nonane	0.2	0.1
other C_9 alkanes	1.7	0.4
n-propylbenzene	0.4	0.1
i-propylbenzene	0.2	0.1
1,2,4-trimethylbenzene	1.9	0.3
1,3,5-trimethylbenzene	0.7	0.1
m,p-ethyltoluenes	2.0	0.3
o-ethyltoluene	0.6	0.2
n-decane	0.4	0.1
other C_{10} alkanes and aromatics	0.9	0.4
C_{11} and C_{12} alkanes and aromatics	3.6	1.1

Brasser ได้เสนอบทความเกี่ยวกับ เอมิสชัน แฟกเตอร์ (Emission factor) ของรถยนต์แต่ละประเภทกับเชื้อเพลิงแต่ละชนิด(14) สรุปได้ดังนี้คือ ที่ความเร็วต่ำรถยนต์มีการระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าเมื่อใช้ความเร็วสูง รถยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงก๊าซโซลีน และแอลพีจีมีการระบายก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซล ส่วนที่ความเร็วสูงเครื่องยนต์ทั้งสองประเภท มีการระบายออกไซด์ของไนโตรเจนมากกว่าที่ความเร็วต่ำ

ตารางที่ 2.5 แสดงเอมิสชัน แฟกเตอร์ (กรัมต่อกิโลเมตร) ของก๊าซคาร์-บอนนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จากรถยนต์ประเภทต่าง ๆ ในประเทศเนเธอร์แลนด์ (14)

รถยนต์ส่วนบุคคล

ก.ม./ช.ม.	ชนิดของเชื้อเพลิง	CO	HC	NO_x	SO_2
6	ก๊าซโซลีน	54	8.4	1.3	0.095
6	แอลพีจี	4.0	2.9	1.25	-
6	ดีเซล	2.8	1.6	0.9	1.48
20	ก๊าซโซลีน	25	3.7	1.7	0.042
20	แอลพีจี	2.0	1.5	1.25	-
20	ดีเซล	1.5	0.9	0.9	0.70
35	ก๊าซโซลีน	21	2.6	1.8	0.033
35	แอลพีจี	1.5	1.1	1.25	-
35	ดีเซล	1.2	0.7	0.9	0.56
60	ก๊าซโซลีน	18	2.1	1.9	0.027
60	แอลพีจี	1.3	1.0	1.25	-
60	ดีเซล	1.1	0.65	0.9	0.48
100	ก๊าซโซลีน	16	1.8	3.8	0.031
100	แอลพีจี	1.2	0.9	2.5	-
100	ดีเซล	1.0	0.6	1.8	0.58

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

รถยนต์แวนขนาดเล็ก

ก.ม./ช.ม.	ชนิดของเชื้อเพลิง	CO	HC	NO_x	SO_2
19	ก๊าซโซลีน	48	5.5	2.0	0.005
19	แอลพีจี	2.4	1.8	1.6	-
19	ดีเซล	1.9	1.1	1.1	0.93
32	ก๊าซโซลีน	29	3.3	2.1	0.05
32	แอลพีจี	1.8	1.3	1.6	-
32	ดีเซล	1.5	0.9	1.1	0.92
60	ก๊าซโซลีน	22	2.5	2.5	0.05
60	แอลพีจี	1.6	1.3	1.6	-
60	ดีเซล	1.4	0.85	1.1	0.92
100	ก๊าซโซลีน	19	2.2	5.0	0.05
100	แอลพีจี	1.4	1.1	3.2	-
100	ดีเซล	1.2	0.75	2.2	0.92

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

รถยนต์บรรทุกขนาดเบา

ก.ม./ช.ม.	ชนิดของเชื้อเพลิง	CO	HC	NO_x	SO_2
19	ก๊าซโซลีน	64	6.5	4	0.06
19	ดีเซล	4.2	0.7	1.2	1.08
32	ก๊าซโซลีน	38	3.9	5	0.06
32	ดีเซล	3.4	0.6	1.7	1.08
60	ก๊าซโซลีน	29	3.0	7	0.06
60	ดีเซล	2.9	0.5	2.4	1.08
100	ก๊าซโซลีน	25	2.6	11	0.06
100	ดีเซล	2.6	0.5	3.8	1.08

รถยนต์บรรทุกขนาดกลาง

ก.ม./ช.ม.	ชนิดของเชื้อเพลิง	CO	HC	NO_x	SO_2
19	ก๊าซโซลีน	90	8.0	6.0	0.85
19	ดีเซล	7.5	0.9	2.1	1.53
32	ก๊าซโซลีน	54	4.8	8.0	0.085
32	ดีเซล	5.9	0.7	2.6	1.53
60	ก๊าซโซลีน	40	3.7	10	0.085
60	ดีเซล	5.0	0.6	3.3	1.53
100	ก๊าซโซลีน	36	3.2	14	0.085
100	ดีเซล	4.6	0.6	4.7	1.53

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

รถยนต์บรรทุกขนาดใหญ่

ก.ม./ช.ม.	ชนิดของเชื้อเพลิง	CO	HC	NO_x	SO_2
19	ดีเซล	17	1.9	15	2.61
32	ดีเซล	13	1.5	15	2.61
60	ดีเซล	11	1.3	15	2.61
100	ดีเซล	10	1.2	16	2.61

สำหรับชนิด และ ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน ที่ระบายออกจากท่อไอเสีย พบว่ามีสาร เบนซีน โทลูอีน และไซลีน เป็นองค์ประกอบที่พบว่ามีมากกว่าชนิดอื่น ผลการวิเคราะห์นี้คล้ายคลึงกับผลจากการศึกษาของ Nelson และ Quigley(13)

ตารางที่ 2.6 ชนิด และปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนจากท่อไอเสียรถยนต์(14)

ไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละของน้ำหนัก)	ก๊าซโซลีน	ดีเซล	แอลพีจี
methane	4.5	2	3
n-butane	2.5	-	-
1-pentane	2.5	52	64
other C_2-C_5 paraffines	2.5	-	-
C_6 + paraffines	14	-	-
ethylene	7.5	6	16
acetylene	7	1	4
propene	4	2	9
1-butene + i-butene	2.5	-	-

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ไฮโดรคาร์บอน (ร้อยละของน้ำหนัก)	ก๊าซโซลีน	ดีเซล	แอลพีจี
cis + trans-2-butene	1	-	-
cis + trans-2-pentene	0.5	1.5	-
2-methyl-2-butene	1	-	-
other C_3-C_4 olefins	1	-	-
other C_5 olefins	2	-	-
C_6-olefins	2	-	-
C_7 + olefines	2.5	2.5	-
benzene	3.5	-	-
toluene	12	-	-
ethylbenzene	2	-	-
m & p-xylene	5.5	-	-
o-xylene	3	-	-
1,2,4-trimethylbenzene	4	-	-
1,3,5-trimethylbenzene	1	0.5 *	-
other C_9 aromatic compounds	4	-	-
C_{10} + aromatic compound	6	11.5	-
formaldehyde	1	5	2
other aldehydes	1	16	2
Total	100	100	100
Paraffines	26	54	67
Olefines	31	13	29
Aromatic compounds	41	12	0
Aldehydes	2	21	4

หมายเหตุ * + toluene