

ของผสมแก้สธรรมชาติเหลวและทอลูอินสำหรับการทดแทนแก๊สโซลีน



นาย ชานุกิจ จรุงเกียรติกำจร

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

หลักสูตร ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

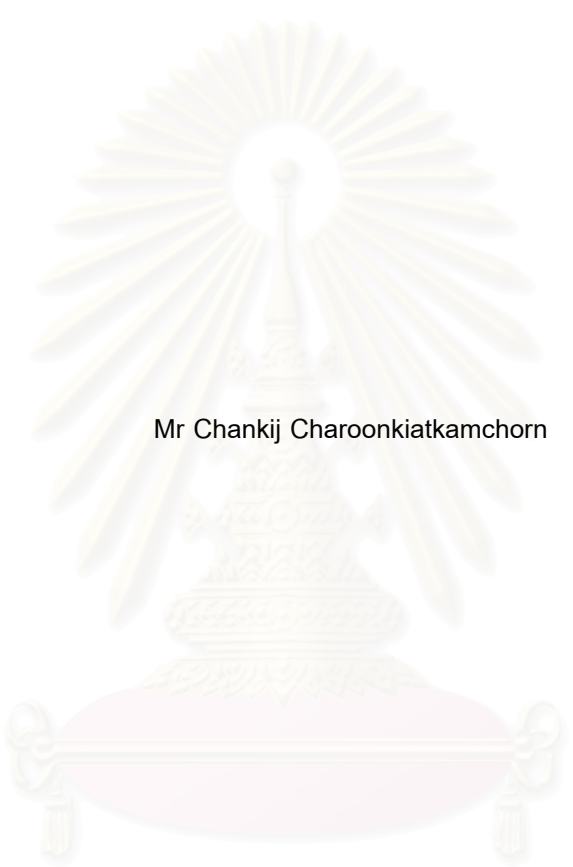
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-334-106-4

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NATURAL GAS LIQUID AND TOLUENE BLENDS FOR GASOLINE SUBSTITUTE



Mr Chankij Charoonkiatkamchorn

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science

Program of Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-030-231-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ของผสมแก๊สธรรมชาติเหลวและทอลูอินสำหรับการทดแทนแก๊สโซลีน
โดย นาย ชานุกิจ จรุงเกียรติกำจร
สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เรืองสำราญ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจริต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

กรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เรืองสำราญ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรินทร์ ชวศิริ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัชย์ พรหมคุณ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช)

ชาญกิจ ชาญเกียรติกำจร : ของผสมแก๊สธรรมชาติเหลวและทอลูอินสำหรับการทดแทนแก๊สโซลีน
(NATURAL GAS LIQUID AND TOLUENE BLENDS FOR GASOLINE SUBSTITUTE)
อ. ที่ปรึกษา : ร.ศ. ดร. ไสภณ เรืองสำราญ, 74 หน้า, ISBN 974-334-406-4.

ได้ตรวจวัดค่าออกเทนของแก๊สธรรมชาติเหลว (NGL) ที่ผสมกับทอลูอินและเอทานอล พบว่าทอลูอินทำให้ค่าออกเทนของแก๊สธรรมชาติเหลวมีค่าสูงขึ้น 3 หน่วย ต่อการเติมทอลูอินร้อยละ 10 โดยปริมาตร ไฮโดรคาร์บอนของไอเสียมีค่าลดลงร้อยละ 23, ปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์มีค่าเปลี่ยนไปจากช่วงปกติเล็กน้อย เมื่อใช้เอทานอล ทำให้ค่าออกเทนเพิ่มขึ้น 3.5 หน่วย ไฮโดรคาร์บอน, คาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ลดลง 28%, 34% และ 30 % ตามลำดับ เปรียบเทียบกับแก๊สโซลีนพิเศษไร้สารตะกั่ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา-..... ลายมือชื่อนิติ
สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4273403623 MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEY WORD: GASOLINE / NATURAL GAS LIQUID / OCTANE NUMBER

CHANKIJ CHAROONKIATKAMCHORN : NATURAL GAS LIQUID AND TOLUENE BLENDS FOR GASOLINE SUBSTITUTE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SOPHON ROENGSUMRAN, Ph.D. 74 pp. ISBN 974-334-406-4

The octane number of blended NGL - toluene and NGL - ethanol are determined. The result indicated that the octane number of blended NGL - toluene was increased 3 units by adding toluene 10% by volume, the hydrocarbon of exhaust gas decreased by 23%, the amount of carbon monoxide and nitrogen oxide slightly alter the normal range. When ethanol was used in stead of toluene, the octane number was increased by 3.5 units, the hydrocarbon, carbon monoxide and nitrogen oxide are decreased by 28%, 34% and 30% respectively, compared with unleaded premium gasoline.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department - Student's signature

Field of study Petrochemistry and polymer science Advisor's signature

Academic year ...2002..... Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. โสภณ เริงสำราญ ที่ได้กรุณารับเป็นผู้ควบคุมและให้คำแนะนำ และขอขอบคุณ คุณนิภา ไตรวิลาสกุล (หัวหน้าฝ่ายวิเคราะห์ 2) สำนักจัดเก็บภาษี 2 ที่เป็นพระติดต่อขอวัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จนงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ประธานกรรมการ กรรมการที่วิจารณ์และให้คำแนะนำแก่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ Exhaust Gases Analyzer Portable สำหรับวิเคราะห์ไอเสียและขอบพระคุณ คุณอุบล สง่าศิลป์ (ผู้อำนวยการกองวิเคราะห์สินค้าและของกลาง) ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง ตลอดจนความสะดวกแก่งานวิจัย

ขอขอบคุณ กรมสรรพสามิต กระทรวงการคลัง ที่ได้กรุณาให้ทุนการศึกษา และสาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ ที่ได้กรุณาให้ทุนอุดหนุนงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ฎ
อักษรย่อ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คุณสมบัติของแก๊สโซลีน	8
2.2 ค่าออกเทน (Octane number or antiknock quality)	8
2.3 สารต้านทานการน็อค (Antiknock agent)	15
2.4 ความสามารถในการระเหย (Volatility)	19
2.5 การกัดกร่อน (Corrosion)	21
2.6 สารเติมแต่ง (Additive)	21
2.7 การเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Combustion of gasoline engine)	24
2.8 คุณภาพน้ำมันกับปัญหามลภาวะทางอากาศ	27
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการทดลอง	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	38
3.2 สารเคมีที่ใช้	39
3.3 วิธีการทดลอง	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสารผสม	41
1 ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	41
2 เอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	46
3 ทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตรในแก๊สธรรมชาติเหลวผสมเอทานอล	52
4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณสารที่ออกจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์	53
4.3 ความคงสภาพ	56
4.4 วิเคราะห์ผลเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรม	59
บทที่ 5 สรุป	62
รายการอ้างอิง	63
ภาคผนวก	
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	68
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของทอลูอิน	70
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของเอทานอล.....	72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	74

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงการผลิต การส่งออกและการใช้แก๊สธรรมชาติเหลว	2
1.2 ข้อกำหนดคุณภาพของ NGL จากการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	3
1.3 แสดงการผลิต การส่งออกและการใช้ทอลูอิน	4
1.4 ค่าออกเทนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่น่าสนใจ	4
1.5 คุณสมบัติของเอทานอลเปรียบเทียบกับ MTBE และแก๊สโซลีน	6
2.1 สภาวะที่ใช้ตามวิธีรีเสอร์ช และวิธีมอดเตอร์	9
2.2 การผสมเชื้อเพลิงอ้างอิงที่มีค่าออกเทนไม่เกิน 100 หน่วย	12
2.3 การผสมเชื้อเพลิงอ้างอิงที่มีค่าออกเทนเกิน 100 หน่วย	13
2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของสารประกอบออกซิเจนเนต	17
2.5 สารเติมแต่งที่นำมาใช้ในแก๊สโซลีน	22
2.6 มาตรฐานไอเสียและคุณสมบัติแก๊สโซลีน สหรัฐและสหภาพยุโรป	24
3.1 รายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ	38
4.1 ค่าออกเทนของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	42
4.2 ค่าการกลั่นของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	43
4.3 ความดันไอของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	44
4.4 ปริมาณสารแอมติกและสารเบนซินร้อยละโดยปริมาตร	45
4.5 ค่าออกเทนของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	48
4.6 ค่าการกลั่นของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	49
4.7 ความดันไอของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	49
4.8 ปริมาณสารออกซิเจนตร้อยละโดยปริมาตร	50
4.9 ค่าออกเทน ปริมาณสารแอมติก เบนซินและออกซิเจนเนต	53
4.10 ผลการตรวจวิเคราะห์สารที่ออกจากท่อไอเสียของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	54
4.11 ผลการตรวจวิเคราะห์สารที่ออกจากท่อไอเสียของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	54
4.12 ผลการตรวจวิเคราะห์สารที่ออกจากท่อไอเสียของทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตรในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอล	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ท่อลู่อื่นในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเทียบกับแก๊สโซลีนที่ขายในท้องตลาดของโรงอุตสาหกรรม	60
4.14 เตาทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเทียบกับแก๊สโซลีนที่ขายในท้องตลาดของโรงอุตสาหกรรม	61



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติ	1
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดกับค่าออกเทน.....	10
2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศกับค่าออกเทน	11
2.3 การจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้	13
2.4 เครื่องยนต์มาตรฐานแบบ CFR	15
2.5 เครื่องวัดความดัน	20
2.6 กลไกการทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	24
2.7 ช่องว่างด้านบนของแหวนลูกสูบระหว่างลูกสูบและผนังกระบอกสูบ	26
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษกับอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง	32
2.9 การทำงานของเครื่องแปรสภาพไอเสีย	33
2.10 แผนภูมิของ Emission Control System ของไอเสีย	34
4.1 การระเหยของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลที่อัตราส่วนต่างๆ	46
4.2 คุณสมบัติค่าออกเทน ความดันไอของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	46
4.3 การระเหยของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	51
4.4 คุณสมบัติค่าออกเทน ความดันไอของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล	51
4.5 ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกจากท่อไอเสียเมื่อใช้ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล เป็นเชื้อเพลิง	57
4.6 ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกจากท่อไอเสียเมื่อใช้เอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล เป็นเชื้อเพลิง	57
4.7 ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกจากท่อไอเสียเมื่อใช้ทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตรในแก๊ส ธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง	58

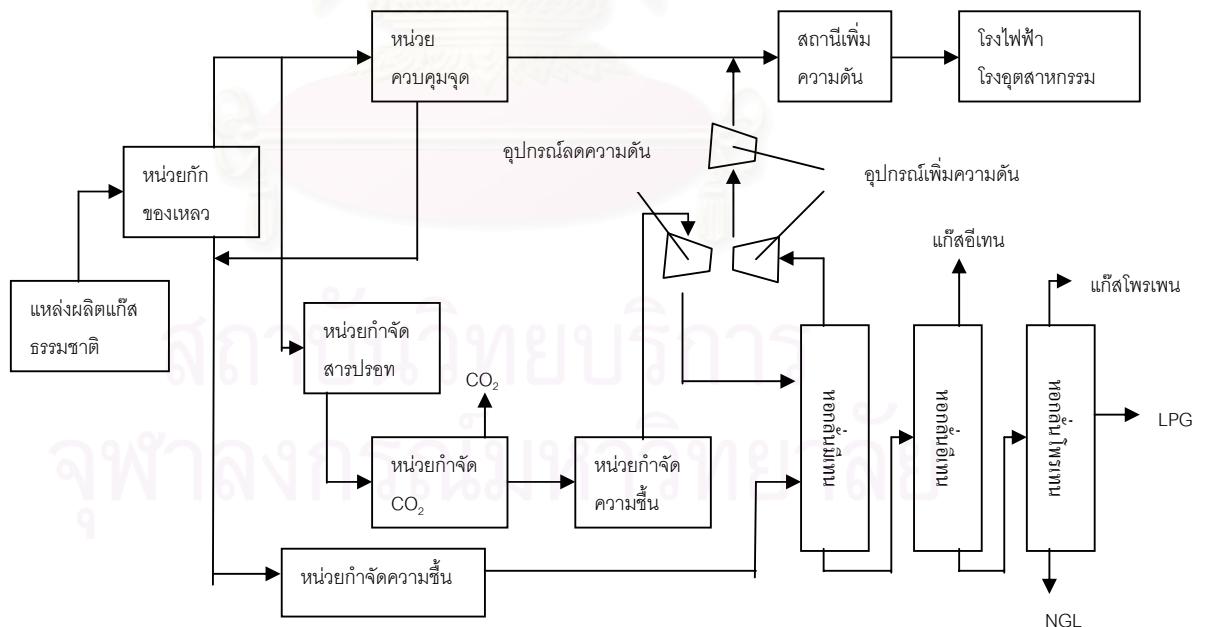
อักษรย่อ

ASTM	The American Society for Testing and Materials
ULG 87	แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87
ULG 91	แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 91(Unleaded Regular Gasline; แก๊สโซลีนธรรมดาไร้สารตะกั่ว)
ULG 95	แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 95(Unleaded Premium Gasoline; แก๊สโซลีนพิเศษไร้สารตะกั่ว)
rpm	รอบต่อนาที (round per minimum)
ppm	หนึ่งในล้านส่วน (Part(s) per million)
%vol.	ร้อยละโดยปริมาตร (Volume percent)
%wt	ร้อยละโดยน้ำหนัก (weight percent)
B & C	ใสไม่มีสี (Bright and Clear)
RON	Research Octane Number
MON	Motor Octane Number
RVP	ความดันไอ (Reid Vapor Pressure)
psi	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (Pound(s) per cubic inches)
S.G.	ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
IBP	จุดเดือดเริ่มต้น (Initial Boiling Point)
Evap.	ปริมาณที่กลั่นได้ (Evaporated)
FBP	จุดเดือดสุดท้าย (Final Boiling Point)
SPECS	ข้อกำหนดคุณภาพ (specification)
MOC	กระทรวงพาณิชย์ (Ministry of Commerce Thailand)
NGL	ผลิตภัณฑ์พลอยได้หลังกระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติเหลว (Natural Gas Liquid)
HC	สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)
CO	สารคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbonmonoxide)
PIONA	เครื่อง Gas Chromatography ใช้วิเคราะห์หา Paraffins , Isoparaffins , Aromatics , Naphtenes และ Olefins

บทที่ 1

บทนำ

แก๊สธรรมชาติจากอ่าวไทยประกอบด้วยมีเทน อีเทน โพรเพน บิวเทน เพนเทน เฮกเซน และอื่นๆ ซึ่งอาจมีแก๊สที่ไม่ใช่ไฮโดรคาร์บอนปนอยู่ด้วย เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ แก๊สไนโตรเจน และน้ำ แก๊สธรรมชาติส่วนใหญ่จะประกอบด้วยมีเทน ซึ่งสามารถแยกออกมาใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าและโรงอุตสาหกรรม โดยจะให้ผลตอบแทนที่ดีในทางเศรษฐกิจ และเพื่อให้คนไทยได้มีโอกาสใช้แก๊สธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรภายในประเทศอย่างทั่วถึงและเกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นในปี พ.ศ. 2525 การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จึงได้ดำเนินการก่อสร้างโรงแยกแก๊สธรรมชาติ แสดงในรูปที่ 1.1 เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทิลีนและโพรพิลีน รวมทั้งได้แยกโพรเพนและบิวเทน สำหรับผลิตแก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas; LPG) ใช้ในอุตสาหกรรมและยานพาหนะ แก๊สที่เหลือจากกระบวนการแยก เรียกว่า แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล (Natural Gas Liquid; NGL)



รูปที่ 1.1 กระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติ [1]

แก๊สธรรมชาติเหลวคอนเดนเสทเป็นผลผลิตที่ได้พร้อมกับแก๊สธรรมชาติ มักพบคอนเดนเสทในท่อผลิตแก๊สภายในหลุมแก๊สธรรมชาติ อย่างไรก็ตามยังพบคอนเดนเสทในบริเวณอุปกรณ์แยกแก๊สธรรมชาติขึ้นต้นบนแท่นผลิตแก๊สในอ่าวไทยอีกด้วย

ดังนั้นแก๊สธรรมชาติเหลวคอนเดนเสทจึงแตกต่างจากแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล ที่เกิดขึ้นภายหลังจากการแยกแก๊สชนิดต่างๆในโรงแยกแก๊สธรรมชาติ แต่ในต่างประเทศได้รวมคอนเดน-เสทกับแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเข้าด้วยกันรวมเรียกว่า แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล [2,3]

แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล ที่ได้จากการขุดเจาะในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้น แสดงในตาราง 1.1

ตารางที่ 1.1 การผลิต การส่งออกและการใช้แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล [4]

รายการ	2543	2544	
		ปริมาณ	การเปลี่ยนแปลง (%)
การผลิต	8,797	10,066	10.3
การส่งออก	2,563	1,636	-50.5
การใช้	6,080	8,441	68.0

จากตารางจะเห็นปริมาณการส่งออกลดลง ประกอบกับเศรษฐกิจภายในประเทศอยู่ในช่วงชะลอตัว จึงจำเป็นต้องจำหน่ายให้ต่างประเทศในราคาถูก เพื่อลดปัญหาเรื่องอุปกรณและสถานที่จัดเก็บ ซึ่งข้อกำหนดคุณภาพของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล ของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย แสดงในตาราง 1.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.2 ข้อกำหนดคุณภาพของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย [5]

Characteristic	Unit	Spec.
Density	g/ml	0.65 - 0.70
IBP	°C	Reprot
FBP		150
RVP	psi	12.5
Paraffins	%wt	83
Olefins	%wt	1
Naphthenes	%wt	20
Aromatics	%wt	5
Total sulfur	ppm	400
Lead	ppb	20

จากการทดสอบคุณภาพเบื้องต้นพบว่าสามารถนำมาใช้แทนแก๊สโซลีน (Gasoline) ได้ แต่มีข้อจำกัดในเรื่องค่าออกเทนที่ต่ำ จึงต้องปรับค่าออกเทนก่อนนำมาใช้ สารที่นำมาปรับค่าออกเทนประกอบด้วย

1. ทอลูอิน เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีการศึกษาและนำมาใช้เพิ่มค่าออกเทนในแก๊สโซลีน [6] เหตุที่เลือกทอลูอินเป็นสารเพิ่มค่าออกเทน เนื่องจากมีค่าออกเทนสูงที่สุดในกลุ่มของสารไฮโดรคาร์บอน แสดงในตาราง 1.4 ทอลูอินเป็นสารละลายที่ได้จากกระบวนการกลั่นแยกสารไพโรไลซิสแก๊สโซลีน (pyrolysis gasoline or aromatic concentrate) หรือสารรีฟอร์มเมท (Reformate) โดยทอลูอินที่ผลิตได้ ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสี ทินเนอร์ เรซิน และกาว ยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber adhesives) หรือนำทอลูอินไปผ่านกระบวนการ Dealkylation (Toluene dealkylation; TDA) ได้สารเบนซิน ให้มีมูลค่าสูงขึ้นและเป็นที่ต้องการของตลาดมากกว่า โดย โรงอุตสาหกรรมต้องมีอุปกรณ์เสริม นั่นคือต้องลงทุนเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังมีอีกส่วน ซึ่งเป็นส่วนน้อยนำมาใช้เพิ่มค่าออกเทน ปัจจุบันความต้องการ (Demand) ทอลูอินภายในประเทศลดน้อยลง ส่งผลให้มีทอลูอินเหลือใช้จำนวนมาก จึงพยายามส่งออก แสดงในตาราง 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงการผลิต การส่งออกและการใช้ทอลูอิน [7]

รายการ	2544	2545	
		ปริมาณ	การเปลี่ยนแปลง (%)
การผลิต	24,355,161	28,885,221	18.6
การส่งออก	9,334,650	14,290,176	53.1
การใช้	15,006,202	14,155,632	-6.7

ดังนั้น การนำแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล และทอลูอิน เหลือใช้มาผสมกัน แล้วสามารถใช้แทนแก๊สโซลีนได้ จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสารทั้งสอง

ตารางที่ 1.4 ค่าออกเทนของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่น่าสนใจ [8]

HYDROCARBON	RESEARCH OCTANE NUMBER (RON)
n-Paraffins :	
n-Pentane	61.7
n-Hexane	24.8
n-Heptane	0.0
n-Octane	-19.0
Branched-chain paraffins :	
2-Methylbutane.....(C ₅)	92.3
2,2-Dimethylpropane	85.5
2-Methylpentane.....(C ₆)	73.4
3-Methylpentane	74.5
2,2-Dimethylbutane	91.8
2,3-Dimethylbutane	100.3

ตารางที่ 1.4 (ต่อ)

HYDROCARBON	RESEARCH OCTANE NUMBER (RON)
Cycloparaffins:	
Cyclohexane	83.0
Methylcyclopentane	91.3
Methylcyclohexane	74.8
Aromatics :	
Benzene	98.0
Toluene	115.0
<i>m</i> -Xylene	104.0

2. เอทานอล (Ethanol) มีค่าออกเทนสูง [9] ใช้มากในแถบอเมริกาใต้ และบางแห่งในสหรัฐอเมริกา การใช้อย่างไม่กว้างเนื่องจากราคาแพง ปัจจุบันสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้ทำการผลิตด้วยโรงงานต้นแบบผลิตแอลกอฮอล์จากมันสำปะหลัง เพื่อลดปัญหาสินค้าเกษตรตกต่ำ ลดการนำเข้าแก๊สโซลีนและสาร MTBE ด้วยกระบวนการแบบใหม่ที่สมาคมอุตสาหกรรมหมักแห่งประเทศไทยเสนอแนะ เรียกว่า Non-cooking Pressurized Distillation ซึ่งใช้ไอน้ำและไฟฟ้าน้อยกว่ากรรมวิธีแบบเดิม (Cooking Normal Distillation) [10] โดยเอทานอลที่ได้มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 โดยปริมาตร ซึ่งตรงตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1599 พ.ศ. 2533 เมื่อนำมาเทียบกับคุณสมบัติแก๊สโซลีน แสดงในตาราง 1.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1.5 คุณสมบัติของเอทานอลเทียบกับ MTBE และแก๊สโซลีน [11]

Property	Ethanol	MTBE	Gasoline
Formula	CH ₃ CH ₂ OH	C(CH ₃) ₃ OCH ₃	Mixture of C ₄ to C ₁₂ Hydrocarbons
Molecular weight	46.07	88.15	100-105 avg.
Oxygen Content, %wt	34.7	18.15	0
Relative Density 60/60 °F	0.794	0.746	0.72 - 0.78
Boiling temperature, °F	172	131	80 - 437
Flash point, °F	55	-11.2	-45
Autoignition temp., °F	793	237	495
Flammability limits, %vol.			
Lower	4.3	-	1.4
Higher	19.0	-	7.6
Octane Number			
Research	111	115	83 - 95
Motor	92	97	Min. 85.7
Stoichiometric Air-Fuel ratio, wt.	9.0	11.7	15.1
Combustion heat, J/kg x10 ⁶	26.96	38.24	41.88

เหตุที่นำแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล มาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงเนื่องจากวิกฤตการณ์ของน้ำมันได้ทวีความรุนแรงขึ้นมาก ราคาน้ำมันที่ใช้ในเครื่องยนต์สูงขึ้น ในบางครั้งน้ำมันยังขาดแคลนอีกด้วย น้ำมันเป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งพลังงานจากน้ำมันถูกนำไปใช้ในเครื่องยนต์เครื่องจักรต่างๆ เป็นองค์ประกอบสำคัญของการพัฒนาอุตสาหกรรมแทบทุกประเภท ช่วยเปลี่ยนแปลงสภาพชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์ให้ก้าวหน้าทันสมัยอย่างรวดเร็ว ในขณะที่เดียวกันน้ำมันก็มีบทบาทต่อความมั่นคงทางเศรษฐกิจ การเมืองและการทหารของประเทศต่างๆ เป็นอย่างมาก ประกอบกับแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลที่ผลิตได้ภายในประเทศมีเหลือมากขึ้น ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องสถานที่จัดเก็บและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ จึงต้อง

หาช่องทางจำหน่ายอื่น เพื่อปรับปรุงคุณภาพแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลให้เป็นที่ต้องการของตลาด ในขณะที่เดียวกัน ทอลูอินเหลือใช้ขายไม่ได้ มีปริมาณมาก ดังนั้นการนำแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลและ ทอลูอิน มาผสมกันแล้ว มีมูลค่าสูงขึ้น จึงเป็นเหตุจูงใจที่น่าศึกษา

จุดประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล ให้มีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีน
2. ผลิตแก๊สโซลีนชนิดใหม่ที่มีราคาถูกลง โดยใช้สารที่ผลิตและจำหน่ายราคาถูกลงภายในประเทศ เพื่อลดต้นทุน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แก๊สโซลีน (Gasoline or motor fuel) เป็นของผสมที่ได้จากการนำสารไฮโดรคาร์บอนต่างๆ ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 4 ถึง 12 อะตอม มีช่วงจุดเดือดประมาณ 30 ถึง 200 °C (100 ถึง 400 °F) มาผสมรวมกัน องค์ประกอบของแก๊สโซลีนจึงมีหลากหลาย ถ้าองค์ประกอบที่ใช้มีสมบัติใกล้เคียงกันก็สามารถนำมาใช้แทนได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวโรงกลั่นจึงมีกระบวนการผลิตแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปแก๊สโซลีนประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ คือ สารประกอบพาราฟินส์ (parafins) โอลิฟินส์ (olefins) และสารประกอบแอโรแมติก (aromatic)

2.1 สมบัติของแก๊สโซลีน [12-15]

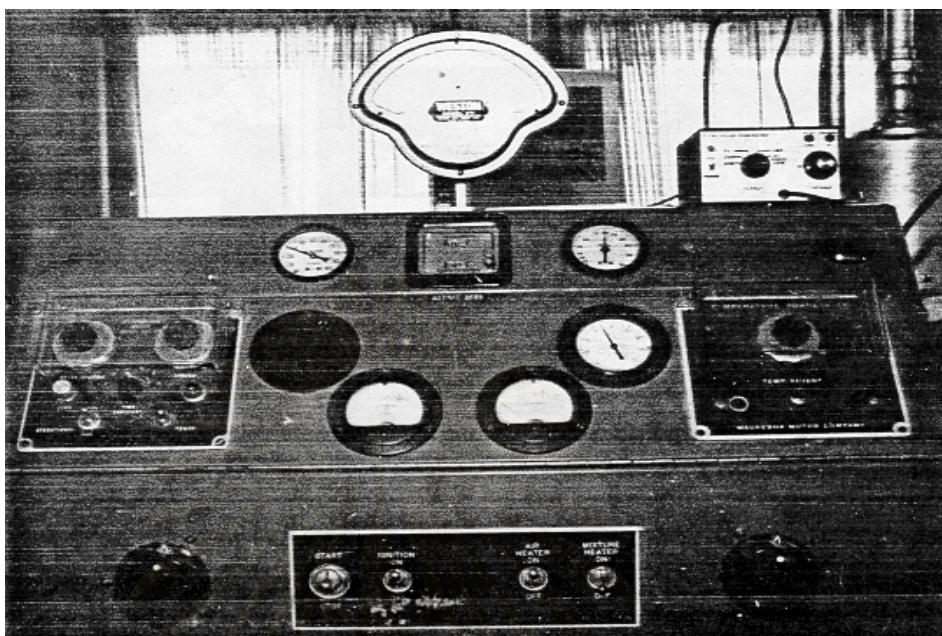
ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ขึ้นกับสมบัติของแก๊สโซลีนที่ใช้ สมบัติที่สำคัญประกอบด้วย ค่าออกเทน (Octane number) ความสามารถในการระเหย (Volatility) และความคงตัว (Stability)

2.2 ค่าออกเทน (Octane number or antiknock quality)

ค่าออกเทน หมายถึงตัวเลขแสดงคุณสมบัติต้านทานการน็อค (Knock or Detonation) ของแก๊สโซลีน สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิด วัดเปรียบเทียบกับไอโซออกเทน (iso-octane; 2,2,4-trimethyl pentane) มีค่าออกเทนเป็น 100 และนอร์มัลเฮพเทน (n-heptane) มีค่าออกเทนเป็นศูนย์ เป็นเชื้อเพลิงอ้างอิงโดยใช้เครื่องยนต์มาตรฐานลูกสูบเดี่ยวที่สามารถปรับอัตราส่วนการอัดตัวได้ เรียกว่า เครื่องยนต์ CFR (Cooperative Fuels Research) ดังรูป 2.1 การวัดค่ามี 2 วิธีคือวิธีรีเสอร์ช (Research Method) และวิธีมอเตอร์ (Motor Method) ทั้ง 2 วิธีต่างกันที่ข้อจำกัดของสภาวะที่ใช้ รายละเอียดในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 สภาวะที่ใช้ตามวิธีเซอร์ช และวิธีมอเตอร์ [16]

METHOD	MOTOR (ASTM D-2700)	RESEARCH (ASTM D-2699)
Engine Speed	900 ± 9 rpm	600 ± 6 rpm
Spark Advance	Basic Setting 26 ° BTDC At 264 Digital Counter Reading Automatic Adjustment as C.R. Changes	13 ° BTDC
Temperature, Intake Air	100 ± 5 °F (38 ± 2.8 °C)	Specified for Barometric Pressure Tolerance ± 2 °F (125 °F at 29.92 in. Hg)
Humidity, Intake Air	25 – 50 Grains per pound of Dry Air	25 – 50 Grains per pound of Dry Air
Temperature, F / A Mixture	300 ± 2 °F (149 ± 1.1°C) (Tune within 285°F to 315°F)	NOT APPLICABLE
Temperature, Cylinder Jacket Coolant	212 ± 3 °F (100 ± 1.5°C)	212 ± 3 °F (100 ± 1.5°C)
Oil Pressure	25 – 30 psi (0.17-0.20 MPa)	25 – 30 psi
Oil Temperature	135 ± 15 °F (57 ± 8.5°C)	135 ± 15 °F (57 ± 8.5°C)
Standard Knock Intensity	50 ± 5	50 ± 5



รูปที่ 2.1 เครื่องยนต์มาตรฐานแบบ CFR

ค่าออกเทนขึ้นอยู่กัับ [16]

1. ความเข้มของการน็อค (Knock Intensity; KI) เป็นการวัดกระบวนการเผาไหม้ สมบัติการน็อคเปรียบเทียบกับสารเคมีที่รู้ค่าออกเทน (Primary Reference Fuel; PRF) แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีตัวอย่างมีค่าออกเทนน้อยกว่า 100 ให้ใช้ไอโซออกเทนและนอร์มัลเฮพเทน ผสมกันตามอัตราส่วนต่างๆ จะได้ค่าออกเทน ตามตาราง 2.2 ส่วนกรณีค่าออกเทนเกิน 100 ให้เติม Tetraethyl Lead (TEL) ในไอโซออกเทน ได้ค่าออกเทน ตามตาราง 2.3

2. อัตราส่วนกำลังอัด (Compression Ratio; CR) เพิ่มขึ้น การน็อคก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับเครื่องยนต์ CFR การเพิ่มอัตราส่วนกำลังอัด ทำให้การเคลื่อนของกระบอกสูบ (cylinder) สูงขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดกับค่าออกเทน แสดงได้ดังรูป 2.2 ความสัมพันธ์นี้ไม่เป็นเส้นตรง

ตารางที่ 2.2 การผสมเชื้อเพลิงอ้างอิงที่มีค่าออกเทนไม่เกิน 100 หน่วย

Blends of 80 Octane Number Blend and n-Heptane				Blends of 80 Octane Number Blend and Isooctane			
80 Octane Number Blend, percent	Octane Number	80 Octane Number Blend, percent	Octane Number	Isooctane, percent	Octane Number	Isooctane, percent	Octane Number
0	0.0	50	40.0	0	80.0	50	90.0
1	0.8	51	40.8	1	80.2	51	90.2
2	1.6	52	41.6	2	80.4	52	90.4
3	2.4	53	42.4	3	80.6	53	90.6
4	3.2	54	43.2	4	80.8	54	90.8
5	4.0	55	44.0	5	81.0	55	91.0
6	4.8	56	44.8	6	81.2	56	91.2
7	5.6	57	45.6	7	81.4	57	91.4
8	6.4	58	46.4	8	81.6	58	91.6
9	7.2	59	47.2	9	81.8	59	91.8
10	8.0	60	48.0	10	82.0	60	92.0
11	8.8	61	48.8	11	82.2	61	92.2
12	9.6	62	49.6	12	82.4	62	92.4
13	10.4	63	50.4	13	82.6	63	92.6
14	11.2	64	51.2	14	82.8	64	92.8
15	12.0	65	52.0	15	83.0	65	93.0
16	12.8	66	52.8	16	83.2	66	93.2
17	13.6	67	53.6	17	83.4	67	93.4
18	14.4	68	54.4	18	83.6	68	93.6
19	15.2	69	55.2	19	83.8	69	93.8
20	16.0	70	56.0	20	84.0	70	94.0
21	16.8	71	56.8	21	84.2	71	94.2
22	17.6	72	57.6	22	84.4	72	94.4
23	18.4	73	58.4	23	84.6	73	94.6
24	19.2	74	59.2	24	84.8	74	94.8
25	20.0	75	60.0	25	85.0	75	95.0
26	20.8	76	60.8	26	85.2	76	95.2
27	21.6	77	61.6	27	85.4	77	95.4
28	22.4	78	62.4	28	85.6	78	95.6
29	23.2	79	63.2	29	85.8	79	95.8
30	24.0	80	64.0	30	86.0	80	96.0
31	24.8	81	64.8	31	86.2	81	96.2
32	25.6	82	65.6	32	86.4	82	96.4
33	26.4	83	66.4	33	86.6	83	96.6
34	27.2	84	67.2	34	86.8	84	96.8
35	28.0	85	68.0	35	87.0	85	97.0
36	28.8	86	68.8	36	87.2	86	97.2
37	29.6	87	69.6	37	87.4	87	97.4
38	30.4	88	70.4	38	87.6	88	97.6
39	31.2	89	71.2	39	87.8	89	97.8
40	32.0	90	72.0	40	88.0	90	98.0
41	32.8	91	72.8	41	88.2	91	98.2
42	33.6	92	73.6	42	88.4	92	98.4
43	34.4	93	74.4	43	88.6	93	98.6
44	35.2	94	75.2	44	88.8	94	98.8
45	36.0	95	76.0	45	89.0	95	99.0
46	36.8	96	76.8	46	89.2	96	99.2
47	37.6	97	77.6	47	89.4	97	99.4
48	38.4	98	78.4	48	89.6	98	99.6
49	39.2	99	79.2	49	89.8	99	99.8
50	40.0	100	80.0	50	90.0	100	100.0

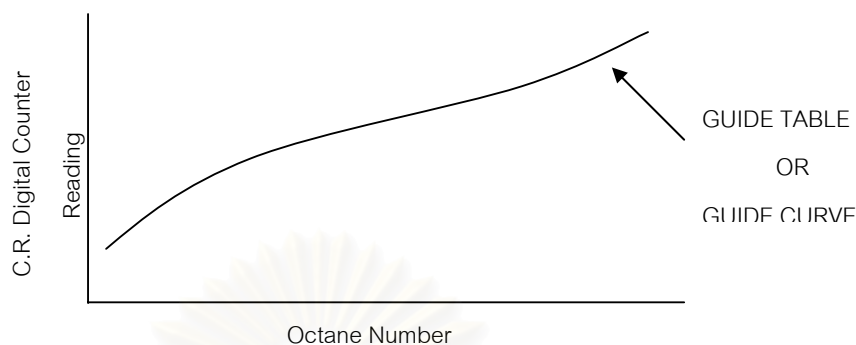
ตารางที่ 2.3 การผสมเชื้อเพลิงอ้างอิงที่มีค่าออกเทนเกิน 100 หน่วย

TEL, ml per U.S. gal	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	TEL, ml per U.S. gal
0.0	100.00	100.14	100.28	100.42	100.55	100.68	100.81	100.94	101.07	101.19	0.0
0.1	101.32	101.44	101.56	101.68	101.80	101.92	102.05	102.17	102.29	102.41	0.1
0.2	102.48	102.58	102.69	102.80	102.90	103.01	103.11	103.21	103.31	103.41	0.2
0.3	103.51	103.60	103.70	103.79	103.88	103.98	104.07	104.16	104.25	104.34	0.3
0.4	104.43	104.52	104.61	104.69	104.78	104.86	104.94	105.03	105.11	105.19	0.4
0.5	105.27	105.35	105.43	105.51	105.59	105.66	105.74	105.82	105.89	105.97	0.5
0.6	106.04	106.11	106.19	106.26	106.33	106.40	106.47	106.54	106.61	106.68	0.6
0.7	106.75	106.81	106.88	106.95	107.01	107.08	107.15	107.21	107.27	107.34	0.7
0.8	107.40	107.46	107.51	107.58	107.63	107.71	107.77	107.83	107.89	107.95	0.8
0.9	108.01	108.07	108.13	108.18	108.24	108.30	108.35	108.41	108.47	108.52	0.9
1.0	108.58	108.63	108.69	108.74	108.79	108.85	108.90	108.95	109.01	109.06	1.0
1.1	109.11	109.16	109.21	109.26	109.31	109.36	109.41	109.46	109.51	109.56	1.1
1.2	109.61	109.66	109.71	109.75	109.80	109.85	109.90	109.94	109.99	110.04	1.2
1.3	110.09	110.13	110.17	110.22	110.26	110.31	110.35	110.40	110.44	110.49	1.3
1.4	110.53	110.57	110.62	110.66	110.70	110.74	110.79	110.83	110.87	110.91	1.4
1.5	110.95	110.99	111.04	111.08	111.12	111.16	111.20	111.24	111.28	111.32	1.5
1.6	111.36	111.39	111.43	111.47	111.51	111.55	111.59	111.63	111.66	111.70	1.6
1.7	111.74	111.78	111.81	111.85	111.89	111.92	111.96	112.00	112.03	112.07	1.7
1.8	112.11	112.14	112.18	112.21	112.25	112.28	112.32	112.35	112.39	112.42	1.8
1.9	112.45	112.49	112.52	112.56	112.59	112.62	112.66	112.69	112.72	112.76	1.9
2.0	112.79	112.82	112.85	112.89	112.92	112.95	112.98	113.02	113.06	113.08	2.0
2.1	113.11	113.14	113.17	113.20	113.23	113.27	113.30	113.33	113.36	113.39	2.1
2.2	113.42	113.45	113.48	113.51	113.54	113.57	113.60	113.63	113.66	113.69	2.2
2.3	113.72	113.75	113.77	113.80	113.83	113.86	113.89	113.92	113.95	113.97	2.3
2.4	114.00	114.03	114.06	114.09	114.11	114.14	114.17	114.20	114.22	114.25	2.4
2.5	114.28	114.30	114.33	114.36	114.38	114.41	114.44	114.46	114.49	114.52	2.5
2.6	114.54	114.57	114.60	114.62	114.65	114.67	114.70	114.72	114.75	114.77	2.6
2.7	114.80	114.82	114.85	114.87	114.90	114.92	114.95	114.97	115.00	115.02	2.7
2.8	115.05	115.07	115.10	115.12	115.14	115.17	115.19	115.22	115.24	115.26	2.8
2.9	115.29	115.31	115.33	115.36	115.38	115.40	115.43	115.45	115.47	115.50	2.9
3.0	115.52	115.54	115.57	115.59	115.61	115.63	115.66	115.68	115.70	115.72	3.0
3.1	115.75	115.77	115.79	115.81	115.83	115.86	115.88	115.90	115.92	115.94	3.1
3.2	115.96	115.99	116.01	116.03	116.05	116.07	116.09	116.11	116.14	116.16	3.2
3.3	116.18	116.20	116.22	116.24	116.26	116.28	116.30	116.32	116.34	116.36	3.3
3.4	116.38	116.40	116.42	116.44	116.47	116.49	116.51	116.53	116.55	116.57	3.4
3.5	116.59	116.61	116.63	116.64	116.66	116.68	116.70	116.72	116.74	116.76	3.5
3.6	116.78	116.80	116.82	116.84	116.86	116.88	116.90	116.92	116.93	116.95	3.6
3.7	116.97	116.99	117.01	117.03	117.05	117.06	117.08	117.10	117.12	117.14	3.7
3.8	117.16	117.17	117.19	117.21	117.23	117.25	117.26	117.28	117.30	117.32	3.8
3.9	117.34	117.36	117.37	117.39	117.41	117.43	117.44	117.46	117.48	117.50	3.9
4.0	117.51	117.53	117.55	117.56	117.58	117.60	117.62	117.64	117.65	117.67	4.0
4.1	117.68	117.70	117.72	117.74	117.75	117.77	117.79	117.80	117.82	117.84	4.1
4.2	117.85	117.87	117.89	117.91	117.92	117.94	117.95	117.97	117.98	118.00	4.2
4.3	118.02	118.03	118.05	118.07	118.08	118.10	118.11	118.13	118.15	118.16	4.3
4.4	118.18	118.19	118.21	118.23	118.24	118.26	118.27	118.29	118.30	118.32	4.4
4.5	118.33	118.35	118.36	118.38	118.40	118.41	118.43	118.44	118.46	118.47	4.5
4.6	118.49	118.50	118.52	118.53	118.55	118.56	118.58	118.59	118.61	118.62	4.6
4.7	118.64	118.65	118.67	118.68	118.70	118.71	118.73	118.74	118.76	118.77	4.7
4.8	118.78	118.80	118.81	118.83	118.84	118.86	118.87	118.88	118.90	118.91	4.8
4.9	118.93	118.94	118.96	118.97	118.99	119.00	119.01	119.03	119.04	119.05	4.9
5.0	119.07	119.08	119.10	119.11	119.12	119.14	119.15	119.17	119.18	119.19	5.0
5.1	119.21	119.22	119.23	119.25	119.26	119.28	119.29	119.30	119.32	119.33	5.1
5.2	119.34	119.36	119.37	119.38	119.40	119.41	119.42	119.43	119.45	119.46	5.2
5.3	119.47	119.49	119.50	119.51	119.53	119.54	119.55	119.57	119.58	119.59	5.3
5.4	119.60	119.62	119.63	119.64	119.66	119.67	119.68	119.69	119.71	119.72	5.4
5.5	119.73	119.74	119.76	119.77	119.78	119.80	119.81	119.82	119.83	119.85	5.5
5.6	119.86	119.87	119.88	119.90	119.91	119.92	119.93	119.94	119.96	119.97	5.6
5.7	119.98	119.99	120.01	120.02	120.03	120.04	120.05	120.07	120.08	120.09	5.7
5.8	120.10	120.12	120.13	120.14	120.15	120.16	120.17	120.19	120.20	120.21	5.8
5.9	120.22	120.23	120.25	120.26	120.27	120.28	120.29	120.30	120.32	120.33	5.9
6.0	120.34	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6.0

$$^{\circ}\text{Octane number (above 100)} = 100 + \frac{2R,2R T}{(1.0 + 0.736 T + \sqrt{1.0 + 1.472 T + 0.035216 T^2})}$$

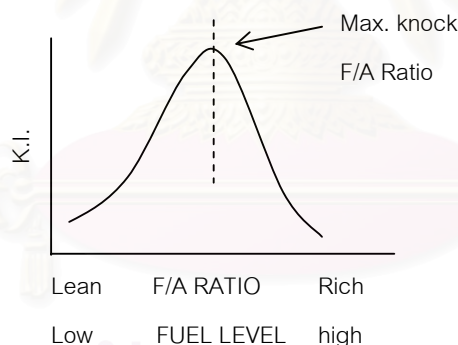
where T = millilitres of tetraethyllead per U.S. gallon in iso-octane.

Only the positive root of the quantity under the square root sign should be used to calculate the equivalent octane number for a given amount of tetraethyllead in iso-octane.



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังอัดกับค่าออกเทน

3. อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel / Air Ratio; F/A Ratio) ที่มีการน็อคสูงสุด โดยวิธีรี-เสอร์ช และวิธีมอเตอร์ ได้กำหนดว่าเชื้อเพลิง (ตัวอย่างหรือ PRF) ควรทดสอบที่อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศที่มีค่าการน็อคสูงสุดก่อน แล้วจึงปรับระดับเชื้อเพลิงให้มากขึ้น ซึ่งทำให้การน็อคลดลง มีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศกับค่าการน็อค [16]

ผลต่างระหว่างค่า RON (ค่าออกเทนสูง) และค่า MON (ค่าออกเทนต่ำ) [17] เรียกว่า Sensitivity แก๊สโซลีนที่ดีควรมีค่า Sensitivity อยู่ในระดับต่ำ ค่า RON และ MON เป็นการหาสมบัติทั้งก่อนหรือเป็นค่าเฉลี่ย ในความเป็นจริงค่าออกเทนไม่เท่ากันทุกส่วน ช่วงเบาจะระเหยออกมาก่อน มักจะมีค่าออกเทนต่ำกว่า (มีพาราฟินส์มาก) ส่วนช่วงหนักระเหยทีหลัง จะให้ค่าออกเทนสูง (มีเอโรแมติกมาก) ซึ่งการกระจายตัวมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีลักษณะเหมือนการใช้งานของเครื่องยนต์ จึงนำค่า RON และ MON มาเฉลี่ย เรียกว่า Posted Octane Number หรือ PON

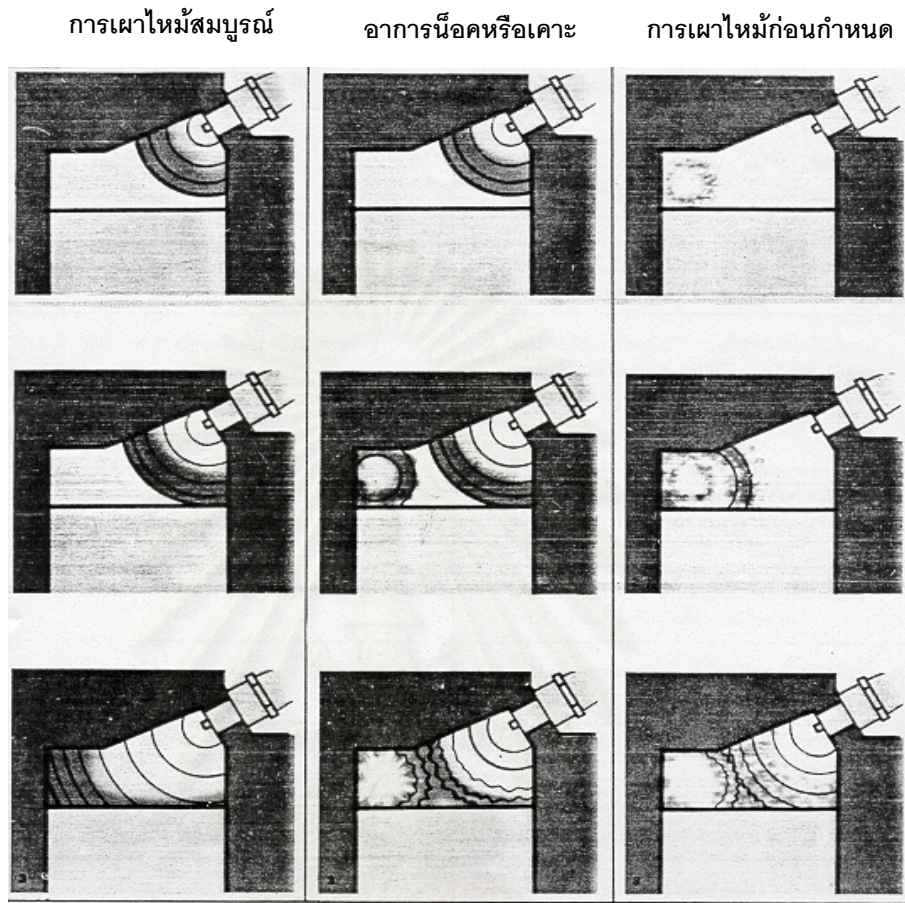
$$\text{PON} = \frac{\text{RON} + \text{MON}}{2}$$

สำหรับประเทศไทยใช้ค่าออกเทน RON และ MON เป็นข้อกำหนด ส่วนสหรัฐอเมริกาใช้ค่าเฉลี่ยของ RON กับ MON

ในสภาพการทำงานปกติของเครื่องยนต์ เมื่อส่วนผสมของอากาศกับเชื้อเพลิง ถูกจุดระเบิดจากประกายไฟหัวเทียนเริ่มเผาไหม้และเกิดเปลวไฟขยายตัวออกไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ของไอน้ำมันส่วนอื่นๆ ในห้องเผาไหม้ตามลำดับ ให้พลังงานผลักดันลูกสูบต่อไป แต่การขยายตัวของเปลวไฟ ทำให้อุณหภูมิและความดันของไอน้ำมันผสมอากาศ ในส่วนที่เปลวไฟยังไม่ถึงเพิ่มขึ้นด้วย และจะเกิดปฏิกิริยาที่ เรียกว่า Pre-flame Reactions ขึ้น ทำให้เกิดกลุ่มเพอร์ออกไซด์ ซึ่งไวต่ออุณหภูมิ และจะทำให้เกิดจุดระเบิดตัวเองได้ (self ignited) โดยไม่ต้องอาศัยเปลวไฟ เมื่อมีปริมาณกลุ่มเพอร์-ออกไซด์นี้สูงกว่าค่ากำหนด (Threshold Limits) ถ้าการจุดระเบิดตัวเองเช่นนี้เกิดขึ้นก่อนเปลวไฟจากหัวเทียนเคลื่อนมาถึง จะทำให้เกิดการกระแทกก่อนจังหวะงานในกระบอกสูบ ซึ่งเรียกว่า เกิดการน็อคหรือการเคาะ มีเสียงดัง (pinging sound) [18] รายละเอียดดังรูป 2.4

ส่งผลให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบทำให้เกิดการสูญเสียพลัง และมีผลเสียต่อชิ้นส่วนเครื่องยนต์อย่างมาก ดังนั้นน้ำมันที่เหมาะสมต้องเกิดการสะสมของสารเพอร์ออกไซด์แต่น้อยหรือซ้ำๆ เพื่อให้เปลวไฟจากหัวเทียนเดินทางมาถึงก่อน ที่สารเพอร์ออกไซด์นี้เกินค่าอันตราย ทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอไม่มีอาการน็อคเกิดขึ้น และได้พลังงานเต็มที่ ปฏิกิริยา pre-flame reactions นี้ขึ้นอยู่กับชนิด และโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอน พวกแอลกอฮอล์, ไอโซพาราฟินส์ใช้กันมากๆ และ โอลิฟินส์ต้านทานการน็อค (antiknock) ได้สูง ไอโซพาราฟินส์ที่มีโซ่กิ่งน้อยและ naphthenes จะเป็นกลุ่มกลางๆ ส่วน n-paraffins จะมีคุณสมบัติในด้านนี้ต่ำที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 การจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้ [18]

2.3 สารต้านทานการน็อค (Antiknock agent) [19]

สารต้านทานการน็อค เป็นสารประกอบที่เติมในแก๊สโซลีนเพียงเล็กน้อย ให้ค่าออกเทนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด สารที่นำมาใช้ควรเข้าหลักต่อไปนี้

1. มีราคาถูกต้องหน่วยออกเทนที่เพิ่ม
2. ไม่เกิดคราบแข็ง (No deposits) เมื่อใช้งาน
3. คุณสมบัติการกลั่นต่ำพอเหมาะ สามารถกระจายตัวได้ดีในกระบอกสูบ
4. เป็นเนื้อเดียวกับแก๊สโซลีน
5. ไม่ก่อมลภาวะ
6. มีความเสถียร

สารต้านทานการน็อคแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีและไม่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ สารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ Egerton [20] ได้กล่าวว่า สารต้านทานการน็อคที่เป็นโลหะ สามารถต้านทานการน็อคได้จริง แต่โลหะมีปัญหาในการจับตัวกับออกซิเจนได้ดีในหลายรูปแบบ ทำให้ความเสถียรลดลง เป็นการบ่งชี้ว่าจะเกิดปฏิกิริยาเช่นนี้ในเครื่องยนต์ อันได้แก่ เกิด chain-breaking, oxidized, decomposed เป็นต้น

ในส่วนของสารประกอบอินทรีย์ที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ ซึ่ง Egerton ได้กล่าวว่าโมเลกุลจะแตกตัวออกมาก่อนอะตอมของโลหะ นั่นคือโลหะที่อยู่ในสารประกอบจะเสถียร เมื่อนำมาใช้กับเครื่องยนต์โลหะจึงไม่ว่องไว สารที่ได้จึงต้านทานการน็อค ต่อมา Sims และ Mardless [21] เชื่อว่าโลหะมีความสำคัญมากกว่า organic radical ที่ต้านทานการน็อค

เหตุของการน็อคและความว่องไวของสารต้านทานการน็อค ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันอย่างลึกซึ้ง หลายๆ การทดสอบ แสดงว่าการจุดระเบิดได้ในเครื่องยนต์ทำให้ความดันลดลง ปฏิกิริยาในส่วน end gas zone จึงป้องกันการน็อค ต่อมา V.K. Rao และ C.R. Prasad [22] ได้ทำการทดสอบพบว่าสารประกอบเตตระเอทิล เลด (Tetraethyl Lead, TEL) สามารถกำหนดการสลายตัวเกิดเป็น PbO ในส่วนของ end gas zone ได้ ซึ่งเป็นเกณฑ์ตัดสินใจว่า เกิดผลเสียน้อยที่สุดและได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย

ต่อมาปัญหามลภาวะเป็นพิษอันเนื่องมาจากสารตะกั่ว [9] ซึ่งออกมาพร้อมกับไอเสียจากท่อไอเสียรถยนต์เป็นเหตุให้ประเทศสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่นและหลายประเทศในยุโรปออกกฎหมายลดปริมาณสารตะกั่วในแก๊สโซลีนลง เป็นผลให้ค่าออกเทนของแก๊สโซลีนต่ำลง โรงกลั่นน้ำมันจึงจำเป็นต้องหาวิธีการหรือค้นหาสารอื่นเพื่อช่วยเพิ่มค่าออกเทนแทนการใช้สารตะกั่ว เช่น วิธีการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุล โดยทำให้โมเลกุลของน้ำมันแตกตัวโดยอาศัยตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic cracking reforming) ได้สารเคมีประเภทสารประกอบแอโรแมติกที่สามารถเพิ่มค่าออกเทนของแก๊สโซลีนให้สูงขึ้น แต่วิธีดังกล่าวเสียค่าใช้จ่ายสูงและทำให้เกิดการขาดแคลนสารประกอบแอโรแมติกเพื่อนำไปป้อนโรงงานปิโตรเคมี ความพยายามค้นหาสารทดแทนสารตะกั่วหรือสารเพิ่มออกเทนตัวอื่นๆ คงดำเนินต่อไป สารซึ่งกำลังเป็นจุดดึงดูดความสนใจในขณะนี้คือ สารเคมีที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (oxygenated hydrocarbons) หรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มค่าออกเทนอื่นๆ เช่น ทอลูอิน เป็นต้น

จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าสารเติมที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ (oxygenated additive) อาจใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนได้ดี ทั้งนี้เนื่องจากสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบมีคุณสมบัติการ

เผาไหม้ที่ดี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องยนต์ ทดแทนข้อเสียที่มีความร้อนต่ำ (calorific value) นอกจากนี้ ยังช่วยลดความเข้มข้นของแก๊สพิษจากท่อไอเสียด้วย สมบัติต่างๆ ของสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ แสดงในตาราง 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ [9]

Oxygenated Compound	MEOH	ETOH	IPA	TBA	SBA	MTBE
Boiling point at 760 mm., °C	64.6	78.5	82.4	82.6	99.5	55.4
Density, 25/4 °C	0.79	0.79	0.78	0.78	0.80	0.74
Molecular mass	32.04	46.07	60.09	74.12	74.12	88.15
Oxygen content, wt, %	50.0	34.7	26.6	21.6	21.6	18.2
Combustion heat, kcal/kg	5427	6440	7959	8506	8530	9135
Vapourization heat, kcal/kg	263.8	200.5	159.2	128.0	134.4	80.5
Flash point, °C	65	12	13	11	24	-28
Ignition point, °C	464	425	456	470	380	460
Research octane number	135	132	115	106	108	117
Motor octane number	93	97	95	94	91	97

รายละเอียดของสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่ใช้เติมในแก๊สโซลีน เพื่อเพิ่มค่าออกเทน

1. เมทานอล (methanol; MeOH) เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ผลิตได้มากและหาง่าย จากแก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน เศษไม้เหลือทิ้ง ฯลฯ เมทานอลบริสุทธิ์เผาไหม้โดยปราศจากเขม่าและควันดำ ให้พลังงานสูงกว่าเชื้อเพลิงเหลวและมีคุณสมบัติการต้านทานการน็อคดีมาก แต่มีข้อเสียที่มีค่าความร้อนต่ำ ความดันไอสูง จึงไปเพิ่มการระเหยของน้ำมัน แยกชั้นและมีความเป็นพิษสูง ในยุโรปใช้เมทานอลในลักษณะที่เรียกว่าตัวทำละลายร่วม (cosolvents) คือจะใช้ร่วมกับแอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ ซึ่งโดยวิธีนี้ช่วยลดจุดบกพร่องของเมทานอล ประชาคมเศรษฐกิจยุโรป (European Economic Community) หรือกลุ่มประเทศ EEC เสนอกฎหมายให้ใช้เมทานอลได้สูงสุดร้อยละ 3 ร่วมกับแอลกอฮอล์อื่นๆ อย่างน้อยร้อยละ 2

2. เอทานอล (ethanol; EtOH) มีคุณสมบัติที่สามารถรวมกับน้ำได้และมีค่าด้านทานการน็อคสูง ประเทศในแถบอเมริกาใต้ และบางแห่งในสหรัฐอเมริกา ใช้ผสมในแก๊สโซลีน แต่การใช้ยังไม่กว้างขวาง เนื่องจากราคาแพง

3. ไอโซโพรพานอล (isopropanol; isopropyl alcohol; IPA) ได้จาก hydration ของโพรไพลีน นอกจากนี้ใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนแล้วยังอาจใช้เป็นสารต้านทานการเป็นน้ำแข็ง (anti-icing additive) ในคาร์บิวเรเตอร์และตัวทำละลายร่วมกับเมทานอลในแก๊สโซลีน มีค่าออกเทนสูงถึงประมาณ 118 ซึ่งมากกว่าหรือเท่ากับเมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ ซึ่งสารตัวนี้ถือว่าเป็นสารเพิ่มค่าออกเทนที่ดีที่สุดตัวหนึ่งและเนื่องจากไอโซโพรพานอลนี้สามารถรวมตัวกับแก๊สโซลีนได้ดี ดังนั้นจึงอาจใช้โดยลำพังหรือใช้ผสมร่วมกับเมทานอลก็ได้

4. เทอเชียรี บิวทานอล (tertiary butanol; tertiary butyl alcohol; TBA) เป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากการผลิตโพรไพลีนออกไซด์ แต่เนื่องจากราคาในการผลิตสูงและคุณสมบัติยังด้อยกว่าสารเพิ่มค่าออกเทนอื่นๆ การใช้จึงจำกัดอยู่เฉพาะใช้ผสมร่วมกับเมทานอลเท่านั้น

5. เซคัลดารี บิวทานอล (secondary butanol; secondary butyl alcohol; SBA) อาจใช้ผสมในแก๊สโซลีนได้ในลักษณะเป็นตัวทำละลายร่วมกับเมทานอลหรือใช้ร่วมกับเมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ มีคุณสมบัติที่ผสมกับแก๊สโซลีนได้ดี ค่าออกเทน อยู่ในเกณฑ์ดีและอาจจะดีขึ้นถ้าใช้ร่วมกับเมทานอล หรือสารเพิ่มออกเทนอื่นๆ

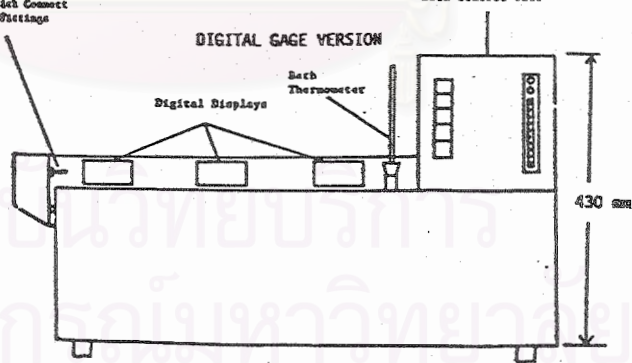
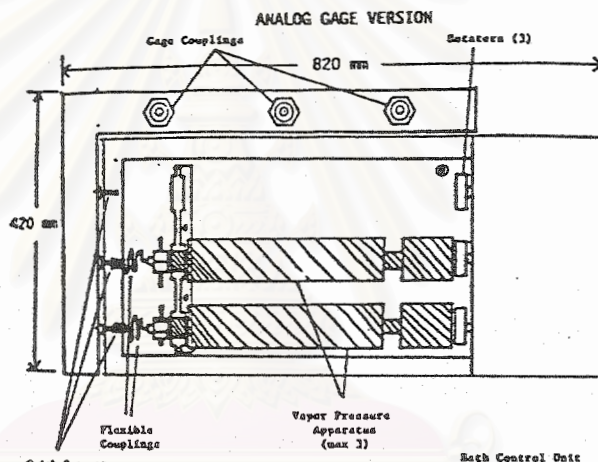
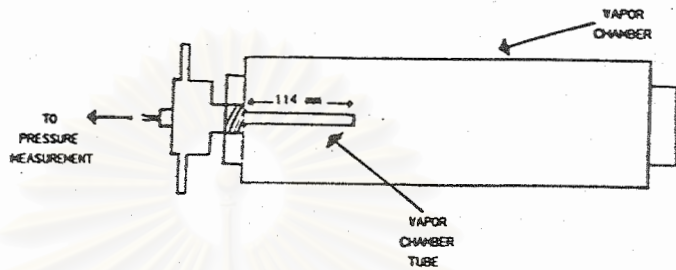
6. เมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ (methyl tertiary butyl ether; MTBE) ผลิตจากปฏิกิริยาของไอโซบิวทีลีนกับเมทานอล สามารถใช้แทนเมทานอลในแก๊สโซลีน โดยไม่มีปัญหาเหมือนเมทานอลและเนื่องจากมีความสามารถในการผสมกับไฮโดรคาร์บอนในแก๊สโซลีนได้ดีกว่าสารประกอบตัวอื่นๆ จึงอาจใช้แทนทอลูอินในแก๊สโซลีนได้ นอกจากนี้ในการผลิตเมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์จากน้ำมันดิบ โดยกระบวนการ alkylation นั้น ถึงแม้จะทำให้ปริมาณแก๊สโซลีนลดลงบ้าง แต่ก็ทำให้ได้แก๊สโซลีนมีค่าออกเทนสูงเป็นที่น่าพอใจ

ในบรรดาสารที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบนับได้ว่าเมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ (MTBE) น่าสนใจมากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารไฮโดรคาร์บอนในแก๊สโซลีน จึงผสมกันได้ดีเป็นอย่างดี มีค่าออกเทนสูงถึง 117 และมีการยืนยันด้วยว่า เมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ ช่วยลดคาร์บอนมอนอกไซด์ การใช้เมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ แพร่หลายอย่างรวดเร็วมากภายหลังที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (The U.S. Environment Protection Agency; EPA) ออกกฎหมายจำกัดปริมาณสารตะกั่วในแก๊สโซลีน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2513 ความต้องการใช้ เมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ ยิ่งมากขึ้นจนถึงปัจจุบัน

2.4 ความสามารถในการระเหย (Volatility) [23]

แก๊สโซลีนที่ดีต้องสามารถให้การระเหยได้ดีในขณะอากาศเย็น ซึ่งทำให้เครื่องยนต์สตาร์ทติดง่าย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวตรวจสอบได้ โดยการวัดอัตราการระเหยหรือช่วงการกลั่น (Distillation) ของแก๊สโซลีน ทำให้ทราบว่าในแก๊สโซลีนมีองค์ประกอบระเหยไวอยู่มากน้อยเท่าใด โดยพิจารณาจากอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ในอัตราร้อยละ 10 โดยปริมาตร (10% ASTM) ในกรณีแก๊สโซลีนมีส่วนระเหยไวอยู่มากเกินไป ก่อให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพและปัญหาไอน้ำมันขัดขวางการไหล (vapor lock) คือการที่น้ำมันกลายเป็นไอภายในระบบการไหลของแก๊สโซลีน ทำให้การไหลสะดุดเครื่องยนต์กระตุกหรือดับ ซึ่งมักเกิดในเวลาที่อากาศเริ่มร้อนขึ้น โดยพิจารณาค่าความดันไอ (vapor pressure) ซึ่งเป็นความดันจากไอของแก๊สโซลีนในสภาวะสมดุลกับส่วนที่เป็นของเหลว โดยนำ แก๊สโซลีนและ Liquid chamber แซ่เย็นให้มีอุณหภูมิ 0-1 °C แล้วใส่แก๊สโซลีนลงใน Liquid chamber สวมกับ Vapor chamber ส่วนอีกด้านต่อเข้ากับอุปกรณ์วัดความดัน ทั้งหมดนี้แช่อยู่ใน อ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 100 °F (37.8 °C) ดังรูป 2.5 เรียกค่าความดันที่ได้ว่า Reid Vapor Pressure หรือ RVP ถ้า RVP สูงเหมาะสมสำหรับใช้ในบริเวณอากาศหนาว สำหรับประเทศไทย ซึ่งอากาศร้อนกำหนด RVP สูงสุดไว้ เพื่อป้องกัน vapor lock

การวัดช่วงการกลั่นยังทำให้ทราบปริมาณองค์ประกอบแก๊สโซลีน ส่วนระเหยปานกลาง (อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ในอัตราร้อยละ 50 โดยปริมาตร หรือ จุด 50% ASTM) ช่วยให้อุปกรณ์เครื่องยนต์ร้อนเร็ว และองค์ประกอบส่วนระเหยช้า (อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้ในอัตราร้อยละ 90 โดยปริมาตร หรือจุด 90% ASTM) ทำให้เกิดกำลังในการใช้งาน แต่ส่วนที่เหลือ (จุดสุดท้าย; End point) อาจก่อให้เกิดเขม่าได้ ถ้ามีมากเกินไป



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์วัดความดันไอ

2.5 การกัดกร่อน (Corrosion) [24,26]

การกัดกร่อนของแก๊สโซลีน โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นจากซัลเฟอร์อิสระ (free sulfur) หรือสารประกอบซัลเฟอร์ (sulfur compounds) เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide) กรดซัลฟิวริก (sulfuric acid) หรือสารประกอบออร์แกนิกซัลเฟอร์ (organic sulfur compounds) สารประกอบซัลเฟอร์ไม่กัดกร่อน แต่เมื่อถูกเผาไหม้ เกิดเป็นออกไซด์ของกำมะถันรวมตัวกับความชื้นจากการเผาไหม้ กลายเป็นกรดกัดกร่อนโลหะต่างๆ โดยเฉพาะบริเวณท่อไอเสีย และลูกสูบเมื่อเครื่องยนต์เย็นตัวลง เป็นเหตุผลว่าในกระบวนการกลั่นต้องกำจัดสารประกอบซัลเฟอร์ออกจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม

สารประกอบกำมะถันบางชนิดที่มีในน้ำมันเช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมอร์แคปแทนซัลเฟอร์ (Mercaptan Sulfur) และซัลเฟอร์อิสระ (Free Sulfur) ตรวจหาโดยวิธี Doctor Test ใช้น้ำยาโซเดียมพลัมไบต์ (Sodium Plumbite) เขย่ากับแก๊สโซลีนในหลอดทดลอง ถ้ามีตะกอนสีดำเกิดขึ้นทันที แสดงว่ามีไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือเป็นสีเหลืองให้เติมผงกำมะถันเล็กน้อย ถ้ามีเมอร์แคปแทนซัลไฟด์ จะเกิดเป็นตะกอนสีดำหรือสีน้ำตาล

2.6 สารเติมแต่ง (Additive) [24]

สารเติมแต่ง เป็นสารเคมีที่ใช้เติมในแก๊สโซลีนเพื่อให้ได้สมบัติเฉพาะหรือเพิ่มสมบัติพิเศษตามสมบัติที่มีอยู่เดิมตามธรรมชาติ มีจุดประสงค์หลัก 2 ประการ คือ ประการแรก เพื่อช่วยให้เครื่องยนต์สะอาดอยู่เสมอ โดยเติมสารชำระล้างสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ในคาร์บูเรเตอร์ หรือวาล์วต่างๆ ส่วนประการสอง เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแก๊สโซลีนที่ได้จากกระบวนการ ให้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนด อันได้แก่ สารต้านทานการน็อค (antiknock agents) และสารต้านทานการเติมออกซิเจน (anti-oxidants) สารเติมแต่งมีหลายชนิด พอสรุปได้ตามตาราง 2.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 สารเติมแต่งที่นำมาใช้ในแก๊สโซลีน [15]

Additive	Function	Composition
Anti-knock compounds	To improve octane quality	Lead alkyls, Methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl
Anti-icing additives	To minimize engine stalling and power loss due to ice formation in carburators and fuel lines	Freezing point depressants such as alcohols glycols
Anti-oxidants	To minimize gum formation and improve storage stability	Phenylene diamine and alkyl phenol compounds
Metal deactivators	To Prevent catalysis of oxidation process by deactivating metal ions such as copper	N,N-diamine derivatives
Combustion chamber deposit modifiers	To minimize misfire due to lead fouling of spark plugs and to reduce surface ignition and preignition	Organophosphorus compounds

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

Additive	Function	Composition
Detergents and dispersants	To minimize deposits the fuel intake system and to supplement the sluge dispersant quality of the lubricant	Alkyl amine phosphates
Metal deactivators	To prevent catalysis of oxidation process by deactivating metal ions such as copper	N,N-diamine derivatives
Combustion chamber deposit modifiers	To minimize misfire due to lead fouling of spark plugs and to reduce surface ignition and preignition	Organophosphorus compounds
Detergents and dispersants	To minimize deposits the fuel intake system and to supplement the sluge dispersant quality of the lubricant	Alkyl amine phosphates
Antirust additives	To prevent rust and corrosion arising from water (and air)	Fatty-acid amines, sulfonates or alkyl phosphates

2.7 การเผาไหม้ของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Combustion of gasoline engine) [25]

พลังงานที่ได้จากเครื่องยนต์ เกิดจากกระบวนการสันดาปหรือการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นส่วนของห้องเผาไหม้และองค์ประกอบของการเผาไหม้นั้น ประกอบด้วย เชื้อเพลิง อากาศ และความชื้น เข้าไปผสมกันได้อย่างถูกต้องและในอัตราส่วนที่เหมาะสม ประการสำคัญพลังงานที่เครื่องยนต์ผลิตขึ้นต้องเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาที่เครื่องยนต์ติดอยู่ และจะหยุดทำงานก็ต่อเมื่อผู้ควบคุมต้องการหยุดทำงานเท่านั้น กลไกการทำงานของเครื่องยนต์ ประกอบด้วยจังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะกำลัง (ระเบิด) และจังหวะคาย หรือที่เรียกว่า เครื่องยนต์ 4 จังหวะ (รูปที่ 2.6) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

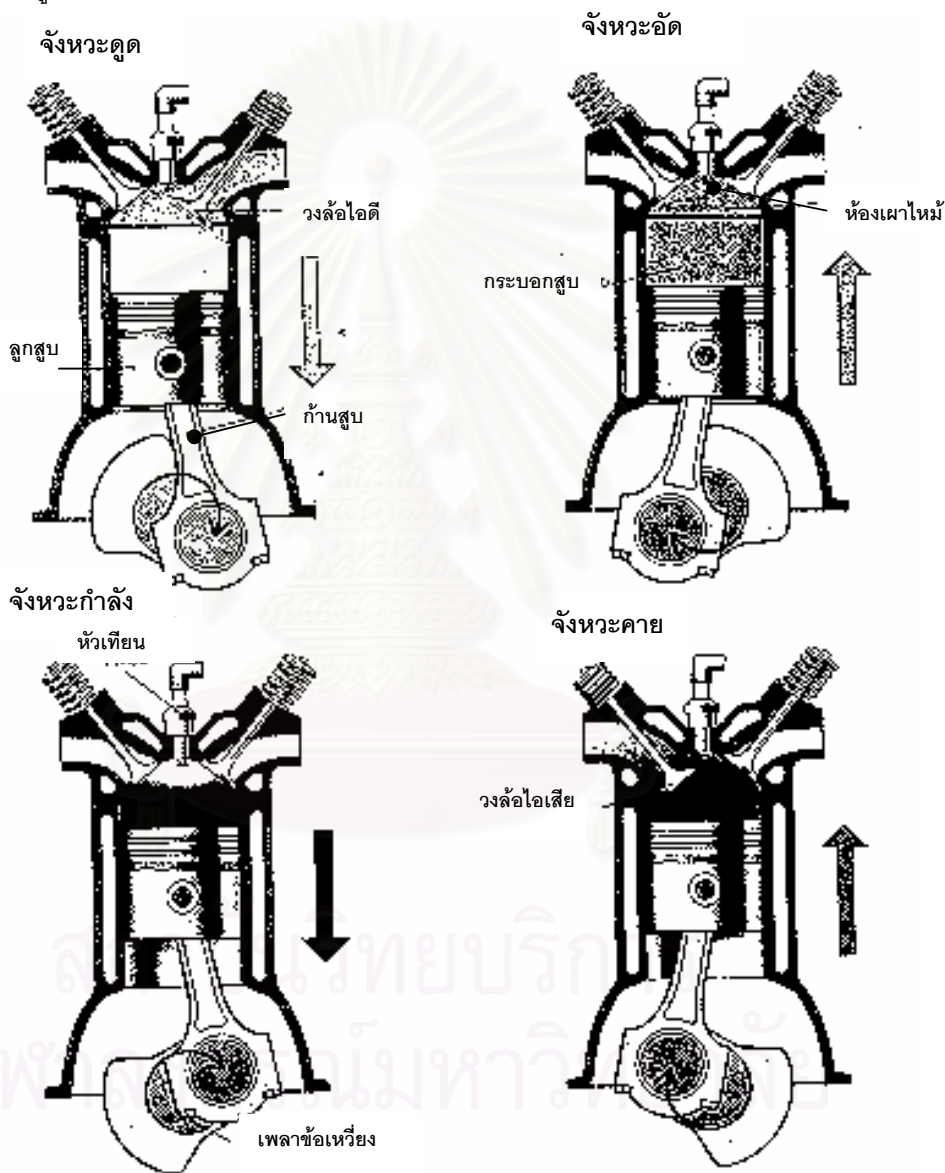
1. จังหวะดูด (Intake stroke) เริ่มต้นเมื่อลูกสูบเลื่อนลงจากจุดบนสุดของลูกสูบ ที่เรียกว่า จุดศูนย์ตายบน (Top Dead Center = TDC) ลิ้นไอดีเปิด (Inlet valve open) และการที่ลูกสูบเลื่อนลงปริมาตรในกระบอกสูบ บนหัวลูกสูบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกลายเป็นสุญญากาศเกิดแรงดูดไอดี ซึ่งเป็นส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศในรูปของแก๊สเชื้อเพลิง เข้าบรรจุในกระบอกสูบ จนเต็มปริมาตร เมื่อลูกสูบเลื่อนถึงจุดต่ำสุดของลูกสูบซึ่งไม่สามารถเลื่อนลงต่อไปได้อีกแล้ว ถ้าเพลาช้อเหวี่ยงหมุนดันก้านสูบกับลูกสูบต่อไปอีกลูกสูบจะเลื่อนขึ้น ณ จุดๆ นี้เรียกว่า ศูนย์ตายล่าง (Bottom Dead Center = BDC) และตำแหน่งนี้ลิ้นไอดีปิดเป็นการสิ้นสุดจังหวะดูด

2. จังหวะอัด (Compression stroke) เริ่มต้นเมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นจากตำแหน่งตายล่าง ลิ้นไอดี ลิ้นไอเสียปิด ลูกสูบอัดส่วนผสมหรือไอดีให้มีปริมาตรเล็กลง และมีแรงดันสูง จังหวะอัดสิ้นสุดเมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นก่อนถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อยและหัวเทียนจุดประกายไฟ

3. จังหวะกำลัง (Power stroke) ลูกสูบเลื่อนขึ้นศูนย์ตายบน ลิ้นไอดี ลิ้นไอเสียปิดก่อนลูกสูบจะถึงศูนย์ตายบนเล็กน้อย หัวเทียนจุดประกายไฟเผาไหม้ไอดีที่ถูกอัด ลูกสูบเลื่อนขึ้นผ่านศูนย์ตายบน พร้อมกับการเผาไหม้แก๊สร้อน จากการเผาไหม้ จะขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีแรงดันมหาศาลจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เรียกว่า การระเบิดผลักดันลูกสูบให้เลื่อนลง ส่งกำลังผ่านก้านสูบไปหมุนเพลาช้อเหวี่ยงให้หมุนเกิดพลังงานกลขึ้น และจังหวะกำลังสิ้นสุดลงเมื่อลูกสูบเลื่อนลงสู่ศูนย์ตายล่างและลิ้นไอเสียเปิด

4. จังหวะคาย (Exhaust stroke) เริ่มเมื่อลูกสูบเลื่อนลงสู่ศูนย์ตายล่างและลิ้นไอเสียเปิด แก๊สไอเสียที่มีแรงดันจะถูกระบายออกทางลิ้นไอเสียจนลูกสูบเลื่อนผ่านศูนย์ตายล่าง แล้วเลื่อนขึ้นอัดไล่อไอเสียที่ค้างอยู่ในกระบอกสูบออก จังหวะคายสิ้นสุดการทำงานเมื่อลิ้นไอเสียปิด

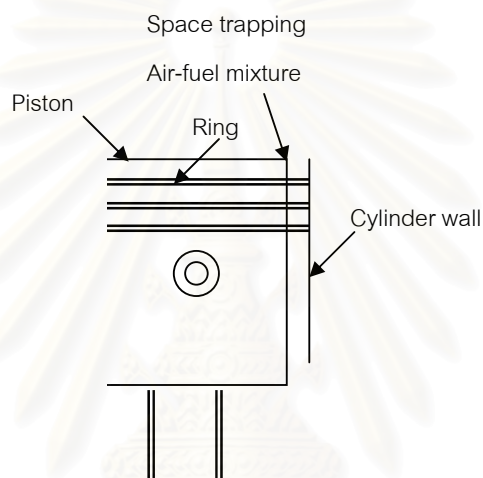
แก๊สไอเสีย (Exhaust gas) ที่เป็นพิษ มีผลมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์และเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตาม การเผาไหม้ในเครื่องยนต์อาจจะไม่สมบูรณ์ทั้งหมด บางส่วนที่ไม่เผาไหม้ทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) หลงเหลืออยู่ในแก๊สไอเสีย



รูปที่ 2.6 กลไกการทำงานของเครื่องยนต์ [25]

การเผาไหม้ในเครื่องยนต์มีผลมาจากองค์ประกอบหลายอย่าง ซึ่งแยกออกได้ดังนี้

1. ส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิง (Air-fuel mixture) ในช่องว่างระหว่างแหวนลูกสูบด้านบน (Top piston ring) ลูกสูบ (Piston) และผนังกระบอกสูบ (Cylinder wall) ที่ไม่เกิดการเผาไหม้และส่วนผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่อยู่ระหว่างฝาสูบ (Cylinder head) และหัวลูกสูบ (Piston head) ซึ่งไม่เกิดการเผาไหม้ ส่วนผสมที่ไม่ถูกเผาไหม้นี้ถูกกวาดออกไปในระหว่างจังหวะคายไอเสีย ทำให้เป็นการเพิ่มไฮโดรคาร์บอนให้กับแก๊สไอเสีย



รูปที่ 2.7 ช่องว่างด้านบนของแหวนลูกสูบระหว่างลูกสูบและผนังกระบอกสูบ [25]

2. คาร์บอนเกิดการจับตัวเป็นก้อนในห้องเผาไหม้ (Combustion chambers) ลักษณะคล้ายกับฟองน้ำ (Sponge) คาร์บอนจะดูดซับส่วนผสมอากาศกับน้ำมันในระหว่างการอัด และเผาไหม้ ดังนั้นในระหว่างการคายไอเสีย ความดันในห้องเผาไหม้ต่ำ ทำให้ส่วนผสมอากาศกับน้ำมันถูกปล่อยออกไป ทำให้เพิ่มไฮโดรคาร์บอนให้กับแก๊สไอเสีย

3. การเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้ช่วยให้การเผาไหม้ดีขึ้น และลดมลพิษจากแก๊สไฮโดรคาร์บอน อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิในการเผาไหม้สูงมากก็จะทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์มาก

2.8 คุณภาพน้ำมันกับปัญหามลภาวะทางอากาศ [26]

ความเจริญทางอุตสาหกรรมส่งผลให้เศรษฐกิจก้าวหน้า มีการใช้ยานยนต์ประเภทต่างๆ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งเพื่อความสะดวกในการเดินทางและการขนส่งสินค้า นอกจากนี้ประชาชนได้เข้ามาประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรม และการค้าในเมืองใหญ่ๆ เป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาความหนาแน่นของผู้คนและจำนวนพาหนะ พร้อมทั้งปัญหามลภาวะทางอากาศอันเนื่องมาจากการใช้พาหนะเหล่านี้ ซึ่งมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยสรุปมลพิษที่เกิดจากยานยนต์ประเภทต่างๆ ประกอบด้วย

1. ตะกั่ว ธาตุตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายในระดับที่เกินมาตรฐาน จะมีอันตรายอย่างมากต่อระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบย่อยอาหาร ระบบไต ระบบประสาท ทำให้มีอาการเหนื่อยหน่าย อ่อนเพลีย สมอองไม่เจริญเติบโต โดยเฉพาะในเด็กความสามารถในการเรียนรู้ลดลง อาจทำให้เกิดโรคความดันโลหิต และโรคอื่นๆ พิษของตะกั่วเป็นพิษสะสม จึงเป็นอันตรายแม้จะลดระดับสารพิษลง ตะกั่วมีอยู่ในแก๊สโซลีนในฐานะสารเพิ่มออกเทน เพื่อแก้ปัญหานี้จึงมีการห้ามการใช้สารตะกั่วในแก๊สโซลีนและสนับสนุนการใช้แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่ว

2. คาร์บอนมอนอกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปจับกับเม็ดเลือดแดง ทำให้เลือดไม่สามารถอุ้มออกซิเจนได้ ความรู้สึกตัวและความคิดเสื่อม ปฏิกริยาตอบสนองช้าลง ง่วงซึม หายใจไม่ออก หมดสติและอาจถึงตายได้ กับหญิงมีครรภ์ มีผลกระทบต่อเด็กในครรภ์ด้วย และเมื่อปนกับมลพิษตัวอื่นมีผลกระทบต่อระบบหายใจมากขึ้น

3. ไฮโดรคาร์บอน เกิดจากการระเหยของน้ำมันระหว่างการเติมและตอนใช้รถ นอกจากนั้นเกิดจากการเผาไหม้ไม่หมดออกมาทางท่อไอเสีย ไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จะทำให้รู้สึกมีอาการไม่สบายเช่น เคืองตา, ไอและจาม, ง่วงและมีการคล้ายเมา ไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง อาจทำให้เกิดมะเร็งหรือการเปลี่ยนแปลงของยีน ไฮโดรคาร์บอนบางอย่างทำให้เกิดโรคปอด

4. ฝุ่นละออง (particulates) จะเกิดจากเขม่าและควันที่ออกทางท่อไอเสีย เมื่อเครื่องยนต์เผาไหม้ไม่ดี และมักเกิดกับเครื่องดีเซลและเครื่องมอเตอร์ไซค์ชนิดสองจังหวะทำให้เยื่อต่างๆ ระคายเคือง ทำให้เกิดโรคทางเดินลมหายใจหลายโรค ฝุ่นละอองที่เป็นผงเม็ดเล็กๆ เข้าไปในระบบหายใจได้ลึก ทำให้เกิดมะเร็ง และเพิ่มความรุนแรงของโรคระบบหายใจ ทำให้ถึงตายได้ ฝุ่นละอองสามารถจับกับสารก่อมะเร็งอื่นๆ ที่มีอยู่ในไอเสียซึ่งเพิ่มอันตราย

5. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีสารกำมะถันปนอยู่เป็นสารระคายเคืองอย่างแรง ทำให้หายใจไม่ออก ฤกษ์ลมอักเสบและบวม เกิดอาการไอ และปอดทำหน้าที่ผิดปกติ นอกจากนั้นยังก่อให้เกิดภาวะฝนกรดเป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์

6. สารพิษต่างๆ เป็นสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่ออกทางท่อไอเสีย เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หรือการระเหยจากน้ำมัน สารพิษเหล่านี้ก่อให้เกิดมะเร็ง เกิดปัญหาของระบบสืบพันธุ์ และความพิการในเด็ก เบนซินเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งที่ทราบกันดี อัลดีไฮด์และคีโตน ทำให้เคืองตา มีผลต่อระบบหายใจและผิวหนัง และก่อให้เกิดมะเร็ง

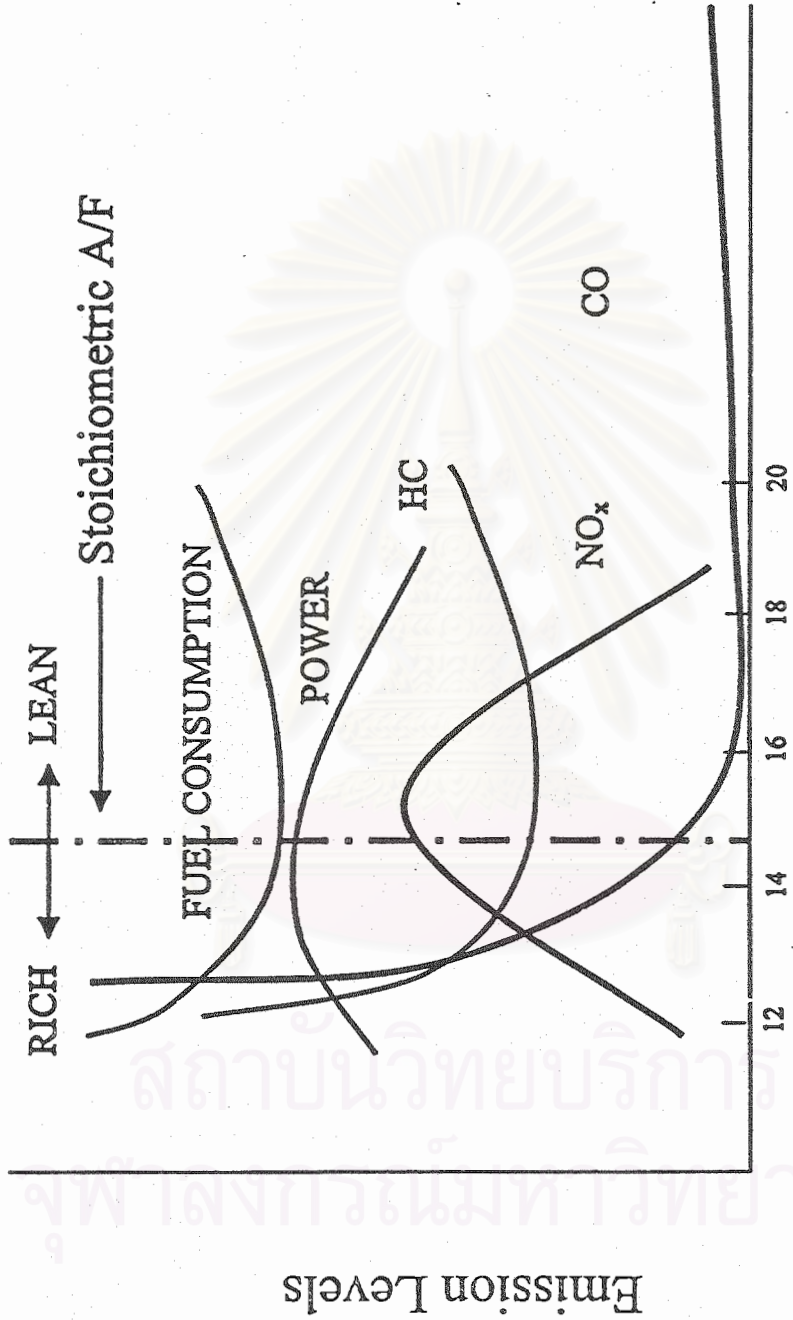
7. ออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นสารที่เกิดร่วมในการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ โดยเกิดมากที่สุดที่อุณหภูมิสูง เช่น ในเครื่องดีเซล และจะระคายเคืองปอด ทำให้เกิดการอักเสบบวม และเป็นนิวมอเนีย ทำให้รับไวรัสได้ง่ายและเป็นหวัด หายใจไม่ออก ผลกระทบรุนแรงมักเกิดร่วมกับมลพิษตัวอื่น

มีข้อมูลที่แสดงว่ามลพิษเหล่านี้ เมื่ออยู่ร่วมกันจะทำให้ผลกระทบที่รุนแรงมากกว่าที่จะเกิดขึ้นเมื่ออยู่ตัวเดียวโดดๆ มาก ข้อกำหนดมาตรฐานต่างๆ ที่ยอมรับได้จึงมีความยุ่งยาก และยังขาดข้อสรุปที่แจ่มชัด

สหรัฐอเมริกา เป็นประเทศแรกที่ติดตามปัญหาดังกล่าวอย่างจริงจัง เพราะประสบผลกระทบอย่างรุนแรง จึงจัดว่าเป็นผู้นำในการตั้งข้อกำหนดต่างๆ บังคับเอาแก๊สอุตสาหกรรมรถยนต์ และ อุตสาหกรรมน้ำมัน เพื่อให้สภาวะอากาศโดยทั่วไปในเมืองดีขึ้น มาตรฐานของรัฐคาลิฟอร์เนีย โดยเฉพาะสำหรับนครลอสแอนเจลิส เป็นมาตรฐานที่เข้มงวดที่สุด ประเทศอื่นคอยศึกษาแนวทางของสหรัฐอเมริกา และพยายามดำเนินการตาม

เครื่องยนต์แก๊สโซลีน สหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้มีการลดสารตะกั่วในแก๊สโซลีน ตั้งแต่ พ.ศ. 2513 และสนับสนุนให้มีการผลิตแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วออกใช้ ขณะเดียวกันได้ให้ผู้ผลิตรถยนต์ปรับปรุงเครื่องยนต์ของตนให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น และลดปริมาณมลพิษที่ออกจากท่อไอเสียลงตามลำดับ นอกจากนั้นการที่มีแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วออกใช้ ทำให้ผู้ผลิตรถยนต์สามารถติดตั้งเครื่องกรองไอเสีย (catalytic converter) ขจัดมลพิษจากไอเสียได้ในระดับหนึ่งโดยการใช้สารเร่งพิเศษ สารเร่งนี้จะเสื่อมสภาพเมื่อถูกไอตะกั่วจึงจำเป็นต้องใช้แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วสำหรับรถที่ติดเครื่องดังกล่าว

เมื่อวิเคราะห์ถึงปริมาณมลพิษที่จะเกิดขึ้นจากสภาวะการขับที่รถยนต์ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิงมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะเครื่องยนต์แก๊สโซลีน กล่าวคือ ถ้าปริมาณอากาศผสมกับเชื้อเพลิงมีสัดส่วนน้อยลงหรือ เรียกว่า rich mixture มลพิษประเภทคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ไนโตรเจนออกไซด์จะน้อยลง ทั้งนี้จะเห็นได้จากรูปที่ 2.8 และภาวะ rich mixture นี้มักจะเกิดตอนเร่งเครื่อง เมื่อต้องการพลังมาก ในบางครั้งเร่งเครื่องรุนแรงมาก ถึงขนาดเป็นควันดำออกทางท่อไอเสีย ดังนั้นการควบคุมอัตราส่วนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าต้องการลด CO และ hydrocarbon ในไอเสียลงเครื่องยนต์ที่ใช้คาร์บิวเรเตอร์ในการผสมอากาศกับไอน้ำมันทำหน้าที่นี้ไม่ดี จึงต้องมีการใช้ระบบหัวฉีดเข้าช่วยและควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อปรับให้ได้ค่าพอเหมาะสมยิ่งขึ้น ถึงกระนั้นก็ตาม ปริมาณ CO และ hydrocarbon ที่ออกมาก็ยังสูงเกินไป จำเป็นต้องใช้เครื่องแปรสภาพไอเสียหรือเครื่องกรองไอเสียเข้าช่วยอีกครั้งหนึ่งเพื่อ oxidize ให้ CO และ hydrocarbon เป็น CO_2 ในการนี้ต้องมี oxygen ในการนี้ต้องมี oxygen ในปริมาณที่พอเพียงกล่าวคือต้องเป็น lean mixture หรือต้องฉีดอากาศเข้าช่วย air-injection (AI) ตัวเร่งที่ใช้ในกรณีนี้เรียกว่า oxidation catalyst (OC) ซึ่งจะลด CO และ hydrocarbon แต่ไม่เปลี่ยนแปลงไนโตรเจนออกไซด์ ถ้าจำเป็นต้องลดปริมาณ nitrogen oxide ด้วย ต้องใช้ตัวเร่งอีกแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่า three way catalyst (TWC) ซึ่งจะทำงานได้ดีต้องมีปริมาณอากาศอยู่พอเหมาะที่ stoichiometric ratio เพื่อควบคุมให้ได้ สภาวะนี้ต้องมี O_2 sensor คอยวัดข้อมูลป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ เพื่อปรับปริมาณอากาศที่ฉีดเข้าให้พอเหมาะ ตามรูป 2.9 แสดงการทำงานของเครื่องแปรสภาพไอเสียสองชนิด ปัจจุบันใช้ระบบ three way catalytic converter กันแทบทั้งนั้น รูป 2.10 แสดงแผนภูมิของ emission control system ของไอเสีย ซึ่งแสดงให้เห็นว่านอกจากการควบคุมต่างๆ ให้ตัวเร่งทำงานได้ดีแล้ว ยังมีระบบ exhaust gas recirculation (EGR) เข้าร่วมด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแปรสภาพ catalyst จะทำงานไม่ดีขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงมีปัญหาในช่วงติดเครื่องใหม่ๆและทุกอย่างยังเย็นอยู่ จึงมีการพยายามทำให้ตัว catalyst และไอเสียร้อนขึ้นให้เร็วที่สุด ซึ่งปรากฏว่าการติดตั้ง electric heater สำหรับอุ่น catalyst ก่อนติดเครื่องได้ผลในการลดมลพิษได้ดีที่สุด ปัจจุบันยังมีการค้นคว้า catalyst ที่จะให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นและทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำ



Air/Fuel Ratio

รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษกับอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง

Engine-out Gas

HC
CO

HC
CO
NO_x

Tail-pipe Gas

CO₂
H₂O

CO₂
H₂O
N₂

Oxidation Catalyst



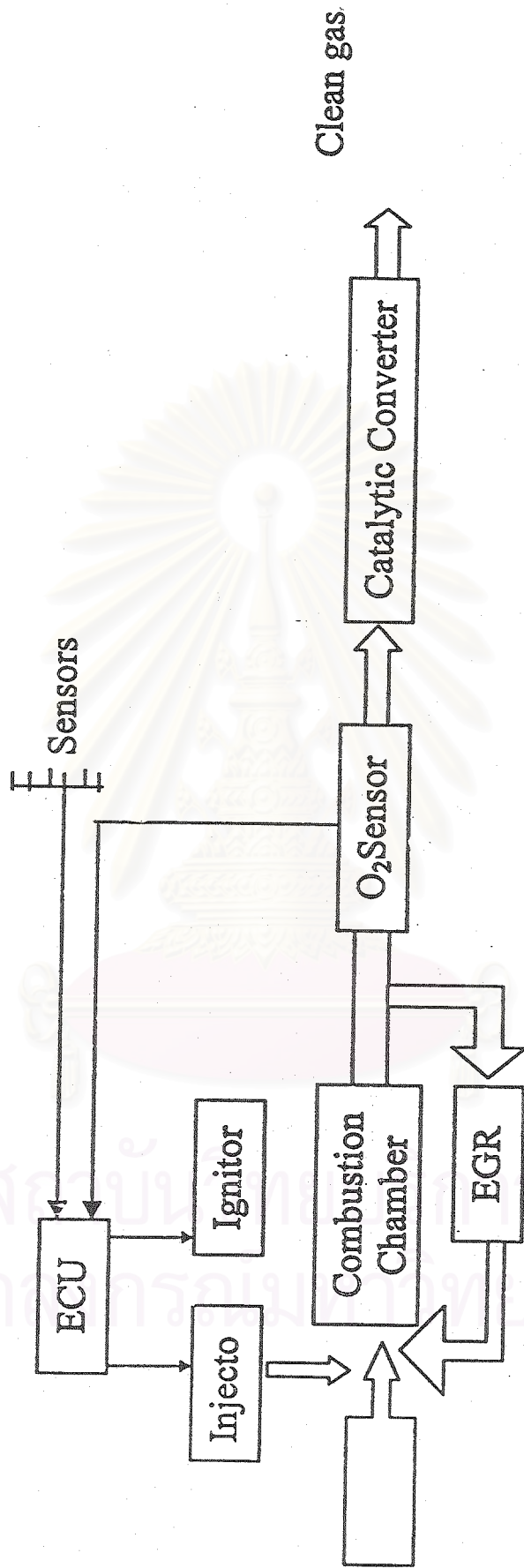
Lean A/F or Secondary

Three-way



Stoichiometric

รูปที่ 2.9 การทำงานของเครื่องแปรสภาพไอเสีย



รูปที่ 2.10 แผนภูมิของ Emission Control System ของไอเสีย

การกำหนดมาตรฐานของไอเสียจากรถหรือเครื่องยนต์ไม่ว่าจะเป็นเครื่องชนิดใดก็ตาม ต้องมีวิธีวัดและวิธีทดสอบที่เป็นมาตรฐานกำกับมาด้วย จุดประสงค์คือการวัดอัตราการปล่อยมลพิษต่างๆ คือ hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO), oxides of nitrogen (NO_x) และ particulates matter (PM) ในระหว่างการทดสอบปริมาณมลพิษก็จะคำนวณจากการวัดความเข้มข้นของสารเหล่านี้กับปริมาณของไอเสียที่เกิดขึ้น วิธีทดสอบประกอบด้วยการขับรถยนต์ที่สร้างพิเศษที่เรียกว่า chassis dynamometer ให้ได้สภาวะการขับตามกลไกมาตรฐานที่กำหนดขึ้นเพื่อให้ใกล้เคียงสภาพการขับรถในเมืองให้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีมาตรฐานต่างๆ กันไปแล้วแต่ใช้ในประเทศใด

การใช้ catalytic converter สามารถลดมลพิษในไอเสียได้มาก กล่าวคือปริมาณ CO และ VOC (volatile organic compound) ซึ่งเกิดจากแก๊สโซลีนเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ลดลงได้กว่า 90% และถ้าใช้ three-way catalytic converter แล้วจะลด NO_x ได้ 60-70% โดย catalytic converter จะเสื่อมสภาพอย่างมากเมื่อกระทบกับตะกั่ว แก๊สโซลีนที่ใช้จึงต้องเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่ว นอกจากนี้การทำงานของ catalytic converter มีประสิทธิภาพดี แก๊สโซลีนที่ใช้ต้องไม่มีโลหะใดๆ เลย ไม่มีธาตุฟอสฟอรัส และมีปริมาณกำมะถันในระดับต่ำมาก การลดมลพิษที่เกิดจากไอเสียรถยนต์จึงต้องมีการปรับปรุงเครื่องยนต์และอุปกรณ์ต่างๆ ควบคู่กันไปกับการปรับปรุงคุณภาพของแก๊สโซลีน

ในระยะ 20 ปี ที่ผ่านมามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากทั้งในเรื่องคุณภาพและองค์ประกอบส่วนผสมของแก๊สโซลีน โดยมีจุดประสงค์หลักที่จะลดมลพิษจากไอเสียและรักษาคุณภาพของอากาศ การนี้ได้มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของโรงกลั่นซึ่งต้องปรับปรุงตาม ในสหรัฐอเมริกาเรียก แก๊สโซลีนใหม่นี้ว่า reformulated gasoline หรือแก๊สโซลีนสูตรใหม่ ประกอบด้วย

- การเติมสารออกซิเจน เพื่อลด CO ในไอเสีย
- การลดปริมาณสารแอมโมเนียในแก๊สโซลีน เพื่อลดผลกระทบต่อบรรยากาศ*
- การลดปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนในแก๊สโซลีน เพื่อลดผลกระทบต่อบรรยากาศ*
- การลดปริมาณส่วนผสมที่มีจุดเดือดสูงลงเพื่อลดผลกระทบต่อบรรยากาศ*
- การลดค่า RVP ของแก๊สโซลีนลง เพื่อลดปริมาณ VOC ในบรรยากาศ
- การลดปริมาณกำมะถัน เพื่อให้เครื่องกรองไอเสียทำงานได้ดีขึ้น
- การลดปริมาณสารเบนซินในน้ำมัน เพราะเป็นสารก่อมะเร็ง

สหภาพยุโรปก็มีการเคลื่อนไหวในแนวทางนี้เช่นกันแต่ช้ากว่าในสหรัฐอเมริกา ทั้งนี้เพราะสภาวะอากาศและสภาพเศรษฐกิจไม่เหมือนกัน โดย EU มีนโยบายจะลดข้อกำหนดปริมาณไอเสียของรถ-

ยนต์ลดลงเป็น 2 ขั้นตอน เริ่มในปี ค.ศ. 2000 และเข้มงวดขึ้นอีกในปี 2005 คุณภาพแก๊สโซลีนก็จะปรับปรุงขึ้นเช่นกัน ตาราง 2.6 เปรียบเทียบข้อกำหนดที่สำคัญของสหรัฐ กับของ EU

* มีส่วนทำให้เกิด visual pollutant, smog และ airborne toxics

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานไอเสียและคุณสมบัติแก๊สโซลีน สหรัฐและสหภาพยุโรป

	สหรัฐ 1996	สหภาพยุโรป		
		1996	2000	2005
มาตรฐานไอเสียรถยนต์ ใช้เบนซิน				
CO, g/km	2.13	-	2.30	1.00
HC, g/km	0.16	-	0.20	0.10
NO _x , g/km	0.25	-	0.15	0.08
ข้อกำหนดมาตรฐาน เบนซินเพิ่มเติม				
RVP, psi (kpa)	7 (48)	10.1 (70)	8.7(60)	-
S, ppm wt	40	500	150	50
Benzene, %vol.	1.0	5	1	-
Aromatic, %vol.	25	-	42	-
Olefins, %vol.	6.0	-	18	-

ประเทศไทยก็มีการพัฒนาข้อกำหนดมาตรฐานแก๊สโซลีน เพื่อลดมลภาวะในสิ่งแวดล้อมตามแนวของประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นลำดับโดยพอสรุปได้ดังนี้

1 มกราคม 2536 –เพิ่มค่าออกเทน (RON) ของแก๊สโซลีนธรรมดาจาก 83 เป็น 87

- กำหนดค่าออกเทนแบบ MON ควบคู่กับ RON
- ปรับปรุงกฎหมายการกลั่นให้แก๊สโซลีนเบาขึ้น
- ลดปริมาณสารตะกั่วจากไม่สูงกว่า 0.40 กรัมต่อลิตร เป็นไม่สูงกว่า 0.15 กรัม/ลิตร
- ลดปริมาณ Benzene จากไม่สูงกว่า 5.0 %vol. เป็นไม่สูงกว่า 3.5 %vol.
- เริ่มกำหนดให้มีการใช้สารออกซิเจนเตและสารเติมแต่งในแก๊สโซลีนพิเศษ

- 1 มกราคม 2537 - เริ่มจำกัดปริมาณสารแอรอแมติกไม่สูงกว่า 50 %vol.
- 1 สิงหาคม 2537 - เริ่มบังคับให้เติมสารเติมแต่งในแก๊สโซลีนธรรมดา และเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วทั้งหมด
- 1 มกราคม 2543 - ลดปริมาณสารแอรอแมติกให้มีค่าไม่สูงกว่า 35 %vol.

การจำกัดปริมาณสารเบนซิน สารแอรอแมติก และสารโอเลฟินส์ ทำให้โรงกลั่นมีปัญหาอย่างมาก เพราะสารเหล่านี้มีค่าออกเทนสูง โรงกลั่นจึงต้องหาสารอื่นมาทดแทนและเป็นปัญหาต่อการผสมน้ำมันให้ได้ปริมาณและคุณภาพตามต้องการ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี พ.ศ. 2464 พบว่าสารประกอบเลด อัลคิล (lead alkyls) มีประสิทธิภาพด้านทานการน็อคสูงสุดและเตตระเอทิลเลด (Tetraethyl Lead, TEL) มีประสิทธิภาพดังกล่าวมากที่สุด [27,28]

ในปี พ.ศ. 2503 ถึงต้นปี 2513 ได้มีความสนใจเกี่ยวกับมลภาวะเป็นพิษ เนื่องจากสารตะกั่วที่ออกจากท่อไอเสียรถยนต์ เป็นเหตุให้ทั่วโลกได้ออกกฎหมายลดปริมาณสารตะกั่วในแก๊สโซลีน ซึ่งเป็นผลให้ค่าออกเทนของแก๊สโซลีนต่ำเกินไป ไม่เพียงพอในการนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ จึงต้องหาวิธีการหรือค้นหาสารอื่น เพื่อช่วยเพิ่มค่าออกเทนแทนการใช้สารตะกั่ว เช่น สาร MMT (methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl) [29, 30] และ iron pentacarbonyl ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่า ทำให้วาล์วและอุปกรณ์ของเครื่องยนต์สึกเร็วขึ้น เนื่องจากหลังการเผาไหม้จะเกิดโลหะออกไซด์ (iron oxide) ความพยายามค้นหาสารทดแทนสารตะกั่วหรือสารเพิ่มค่าออกเทนอื่นๆ คงดำเนินต่อไป สารที่กำลังเป็นจุดสนใจขณะนี้ คือ สารออกซิเจนเตต (oxygenates) ตัวอย่างเช่น แอลกอฮอล์ (alcohols) และ อีเทอร์ (ether) ซึ่งสามารถรวมตัวกับน้ำมันได้ มีสมบัติด้านทานการน็อคและมีการยืนยันว่าสามารถลดมลภาวะได้ สารออกซิเจนเตตเป็นองค์ประกอบใช้เติมในแก๊สโซลีน เพื่อเพิ่มค่าออกเทน ได้แก่ เมทานอล (MeOH) , เอทานอล (EtOH) และ เมทิล เทอเชียรี บิวทิล อีเทอร์ (MTBE) [31-35] MTBE ใช้กันกว้างขวางในปัจจุบัน โดยต้องเติมในสัดส่วนที่สูงคือ 10-20 % โดยปริมาตรของแก๊สโซลีน จึงจะได้ค่าออกเทนตามที่ต้องการ ซึ่งมีราคาแพง ส่วนเมทานอลเป็นสารออกซิเจนเตตที่น่าสนใจในแง่การลงทุน แต่มีปัญหาในเรื่องการแยกตัวเมื่อความชื้นสูง แก้ไขโดยใช้แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากขึ้น ได้แก่ เทอเชียรี บิวทานอล (TBA), เซคันดารี บิวทานอล

(SBA) หรือไอโซโพรพานอล (IPA) นำมาผสมกับเมทานอล โดยรวมมีราคาถูกกว่า MTBE และเป็นสารประกอบที่ไม่อันตราย กล่าวคือสามารถนำมาแทนสารตะกั่วในแก๊สโซลีนได้ [29,37]

ในปี พ.ศ. 2521 R.E. Baker, J.H. Bandino; W.J. Koehl และ W.T. Wotring [11] ได้ทำการผสมเมทานอล 20%กับแก๊สโซลีน และนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ 1 สูบที่ไม่ได้ปรับแต่ง พบว่าปริมาณ HC ไม่เปลี่ยนแปลง CO ลดลง NO_x ลดลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณ Aldehyde เพิ่มขึ้น

ในปี พ.ศ. 2527 โกวิท ศตวุฒิ และอิทธิพล ปานงาม [34] ได้ทำการทดลองผสม iso-propyl และ iso-butyl alcohol กับแก๊สโซลีนชนิดธรรมดา octane rating 85 พบว่าทุกส่วนผสมรวมตัวได้เป็นอย่างดี ไม่แยกตัว เมื่อทิ้งไว้ในหลอดทดลองเป็นเวลา 8 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง จากการทดสอบพบว่าค่า octane rating ในอัตรา 3 octane rating units ต่อทุก 10%โดยปริมาตรของ propanol ที่ผสมและ 2.5 octane rating units ต่อทุก 10% โดยปริมาตรของ butanol ที่ผสม แต่จะให้ค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อส่วนผสมเพิ่มกว่า 50%เมื่อนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ขนาด 1,000 cc. 4 สูบ ปรากฏว่าที่อัตราส่วนผสม propanol 15%หรือ butanol 15% เครื่องยนต์ให้กำลังสูงขึ้นเล็กน้อย อัตราการสึกหรอของเครื่องยนต์มีค่าต่ำสุด และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อ Kw-hr ลดลง

ในปี พ.ศ. 2535 ผ่องพรรณ บัวทองธนะการ [35] สังเคราะห์สารประกอบเทอร์อะแอลคิลทิน โดยใช้กรีนยารีเอเจนต์ ให้ผลผลิตสูงและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์ แล้วทำการศึกษาหาค่าออกเทนของแก๊สโซลีนที่ผสมสารประกอบเทอร์อะแอลคิลทินและแอลกอฮอล์ พบว่าสารประกอบเทอร์อะแอลคิลทำให้ค่าออกเทนของแก๊สโซลีนมีค่าสูงขึ้น 1.2 – 1.9 หน่วย เมื่อเติมดิบูกในปริมาณ 1 – 2 กรัมต่อลิตร ส่วนแอลกอฮอล์ทำให้ค่าออกเทนของแก๊สโซลีนสูงขึ้น 2 – 4 หน่วย เมื่อเติมแอลกอฮอล์ 5% - 10% เมื่อผสมสารประกอบเทอร์อะแอลคิลทินและแอลกอฮอล์กับแก๊สโซลีน จะทำให้ค่าออกเทนสูงขึ้น 2 – 5 หน่วย

ในปี พ.ศ. 2539 สมยศ บรรณการบวร [24] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชันของแก๊สธรรมชาติเหลว โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประเภท 2 หน้าที คือ แพลตินัม-ฟลูออไรด์บนอะลูมินา ทำการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบที่มีอยู่ในแก๊สธรรมชาติเหลว ซึ่งการศึกษากะทำได้โดยการแปรค่าอุณหภูมิในช่วง 370-450 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันของแก๊สไฮโดรเจนในช่วง 40 ถึง 80 ปอนด์ต่อลูกบาศก์นิ้ว และได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ ของแพลตินัมและฟลูออไรด์ ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่อง GC Chromatogram

ในปี พ.ศ. 2540 Arandes J. M., Abajo I. และคณะ [36] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการแตกโมเลกุลของพลาสติกเสียชนิดต่างๆ ใน Light cycle oil (LCO) ให้ผลที่แตกต่างกันออกไป

ในปี พ.ศ. 2540 Aguado J., Sotelo J.L., Serrano D.P., Calles J.A. และ Escola J.M.[37] ศึกษาการเปลี่ยนพลาสติกของ Polyolefins ไปเป็นน้ำมันบนตัวเร่งปฏิกิริยา MCM-41 เปรียบเทียบกับ HZSM-5 และ $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ พบว่า MCM-41 มีความว่องไวและพื้นที่ผิวสูงกว่า $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ แต่น้อยกว่า HZSM-5 MCM-41 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีศักยภาพที่สูงในการศึกษาการเปลี่ยน Polyolefins เป็นน้ำมัน

ในปี พ.ศ. 2540 กานต์ วัชรกิติพงศ์ [38] ศึกษาผลกระทบของการใช้สารช่วยกระจายตัวต่อสารพอลิไซคลิกแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนในไอเสียจากเครื่องยนต์แก๊สโซลีน โดยใช้ Microfibre filters และ Polyurethane foam เป็นตัวดักจับ ที่ความเร็ว 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 รอบต่อนาที แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography-Mass Spectrometer พบว่าที่ความเร็วน้อยกว่า 1,500 รอบต่อนาที จะทำให้พอลิไซคลิกแอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนกระจายตัวลดลง

ในปี พ.ศ. 2541 Uemichi Y., Hattori M.; Nakamura J.; Itoh T. และ Sugioka M.[39] ได้ศึกษาปฏิกิริยาเคมีของเม็ดพลาสติกที่ใช้แล้ว บนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด HZSM-5, HY, H-mordenite และ silica-alumina พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด HZSM-5 แสดงความว่องไว (activity) ที่ดีมากในปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำให้คุณภาพของน้ำมันมีค่า octane number ที่สูงมากกว่า 100

ในปี พ.ศ. 2542 Uemichi Y., Nakamura J., Itoh T. และ Sugioka M. [40] ศึกษาการเปลี่ยนเม็ดพลาสติกที่ใช้แล้วของพอลิเอทิลีนไปเป็นแก๊สโซลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิด HZSM-5 และ silica-alumina ในระบบอนุกรมแบบ 2 ขั้นตอน พบว่าได้แก๊สโซลีนที่มีค่าออกเทนที่สูง ซึ่งเป็นวิธีการพัฒนาคุณภาพของแก๊สโซลีนให้สูงขึ้น

ในปี พ.ศ. 2543 ธีรเวช ทิตยสีแสง [41] ได้ทำการตรวจวัดหาสารมลพิษ เบนซิน ทอลูอิน และไซลีน ในไอเสีย จากรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีน ทั้งกลุ่มรถยนต์ที่มีการติดตั้ง และไม่ได้ติดตั้งแคตตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ ในสภาพรอบเครื่องเดินเบา ตัวอย่างไอเสียจะถูกเก็บโดยใช้ถุงชนิดเท็ดลาร์ ในกล่องสุญญากาศ พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของเบนซิน ทอลูอิน และไซลีน จะให้ค่าสูงที่สุดในกลุ่มของรถเก่าที่ไม่มีการติดตั้งแคตตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ ในขณะที่รถใหม่ที่มีการติดตั้งแคตตาไลติกคอนเวอร์เตอร์ จะให้ค่าของสารเหล่านี้ต่ำที่สุด นอกจากนี้อายุของรถยนต์มีผลต่อปริมาณสารมลพิษที่ปล่อยออกมาในไอเสีย

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องวัด vapor pressure ยี่ห้อ Herzog Reid Semi Automat
2. เครื่อง Gas Chromatography วิเคราะห์ PIONA ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD 5890 SERIES II
3. เครื่อง Gas Chromatography วิเคราะห์ Oxygenated Compounds ยี่ห้อ HEWLETT PACKARD 5890 SERIES II
4. เครื่องกลั่นน้ำมันอัตโนมัติ รุ่น AD 86 5G
5. อุปกรณ์วัดค่าออกเทนเคลื่อนที่ (Portable Octane Number Analyzer) รุ่น GS-1000 PLUS ยี่ห้อ PETROSPEC เป็นอุปกรณ์ที่ผู้จำหน่ายได้ทำการทดสอบตัวอย่างและบันทึกข้อมูลที่ได้จากเครื่อง knock engine รุ่น Cooperative Fuel Reserch unit (CFR)
6. อุปกรณ์วัดสารที่ออกจากท่อไอเสียเคลื่อนที่ (Portable Exhaust Gas Analyzer)
7. เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectroscopy วัดปริมาณกำมะถัน
8. เครื่องยนต์แก๊สโซลีนตั้งต่อกับแคร่ รายละเอียดในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

รายการ	รายละเอียด
ยี่ห้อ	Toyota Corolla (5K) 1982
จำนวนสูบ	4
จังหวะการทำงาน	4
ระบบเชื้อเพลิง	Carburator
ความจุ ลบ.ชม.	1,500
อัตราส่วนการอัด	8 : 1
ความเร็วรอบสูงสุด	5000 รอบต่อนาที
การระบายความร้อน	น้ำ

3.2 สารเคมี

1. แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล
จากบริษัท ปตท. จำกัด(มหาชน) ตำบลบ่อया อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
2. ทอลูอิน
จากบริษัท เอเซียโซเวนท์ จำกัด บริษัท ระยองโอเลฟินส์ จำกัด และบริษัท ไทยพาราฟิน จำกัด อำเภอมาบตาพุด จังหวัดระยอง
3. เอทานอล
จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย เขตจตุจักร กรุงเทพฯ
4. แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วออกเทน 95
จากโรงกลั่น บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด(มหาชน)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารผสม เพื่อใช้ในการทดลอง แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล โดยใช้แก๊สธรรมชาติเหลว 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30 ร้อยละโดยปริมาตร การเลือกอัตราส่วนดังกล่าว เนื่องจากปริมาณทอลูอินมาก จะให้ค่าอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ 10 (10% Evaporation) สูงกว่าข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ และถ้าใช้แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมากกว่าร้อยละ 70 โดยปริมาตร จะให้ค่าออกเทนต่ำ โดยเทียบกับข้อกำหนดคุณภาพแก๊สโซลีนตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541)
2. เอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล โดยใช้เอทานอล 25, 30, 35, 40, 45 ร้อยละโดยปริมาตร อัตราส่วนที่ใช้ได้จากการคำนวณ
3. เอทานอลผสมทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

3.3.2 ตรวจสอบคุณสมบัติสารผสม ตามข้อกำหนดคุณภาพแก๊สโซลีนของกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541) ดังนี้

1. ค่าออกเทน

1.1 Research Octane Number (RON) ตามมาตรฐาน ASTM D 2699

1.2 Motor Octane Number (MON) ตามมาตรฐาน ASTM D 2700

2. การกลั่น ตามมาตรฐาน ASTM D 86
3. ความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 °C ตามมาตรฐาน ASTM D 323
4. สารแอมโมเนียและสารเบนซีน ตามมาตรฐาน ASTM D 6293
5. สารออกซิเจน ตามมาตรฐาน ASTM D 4851 เมื่อเติมเอทานอล
6. กำมะถัน ตามมาตรฐาน ASTM D 4294

3.3.3 ทดสอบสารผสมกับเครื่องยนต์ ในการทดสอบนี้ใช้แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิด ออกเทน 95 (ULG 95) เป็นสารอ้างอิง นำสารผสมที่มีค่าออกเทนประมาณ 91 ถึง 95 มาทดสอบที่ ความเร็ว 1,000 2,000 2,500 3,000 รอบต่อนาที ในแต่ละสารผสม ก่อนทำการทดสอบใช้ ULG 95 ชุณเครื่องเป็นเวลา 45 นาที แล้วจึงเริ่มวัดสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารไฮโดรคาร์บอน (HC) และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่ออกจากท่อไอเสียด้วยเครื่อง Exhaust Gas Analyzer

3.3.4 ทดสอบความคงสภาพ (Stability) นำสารผสมที่ได้ใส่ขวดปิดฝา ปล้อยไว้ที่ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน สังเกตการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล ซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องค่าออกเทนที่ต่ำ จึงต้องใช้ทอลูอิน เมทานอล เป็นสารเพิ่มค่าออกเทน เพื่อให้มีคุณภาพเป็นไปตามข้อกำหนดคุณภาพของแก๊สโซลีนตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541) ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการทดสอบคุณสมบัติของสารผสม ผลการตรวจวัดปริมาณสารที่ออกจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์ และความคงสภาพของสารผสม

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของสารผสม

ในการทดสอบนี้มีสารผสมอยู่ 3 ชนิด คือ

1. ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล
2. เมทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล
3. เมทานอลผสมทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล มีรายละเอียด ดังนี้

1. ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

1.1 ผลการตรวจวัดค่าออกเทน (Octane number)

แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมีค่าออกเทน RON=79.6 และ MON=78.7 ส่วนค่าออกเทนของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมทอลูอินในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าค่าออกเทนเพิ่มขึ้นตามปริมาณทอลูอินที่เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้นในอัตราประมาณ 3.0 หน่วยต่อทอลูอินร้อยละ 10 โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

กระทรวงพาณิชย์แบ่งคุณภาพแก๊สโซลีนตามค่าออกเทน ออกเป็น 3 ชนิด คือ แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วออกเทน 87 แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วออกเทน 91 และแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วออกเทน 95 ตัวเลขที่แสดงเป็น Research Octane Number (RON) ส่วน Motor Octane Number (MON) กำหนดว่าต้องไม่ต่ำกว่า 76, 80 และ 84 ตามลำดับ ดังนั้น แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร ให้ค่าออกเทนเป็นไปตามข้อกำหนดแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน

87 ส่วนแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมทอลูอินไม่น้อยกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร ให้ค่า ออกเทนเป็นไปตามข้อกำหนด 87 ส่วนแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 91 และแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมทอลูอินไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 โดยปริมาตร ให้มีค่าออกเทนเป็นไปตามข้อกำหนด 87 ส่วนแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 95

ตารางที่ 4.1 ค่าออกเทน ของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

อัตราส่วนผสม	RON	MON
NGL	79.6	78.7
Toluene	109.5	100.7
NGL + 30% Toluene	89.3	82.8
NGL + 35% Toluene	90.9	83.7
NGL + 40% Toluene	92.5	84.6
NGL + 45% Toluene	93.6	85.4
NGL + 50% Toluene	95.7	86.8
NGL + 55% Toluene	97.0	88.1
NGL + 60% Toluene	98.3	89.1
NGL + 65% Toluene	99.1	90.4
NGL + 70% Toluene	100.7	94.1

1.2 ผลการทดสอบการระเหย (Volatility)

ผลการทดสอบสมบัติการระเหยของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมทอลูอินในอัตราส่วนต่างๆ ได้ค่าการกลั่น (Distillation) และความดันไอ (Reid Vapour Pressure; RVP) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ค่าการกลั่นของแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมทอลูอิน ในตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณทอลูอินที่เพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรสูงขึ้น

กระทรวงพาณิชย์กำหนดอุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรร้อยละ 10 (10%Evaporation) ให้ไม่เกิน 70 °C ดังนั้นจึงสามารถผสมทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลได้สูงสุดร้อยละ 70 โดยปริมาตร

จากการวิเคราะห์ความดันไอของผสมแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลกับทอลูอิน พบว่าความดันไอแปรผันตามปริมาณแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลในของผสมนั้นคือปริมาณแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเพิ่มขึ้น มีผลให้ความดันไอสูงขึ้น ถ้าความดันไอสูงมาก ทำให้เนื่อน้ำมันเข้าสู่คาร์บิวเรเตอร์ไม่ได้ทำให้เครื่องยนต์สะดุดดับลง (vapor lock) ดังนั้นความดันไอจึงไม่ควรสูงมาก

กระทรวงพาณิชย์กำหนดค่าความดันไอของ 87 ส่วนแก๊สโซลีนทุกชนิดให้ไม่เกิน 9.0 psi ดังนั้นจึงมากผสมแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลในทอลูอินได้สูงสุดร้อยละ 70 โดยปริมาตร ตามผลในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าการกลั่นของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

อัตราส่วนสารผสม	อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ										
	IBP	10	20	30	40	50	60	70	80	90	FBP
Spec. gasoline of MOC	-	< 70	-	-	-	70-110	-	-	-	<170	<200
NGL	33	41	42	43	45	47	50	55	63	78	106
Toluene	107	109	109	109	109	109	109	109	109	109	119
NGL +30% Toluene	37	51	54	58	64	72	85	97	105	108	116
NGL + 35% Toluene	38	52	57	61	68	78	93	102	107	109	116
NGL + 40% Toluene	38	54	59	65	73	85	97	104	107	109	116
NGL + 45% Toluene	39	56	62	68	78	90	101	105	108	109	116
NGL + 50% Toluene	40	59	66	74	86	97	104	107	108	109	116
NGL + 55% Toluene	40	62	69	78	90	101	105	107	108	109	116
NGL + 60% Toluene	41	65	73	83	95	103	106	108	109	109	115
NGL + 65% Toluene	42	67	78	91	101	106	108	108	109	109	116
NGL + 70% Toluene	44	72	83	96	104	107	108	109	109	109	116

ตารางที่ 4.3 ความดันไอของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

อัตราส่วนผสม	RVP, psi
Spec. gasoline of MOC	Max 9.0
NGL	12.6
Toluene	1.25
NGL + 30% Toluene	8.8
NGL + 35% Toluene	8.4
NGL + 40% Toluene	8.0
NGL + 45% Toluene	7.7
NGL + 50% Toluene	7.2
NGL + 55% Toluene	6.9
NGL + 60% Toluene	6.4
NGL + 65% Toluene	5.8
NGL + 70% Toluene	5.2

1.3 ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารแโรแมติกและสารเบนซิน

แก๊สธรรมชาติเอ็นจีแอลมีปริมาณสารแโรแมติกร้อยละ 5.07 โดยปริมาตร และสารเบนซินร้อยละ 3.58 โดยปริมาตร ส่วนทอลูอินมีปริมาณสารแโรแมติกร้อยละ 98.00 โดยปริมาตรและสารเบนซินร้อยละ 1.33 โดยปริมาตร จะเห็นว่าปริมาณทอลูอินที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าแโรแมติกเพิ่มขึ้น อย่างมาก ดังตารางที่ 4.4

กระทรวงพาณิชย์กำหนดให้ปริมาณสารเบนซินได้ไม่เกินร้อยละ 3.5 โดยปริมาตร และสารแโรแมติกได้ไม่เกินร้อยละ 35 โดยปริมาตร นั่นคือปริมาณสารเบนซินในทุกอัตราส่วนผสมอยู่ในข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ คือมีปริมาณสารเบนซินไม่เกินร้อยละ 3.5 โดยปริมาตร แต่ปริมาณสารแโรแมติกอยู่ในข้อกำหนดเมื่อมีปริมาณทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตรเท่านั้น

ตารางที่ 4.4 ปริมาณสารแอโรแมติกและสารเบนซินร้อยละโดยปริมาตร

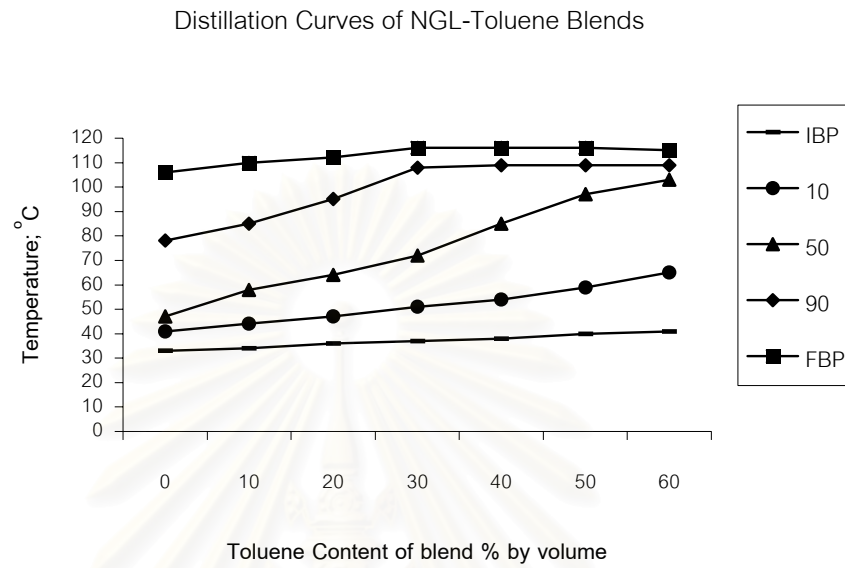
อัตราส่วนผสม	Benzene, %vol.	Aromatic, %vol.
NGL	3.58	5.07
Toluene	1.33	98.00
NGL + 30% Toluene	3.16	34.52
NGL + 35% Toluene	2.95	39.91
NGL + 40% Toluene	2.13	48.24
NGL + 45% Toluene	1.82	52.38
NGL + 50% Toluene	1.79	54.53
NGL + 55% Toluene	1.61	57.28
NGL + 60% Toluene	1.43	62.03
NGL + 65% Toluene	1.25	66.77
NGL + 70% Toluene	1.07	71.52

1.4 ผลการตรวจวัดปริมาณกำมะถันในสารผสม

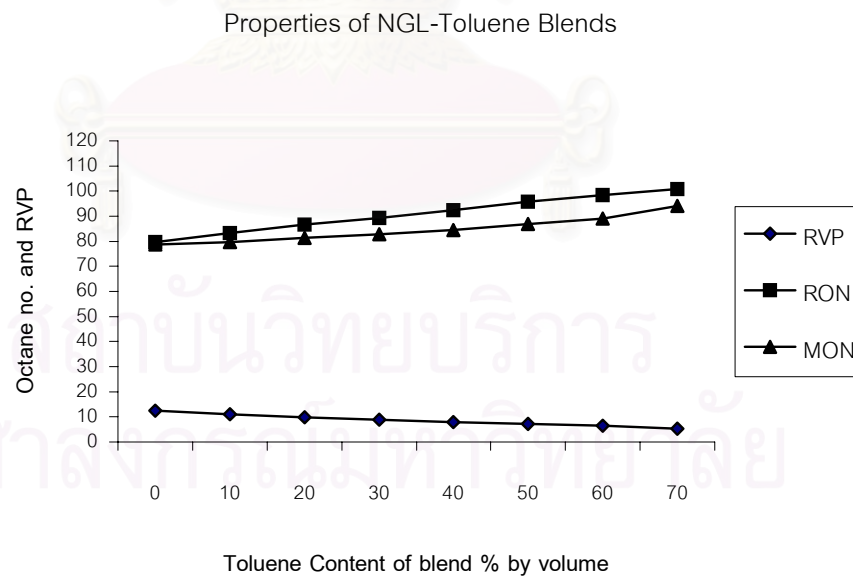
จากการตรวจวัดปริมาณกำมะถันในของผสมทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล พบว่ามีค่าต่ำกว่าประกาศกระทรวงพาณิชย์ ซึ่งกำหนดให้ 87 ส่วนแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วทุกชนิดมีปริมาณกำมะถันได้ไม่เกินร้อยละ 0.10 โดยน้ำหนัก แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมีปริมาณธาตุกำมะถันร้อยละ 0.012 โดยน้ำหนัก ส่วนทอลูอินตรวจวัดไม่พบธาตุกำมะถัน ดังนั้นทุกอัตราส่วนผสมอยู่ในข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์

เมื่อนำคุณสมบัติของส่วนที่กลั่นได้ ค่าออกเทน (RON และ MON) และความดันไอ มาวาดกราฟได้ผลดังนี้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าส่วนที่กลั่นได้ในอัตราส่วนร้อยละ 10 และ 50 โดยปริมาตร มีความชันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณทอลูอินเพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีที่กลั่นได้ในอัตราร้อยละ 90 โดยปริมาตร ช่วงเริ่มต้นความชันเพิ่มตามปริมาณทอลูอินที่เพิ่มขึ้น แต่จะคงที่เมื่อปริมาณทอลูอินมาก



รูปที่ 4.1 การระเหยของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลที่อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.2 ออกเทนัมเบอร์และความดันไอของทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลที่อัตราส่วนต่างๆ

กว่าร้อยละ 30 โดยปริมาตร อุณหภูมิที่ใช้ในส่วนกลั่นโดยปริมาตรที่อัตราส่วนเริ่มต้น และอัตราส่วนสุดท้ายไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก เมื่อปริมาณทอลูอินเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่า RON เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงกว่า MON ทำให้ช่องว่างระหว่าง RON และ MON ห่างกันมากขึ้น เมื่อปริมาณทอลูอินมากขึ้น ส่วนความดันไอนี้มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณทอลูอินเพิ่มขึ้น

2. เอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

2.1 ผลการทดสอบค่าออกเทน

การทดสอบค่าออกเทนของสารผสมเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลด้วยเครื่อง Portable Octane Number Analyzer ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมีค่าออกเทนเพิ่มขึ้นตามปริมาตรของเอทานอลที่เปลี่ยนไป โดยเพิ่มขึ้นในประมาณ 3.5 หน่วยต่อเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการแบ่งคุณภาพแก๊สโซลีนตามค่าออกเทนของกระทรวงพาณิชย์ คือ แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 91 และแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 95 ตัวเลขที่แสดงเป็น Research Octane Number (RON) ส่วน Motor Octane Number (MON) กำหนดว่าต้องไม่ต่ำกว่า 76, 80 และ 84 ตามลำดับ

แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอลร้อยละ 25 โดยปริมาตร ให้ค่าออกเทนเป็นไปตามข้อกำหนดแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 ส่วนแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอลไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยปริมาตร ให้ค่าออกเทนตามข้อกำหนดแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 91 และแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอลไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 โดยปริมาตร ให้ค่าออกเทนตามข้อกำหนดแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 95

ตารางที่ 4.5 ค่าออกเทน ของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

อัตราส่วนผสม	RON	MON
NGL	79.6	78.7
EtOH	111.6	95.2
NGL + 25% EtOH	89.3	82.8
NGL + 30% EtOH	92.0	83.6
NGL + 35% EtOH	93.8	84.4
NGL + 40% EtOH	95.4	85.2
NGL + 45% EtOH	96.9	85.9

2.2 ผลการทดสอบการระเหย (Volatility)

จากค่าการกลั่น (Distillation) ในตารางที่ 4.6 และความดันไอ (Reid Vapour Pressure; RVP) ในตาราง 4.7 พบว่าปริมาณเอทานอลมีผลต่ออุณหภูมิของส่วนกลั่นโดยปริมาตรน้อยมาก แต่ปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น มีผลให้ความดันไอลดลง ซึ่งกระทรวงพาณิชย์กำหนดให้คุณภาพแก๊สโซลีนทุกชนิดมีความดันไอได้ไม่เกิน 9 psi ดังนั้นในสารผสมที่มีปริมาณแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมได้สูงสุดร้อยละ 65 โดยปริมาตร และมีปริมาณเอทานอลอย่างน้อยร้อยละ 35 โดยปริมาตร จึงจะให้ค่าความดันไออยู่ในข้อกำหนดตามประกาศกระทรวงพาณิชย์

ตารางที่ 4.6 ค่าการกลั่นของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

อัตราส่วนสารผสม	คุณสมบัติของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตราร้อยละ										
	IBP	10	20	30	40	50	60	70	80	90	FBP
Spec. gasoline of MOC	-	<70	-	-	-	70-110	-	-	-	<170	<200
NGL	33	41	42	43	45	47	50	55	63	78	106
EtOH	77	77	77	77	77	77	77	77	77	77	93
NGL +25% EtOH	33	41	43	46	50	54	60	66	71	75	88
NGL + 30% EtOH	34	41	44	47	51	57	63	69	74	77	88
NGL + 35% EtOH	34	42	45	49	53	60	66	72	76	77	86
NGL + 40% EtOH	34	42	45	50	53	64	69	74	77	77	85
NGL + 45% EtOH	34	43	46	51	58	66	72	76	77	77	85

ตารางที่ 4.7 ค่าความดันไอของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

อัตราส่วนสารผสม	RVP, psi
Spec. gasoline of MOC	Max 9.0
NGL	12.6
EtOH	1.8
NGL + 25% EtOH	9.9
NGL + 30% EtOH	9.4
NGL + 35% EtOH	8.8
NGL + 40% EtOH	8.3
NGL + 45% EtOH	7.7

2.3 ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารเอโรแมติกและสารเบนซิน

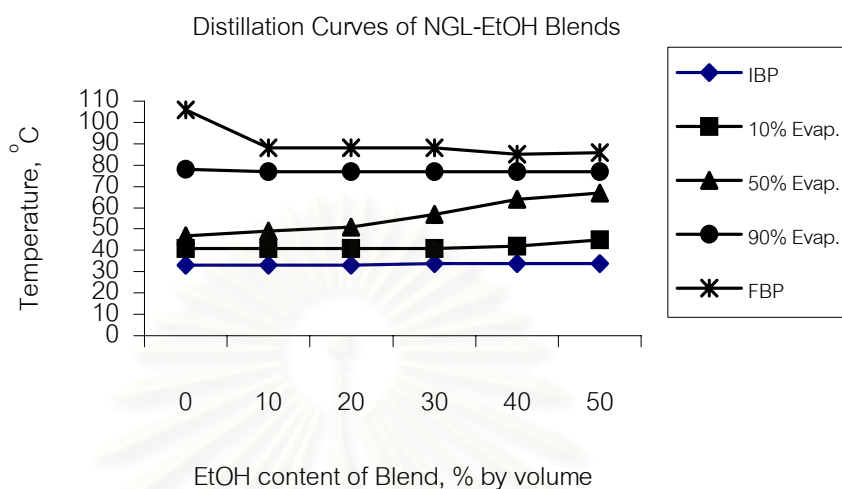
เอทานอลตรวจวิเคราะห์แล้ว ไม่พบสารเอโรแมติกและสารเบนซิน ส่วนแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมีปริมาณสารเบนซินร้อยละ 3.58 โดยปริมาตร และเอโรแมติกร้อยละ 5.07 โดยปริมาตร กระทรวงพาณิชย์กำหนดให้มีปริมาณสารเบนซินได้ไม่เกินร้อยละ 3.5 โดยปริมาตร และมีสารเอโรแมติกได้ไม่เกินร้อยละ 35 โดยปริมาตร ดังนั้น ทุกอัตราส่วนผสมอยู่ในข้อกำหนด

2.4 ผลวิเคราะห์หาปริมาณสารออกซิเจนเตต (Oxygenated Compounds)

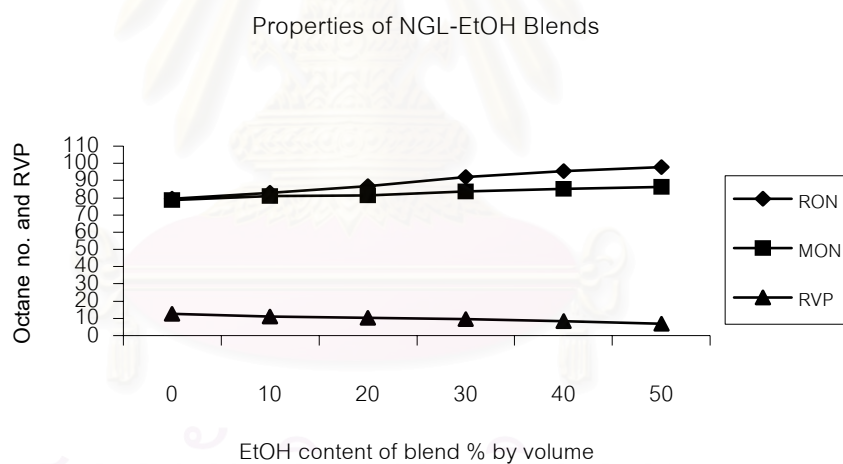
ปริมาณสารออกซิเจนเตตเพิ่มตามปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ผลตามตาราง 4.8 กระทรวงพาณิชย์กำหนดให้แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 91 และแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 95 มีสารออกซิเจนเตตได้ไม่เกินร้อยละ 11.0 โดยปริมาตร ส่วนแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 ไม่กำหนดปริมาณสารออกซิเจนเตต ดังนั้น ทุกอัตราส่วนผสมมีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87

ตารางที่ 4.8 ปริมาณสารออกซิเจนเตตร้อยละโดยปริมาตร

อัตราส่วนของผสม	Oxygenated Compound, %vol.
NGL	-
EtOH	98.36
NGL + 25% EtOH	25.07
NGL + 30% EtOH	29.27
NGL + 35% EtOH	34.43
NGL + 40% EtOH	38.29
NGL + 45% EtOH	47.33



รูปที่ 4.3 การระเหยของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล



รูปที่ 4.4 ออกเทนนิมเบอร์และความดันไอ(RVP) ของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลที่อัตราส่วนต่างๆ

เมื่อนำคุณสมบัติของส่วนที่กลั่นได้ ค่าออกเทน (RON, MON) และความดันไอ มาวาดกราฟได้ผลดังนี้

จากรูปที่ 4.3 พบว่าคุณสมบัติของส่วนกลั่นได้ที่ปริมาตรร้อยละ 50 มีความชันมากขึ้น เมื่อมีปริมาณเอทานอลอยู่ในช่วงร้อยละ 35 – 40 โดยปริมาตร แต่เมื่อเริ่มเติมเอทานอลลงในแก๊สธรรม-

ชาติเหลวเอ็นจีแอล คุณหมุมิของส่วนที่กลั่นได้ที่จุดสุดท้าย (FBP) มีค่าลดลง เนื่องจากเอทานอล (C_2H_5OH) มีจุดเดือดอยู่ที่ $77\text{ }^{\circ}C$ เกิดการแตกตัว ออกซิเจนอะตอมซึ่งมีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง จะดึง หมูหรืออะตอมที่ให้อิเล็กตรอนใกล้เคียง มีผลทำให้จุดเดือดสุดท้ายลดลง ส่วนที่เหลือไม่แตกต่าง

จากรูปที่ 4.4 พบว่าค่า RON และ MON เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่เท่ากัน ส่วนค่า ความดันไอมีค่าลดลงด้วยอัตราคงที่

3. ทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอล

จากการทดสอบสารผสมในข้อ (1) พบว่าทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตรในแก๊ส ธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล มีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 (ULG 87) ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ แต่การทดลองนี้ต้องการให้มีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนไร้ สารตะกั่วชนิดออกเทน 91 (ULG 91) การผสมทอลูอินในสารผสมอีกไม่ได้ เนื่องจาก ปริมาณ แอโรแมติกถูกกำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์ให้ไม่เกินร้อยละ 35 โดยปริมาตร จึง นำเอทานอลมาเพิ่มค่าออกเทน ผลตามตาราง 4.9 ปริมาณเอทานอลร้อยละ 10 โดย ปริมาตรสามารถปรับคุณสมบัติของสารผสมทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตรในแก๊ส ธรรมชาติเหลวจาก ULG 87 เป็น ULG 91 ได้

ราคาสารก่อนรวมภาษี เอทานอลมีราคา 8 บาทต่อลิตร ทอลูอินมีราคา 7 บาทต่อ กิโลกรัม (6.07 บาทต่อลิตร) แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมีราคา 4 บาทต่อกิโลกรัม (2.66 บาทต่อลิตร)

ภาษีทอลูอิน 3.60 บาทต่อลิตร ภาษีแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล 3.15 บาทต่อ ลิตร ส่วนภาษีเอทานอล 3.3165 บาทต่อลิตร ตามประกาศกรมสรรพสามิต ลงวันที่ 28 ธันวาคม 2542

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด สารทอลูอินมีราคา 10.60 บาทต่อลิตร เอทานอลมีราคา 11.32 บาทต่อลิตร ส่วนแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมีราคา 7.15 บาทต่อลิตร

ดังนั้นเมื่อเติมเอทานอลเพิ่มขึ้นทุกร้อยละ 10 โดยปริมาตร ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ประมาณ 0.31 บาทต่อลิตร

ตารางที่ 4.9 ค่าออกเทน ปริมาณสารแอโรแมติก เบนซินและออกซิเจน

อัตราส่วนของผสม	RON	MON	Benzene %vol	Aromatic %vol.	Oxygenated Comp., %vol.	ราคา บาทต่อลิตร (รวมภาษี)
ETOH	111.6	95.2	-	-	98.36	11.32
[1]	89.3	82.8	3.16	34.52	-	8.185
[1] + 10% ETOH	91.5	84.0	2.84	31.07	9.7	8.50
[1] + 20% ETOH	93.8	85.3	2.53	27.62	19.7	8.81
[1] + 30% ETOH	96.0	86.5	2.21	24.16	29.5	9.13

[1] = NGL+ 30% Toluene

4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณสารที่ออกจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.10 ใช้ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเป็นเชื้อเพลิง พบว่าปริมาณทอลูอินเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนคาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนไม่เปลี่ยนแปลง

จากเอกสารของ Tharby, R. [42] ได้กล่าวว่าการเติมทอลูอินและ/หรือ mixed xylene มีผลให้ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนในท่อไอเสียเพิ่มขึ้นบ้าง และที่สำคัญปริมาณสารเบนซินในท่อไอเสียเพิ่มขึ้น ความเป็นพิษในอากาศระดับสูงและให้ความเห็นปริมาณทอลูอินผสมได้สูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 45 ของทั้งหมด ถ้าผสมมากกว่านี้ จะมีผลต่อผิวหนังของมนุษย์

ดังนั้นการผสมทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเอ็นจีแอล จึงส่งผลดีมากกว่านำทอลูอินผสมในแก๊สโซลีน

เมื่อตรวจวัดสารที่ออกจากท่อไอเสียของผสมทอลูอินร้อยละ 50 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเทียบกับแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95 ที่ความเร็วรอบต่างๆ พบว่าสารผสมมีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่า 23 % แต่คาร์บอนมอนอกไซด์และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนไม่แตกต่างกันนัก เมื่อเทียบกับแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 95 (จำหน่าย) เนื่องจากออกซิเจนและไนโตรเจนได้จากอากาศ

ตารางที่ 4.10 ผลการตรวจวัดสารที่ออกจากรถไอเสียของรถดูอีโนในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

เชื้อเพลิง	ULG 95				NGL+40%toluene				NGL+45%toluene				NGL+50%toluene			
	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000
Speed, rpm	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000
HC, ppm	980	830	640	600	790	650	520	460	770	640	500	460	760	630	490	460
CO, ppm.	21	18	16	13	14	12	10	10	16	13	11	10	18	15	13	11
NO _x , ppm	380	290	240	200	320	230	200	150	340	250	220	150	350	270	220	160

ตารางที่ 4.11 ผลการตรวจวัดสารที่ออกจากรถไอเสียของเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

เชื้อเพลิง	ULG 95				NGL+30%ETOH				NGL+35%ETOH				NGL+40%ETOH			
	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000
Speed, rpm	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000
HC, ppm	980	830	640	600	750	650	540	450	730	610	500	430	710	590	460	430
CO, ppm.	21	18	16	13	16	14	12	10	15	12	11	8	14	12	10	7
NO _x , ppm	380	290	240	200	290	240	200	170	270	210	190	160	260	200	170	140

ตารางที่ 4.12 ผลการตรวจวัดสารที่ออกจากรถไอเสียของทอจูนร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอล

ชื่อเพลิง	ULG 95				[1]+10%ETOH				[1]+20%ETOH				[1]+30%ETOH			
	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000
Speed, rpm	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000	1000	2000	2500	3000
HC, ppm	980	830	640	600	680	620	490	370	660	580	440	320	590	510	410	290
CO, ppm.	21	18	16	13	18	15	14	13	18	15	13	11	18	14	12	10
NO _x . ppm	380	290	240	200	320	270	240	210	280	250	220	200	300	250	220	200

[1] = NGL + 30%Toluene

ตารางที่ 4.11 ใช้แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลในเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง พบว่าปริมาณเอทานอลเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร มีผลให้ปริมาณสารปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนลดลง 28 % คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง 34 % และปริมาณสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 30% เหตุที่ปริมาณสารที่ตรวจวัดมีค่าลดลง เนื่องจากเอทานอลแตกต่างเกิดออกซิเจนอะตอม ซึ่งมีอิเล็กโตรเนกาติวิตีสูง ไปรวมตัวกับไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงเกิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มากขึ้น

ส่วนแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95 (ULG 95) ผสม MTBE ประมาณ 10 % เพื่อเพิ่มค่าออกเทน ซึ่ง MTBE มีหมู่ให้อิเล็กตรอนล้อมรอบออกซิเจน ทำให้มีความเสถียรกว่าเอทานอล ดังนั้นเอทานอลจึงแตกต่างได้ง่ายกว่า เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า MTBE

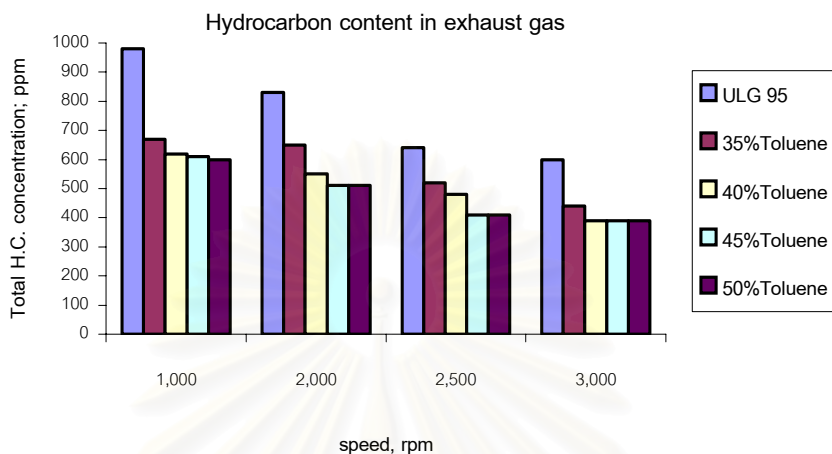
เอทานอล	C-C-O-H	C ₂ H ₅ OH
	C	
MTBE	C-C-O-C	C ₄ H ₉ OCH ₃
	C	

ตารางที่ 4.12 ใช้เอทานอลผสมกับทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเป็นเชื้อเพลิง พบว่าปริมาณเอทานอลในสารผสมเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนลดลง 25 % ปริมาณสารคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง 18 % และปริมาณสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 14%

เมื่อนำทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอลในอัตรา 70 : 30 ตรวจวัดปริมาณสารที่ออกจากท่อไอเสียของเครื่องยนต์เทียบกับแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95 ปรากฏว่าปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน สารคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจนมีค่าน้อยกว่าแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95

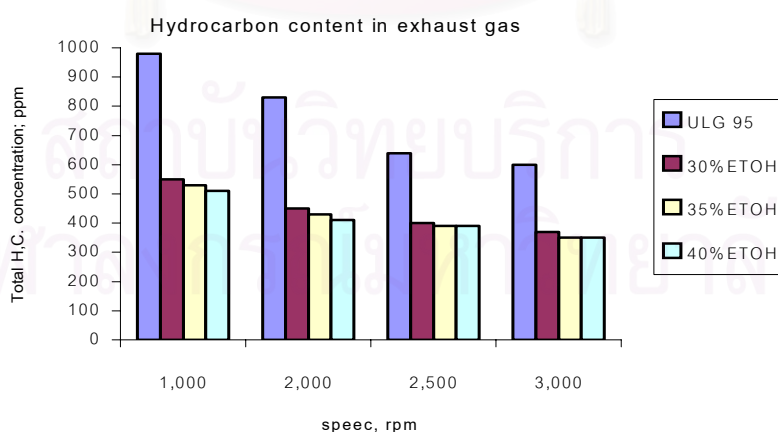
4.3 ความคงสภาพ (Stability)

สารผสมเอทานอล ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลว เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ปิดปากขวดให้มีช่องทางให้ลดแรงดัน เพื่อจำลองสภาวะที่ของผสมถูกกักเก็บในถังขนาดใหญ่ ทำการติดตามผลการแยกตัวและขุ่นมัวของผสมเป็นเวลาต่อเนื่องกันเป็นเวลา 3 เดือน ไม่พบการเปลี่ยนแปลง



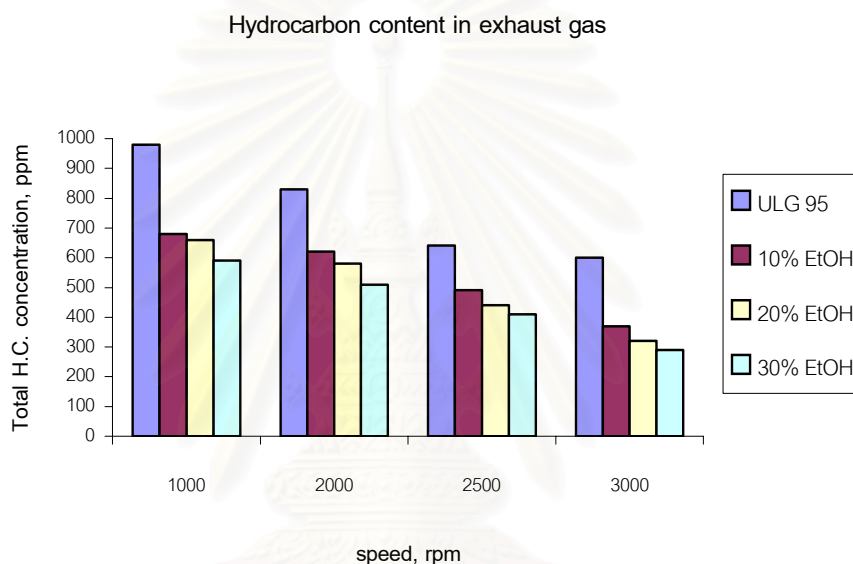
รูปที่ 4.5 ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกจากท่อไอเสียเมื่อใช้ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลว NGL

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าสารผสมทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลมีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนออกจากท่อไอเสียน้อยกว่าแก๊สโซลีนซินคอกเทน 95 และปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลงอีก เมื่อปริมาณทอลูอินเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วอื่นไม่มีผลต่อปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน



รูปที่ 4.6 ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกจากท่อไอเสียเมื่อใช้เอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลว NGL

จากรูปที่ 4.6 พบว่าสารผสมเอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล มีปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95 และปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนลดลง เมื่อปริมาณเอทานอลเพิ่ม โดยเฉพาะที่ความเร็ว 1,000 2,000 รอบต่อนาที ส่วนความเร็วรอบอื่นไม่มีผลต่อปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนมากนัก



รูปที่ 4.7 ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกจากท่อไอเสียเมื่อใช้ทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตรในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมเอทานอล

จากรูปที่ 4.7 พบว่าปริมาณเอทานอลที่เพิ่มขึ้น มีผลให้สารไฮโดรคาร์บอนลดลง เมื่อเพิ่มความเร็ว ทำให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนลดลงอีก และให้ปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนน้อยกว่าแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95 ทุกความเร็วรอบที่ใช้

4.4 วิเคราะห์ผลเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรม

1. ทอสู่อื่นในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล (ตามตาราง 4.14) สรุปได้ดังนี้

แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลผสมทอสู่อื่นร้อยละ 35 ถึง 40 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 91 และปริมาณทอสู่อื่นเป็นร้อยละ 50 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95 ที่ไม่ได้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ เนื่องจากปริมาณสารแอโรแมติกมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร

ค่าการกลั่นและความดันไอ มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นอุณหภูมิส่วนที่กลั่นได้ในอัตรา ร้อยละ 90 โดยปริมาตร และจุดเดือดสุดท้าย โดยมีอุณหภูมิต่างกัน 40 °C และ 70 °C ตามลำดับ ซึ่งอาจให้กำลังเครื่องยนต์ลดลงเล็กน้อย [22-23] ส่วนจุดเดือดสุดท้าย เป็นจุดที่บ่งชี้ถึงปริมาณเขม่า กระทรวงพาณิชย์กำหนดค่าสูงสุดไว้ไม่เกิน 200 °C เนื่องจากแก๊สโซลีนมีราคาสูงกว่าผลิตภัณฑ์บางอย่าง จึงเป็นเหตุจูงใจนำผลิตภัณฑ์อื่นผสม เพื่อให้จุดเดือดสุดท้ายมีค่าใกล้เคียงกำหนดสูงสุดของประกาศกระทรวงพาณิชย์ ดังนั้นอุณหภูมิจุดเดือดสุดท้ายต่ำ จึงส่งผลดีต่อความสะดวกของเครื่องยนต์และสิ่งแวดล้อม

ปริมาณสารเบนซินและแอโรแมติก แก๊สโซลีนจากโรงอุตสาหกรรม มีค่าสารเบนซินมากกว่าสารผสมทอสู่อื่นในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล แต่มีสารแอโรแมติกน้อยกว่า

ตารางที่ 4.13 ทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเทียบกับแก๊สโซลีนที่ขายในท้องตลาด
ของโรงงานอุตสาหกรรม

TEST ITEMS	Method ASTM/other	Result (Toluene , % vol.)			TPI		Thai oil	
		35	40	50	ULG 91	ULG 95	ULG 91	ULG 95
1.Appearance	Visual	B & C	B & C	B & C	B & C	B & C	B & C	B & C
2. RON	ASTM D2699	90.9	92.5	95.7	92.5	96.7	91.0	94.9
3. MON	ASTM D2700	83.7	84.6	86.8	83.8	86.6	82.2	86.0
4. Distillation , °C	ASTM D86							
IBP		37.9	38.0	39.8	36.5	36.9	36.9	36.8
10% Evap.		52.0	54.1	58.4	49.9	49.9	53.2	53.2
50% Evap.		78.5	84.7	97.1	78.7	78.7	80.8	79.6
90% Evap.		108.7	108.8	109.0	167.7	167.7	152.8	155.0
EP		115.5	115.6	115.9	191.9	188.1	192.9	180.3
5. RVP@ 37.8 °C	ASTM D323	8.4	8.0	7.2	8.50	8.65	7.8	7.6
6. Benzene, %vol.	ASTM D6293	2.95	2.13	1.79	0.88	1.56	3.10	3.27
7. Aromatic, %vol.	ASTM D6293	39.91	48.24	52.53	35.89	35.38	30.06	32.02

2. เอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

แก๊สธรรมชาติเหลวที่มีเอทานอลร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติเทียบเท่าแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 91 และเอทานอลร้อยละ 40 โดยปริมาตร มีคุณสมบัติเทียบเท่าแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95

ค่าการกลั่นและความดันไอ อุณหภูมิส่วนกลั่น ตั้งแต่จุดเดือดเริ่มต้น (IBP) ถึงร้อยละ 50 มีค่าไม่แตกต่าง อุณหภูมิส่วนกลั่นในอัตราร้อยละ 90 โดยปริมาตร มีค่าอุณหภูมิต่างกัน 80 °C ซึ่งอาจให้กำลังเครื่องยนต์ลดลง [22-23] ดังนั้นจึงควรปรับแต่งเครื่องยนต์ในส่วนของกระบอกสูบให้มีขนาดและความยาวให้เหมาะสม เพื่อให้มีกำลังการขับเคลื่อนมากขึ้น ส่วนจุดเดือดสุดท้ายต่างกันประมาณ 100 °C เป็นจุดเดือดที่บ่งชี้ถึงปริมาณเขม่า

ปริมาณสารเบนซินและแอมโดก แก๊สโซลีนของโรงงานอุตสาหกรรม จะมีค่าสารเบนซินและสารแอมโดกมากกว่าสารผสมทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล

ตารางที่ 4.14 เอทานอลในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลเทียบกับแก๊สโซลีนที่ขายใน
ท้องตลาดของโรงงานอุตสาหกรรม

TEST ITEMS	Method ASTM/other	Result (ETOH , % vol.)			TPI		Thai oil	
		30	40	45	ULG 91	ULG 95	ULG 91	ULG 95
1.Appearance	Visual	B & C	B & C	B & C	B & C	B & C	B & C	B & C
2.RON	ASTM D2699	92.0	95.4	96.9	92.5	96.7	91.0	94.9
3.MON	ASTM D2700	83.6	85.2	85.9	83.8	86.6	82.2	86.0
4.Distillation ,°C	ASTM D86							
IBP		33.7	33.7	33.9	36.5	36.9	36.9	36.8
10% Evap.		41.3	42.3	42.6	49.9	49.9	53.2	53.2
50% Evap.		56.6	64.7	65.8	78.7	78.7	80.8	79.6
90%Evap.		76.8	77.3	77.4	167.7	167.7	152.8	155.0
EP		88.1	85.6	85.3	191.9	188.1	192.9	180.3
5.RVP@ 37.8 °C	ASTM D323	9.4	8.3	7.7	8.50	8.65	7.8	7.6
6.Benzene, %vol.	ASTM D6293	0.32	0.57	0.72	1.56	1.56	3.10	3.27
7.Aromatic, %vol.	ASTM D6293	0.46	0.81	1.03	35.38	35.38	30.06	32.02
8.S.G.@ 60/60°F	ASTM D4052	0.709	0.724	0.731	0.7523	0.7523	0.7339	0.7405

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุป

จากการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลด้วยการเตรียมเป็นของผสมระหว่างแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลกับทอลูอิน, ของผสมแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลกับเอทานอล และของผสมแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล, ทอลูอินกับเอทานอล ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้คุณลักษณะในการใช้งานเป็นแก๊สโซลีน พบว่า

1. ทอลูอินทำให้แก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล มีค่าออกเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 3 หน่วยต่อทอลูอินที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ของผสมแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลที่มีทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร จะให้ค่า RON อยู่ในช่วง 88.2 - 89.3 หน่วย มีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 สารผสมที่มีปริมาณทอลูอินมากกว่าร้อยละ 30 โดยปริมาตร มีค่าสารแอมโรแมติกมากกว่าข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ (มากกว่า 35 % โดยปริมาตร) เมื่อนำสารผสมทอลูอินในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอลที่มีอัตราส่วนทอลูอินร้อยละ 50 โดยปริมาตร มาทดสอบกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเปรียบเทียบกับแก๊สโซลีนชนิดออกเทน 95 (ULG 95) พบว่าปริมาณสารไฮโดรคาร์บอนลดลง 23 % แต่ปริมาณสารคาร์บอนมอนอกไซด์ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

2. เอทานอลทำให้ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล มีค่าออกเทนเพิ่มขึ้นประมาณ 3.5 หน่วยต่อเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร โดยที่ในแต่ละอัตราส่วนผสมคือ 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 % โดยปริมาตรมีปริมาณสารออกซิเจนเนตมากกว่าข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ (น้อยกว่า 11 % โดยปริมาตร) แต่แก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 ไม่กำหนดปริมาณสารออกซิเจนเนต ดังนั้นสารผสมทุกอัตราส่วนมีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 ยกเว้นเมื่อผสมเอทานอลน้อยกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร ให้ค่าความดันไอมากกว่าข้อกำหนดของกระทรวงพาณิชย์ คือประกาศกระทรวงพาณิชย์กำหนดให้ค่าความดันไอมีได้ไม่เกิน 9.0 ปอนด์ต่อ ตารางนิ้ว

จากข้อ (1) สารผสมทอลูอินร้อยละ 30 โดยปริมาตร ในแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล มีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 87 และไม่สามารถเพิ่มปริมาณสารทอลูอินได้อีกเนื่องจากปริมาณสารแอมโรแมติกมากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร จึงนำเอทานอลมาผสม พบว่าเมื่อผสมเอทานอลร้อยละ 10 โดยปริมาตร ทำให้สารผสมมีคุณสมบัติเป็นแก๊สโซลีนไร้สารตะกั่วชนิดออกเทน 91

รายการอ้างอิง

1. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. การพัฒนาแก๊สธรรมชาติในประเทศไทย. ใน แก๊สธรรมชาติ, หน้า 7-9. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, 2534.
2. Katz, Donald L. and Lee, Robert L. Natural gas liquid recovery and gas for the fuel market. Natural gas engineering production and storage. pp. 593-595. New York: McGraw-Hill. 1959.
3. Elsevier science publishers B. V. Motor gasoline and natural gas liquids. The petroleum handbook. 6th ed, pp. 387-558. New York: McGraw-Hill, 1983.
4. คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. สถานการณ์พลังงานแต่ละชนิด. วารสารนโยบายพลังงาน. ฉบับที่ 53 (2544): 50-51.
5. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. ข้อกำหนดคุณภาพแก๊สธรรมชาติเหลวเอ็นจีแอล. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายขาย การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2545. (อัดสำเนา)
6. Doshier, J. R. Toluene-octane improver or petrochemical feedstock. American Petroleum Institute. 58 (May 1979): 181-184.
7. สรรพสามิต, กรม. รายการสารละลายไฮโดรคาร์บอนในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์ควบคุมสารละลาย กรมสรรพสามิต, 2545. (อัดสำเนา)
8. American Society for Testing and Materials (ASTM). Physical constants of hydrocarbons C1-C10 : Committee D-2 on petroleum products and lubricants. Philadelphia: ASTM, 1963.
9. Hack, W. L. Production of octane boosters light hydrocarbons. Frankfurt.: Edeleanu GmBH, 1985.
10. พูนสุข อัททะวะสัมปณะ, ศจี ปิยะพงษ์, อำนาจ เอื้ออารี และ สุรพงษ์ จันทร์ผ่องศรี. ความเป็นไปได้ของการผลิตและการใช้แอลกอฮอล์เป็นเชื้อเพลิง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2540: 23-35.
11. Baker R. E.; Bandino J. H.; Koehl W. J. and Wotring W. T. Utilization of methanol as an automotive fuel. Alcohol Fuels. 101 Vols. pp. 412-414. U.S.A.: Washiton, 1978.

12. Hobson, G. D., ed. Modern petroleum technology. 5th ed. Great Britain: Galliard (Printers) Ltd, Great Yarmouth, 1986.
13. Speight, James G. The chemistry and technology of petroleum. U.S.A.: Marcel Dekker, 1980.
14. Popovick, M. and Hering, C. Fuels and lubricants. U.S.A.: John Wiley & Sons, 1959.
15. Chalotorn Bhamorusut.. Synthesis of certain organotin compounds for use in improving the octane number of gasoline. Master Thesis, Program of Petrochemistry and Polymer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 1989.
16. Western Atlas international. Motor fuel knock testing principles. ASTM research and motor method octane number testing of motor fuel. New Jersey: Western Atlas, 1988.
17. ปราโมทย์ ไชยเวช. เครื่องยนต์เบนซิน. ใน ปิโตรเลียมเทคโนโลยี, หน้า 143-146. กรุงเทพมหานคร: ฝ่ายวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1990.
18. การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. น้ำมันเบนซินรถยนต์. ใน ความรู้เรื่องผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม, หน้า 15-16. กรุงเทพมหานคร: การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2535.
19. อุตสาหกรรม, กระทรวง. ศัพท์อุตสาหกรรมปิโตรเลียม มอก. 1270 – 2537. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2538.
20. Egerton, A. C. Nature, 20 (1928): 122.
21. Dunstan, A. E. et al. The science of petroleum, 4 Vols. London: Oxford University Press, 1938.
22. Uppuroa, V. and Prasad, C. R. Combustion and flame, 18 (1972): 167-172.
23. เอสซีแอสเตนดาร์ดประเทศไทย. น้ำมันเบนซิน. ใน ความรู้เกี่ยวกับน้ำมันเชื้อเพลิงและผลิตภัณฑ์หล่อลื่น. หน้า 15-17. กรุงเทพมหานคร: แผนกบริการเทคนิค บริษัท เอสซีแอสเตนดาร์ดประเทศไทย จำกัด, 2532.
24. Somyot Bannakarnboworn. Isomerization of natural gas liquid. Master Thesis, Program of Petrochemistry and Polymer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 1996.

25. พงษ์วุฒิ สิทธิพล. การทำงานของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน 4 จังหวะ. ทฤษฎีแก๊สโซลีน, หน้า 44-47. กรุงเทพมหานคร: สยามสปอร์ต ซินดิเคท, 2541.
26. ปราโมทย์ ไชยเวช และ นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. คุณภาพน้ำมันกับปัญหามลภาวะทางอากาศ. ปิโตรเลียมเทคโนโลยี, หน้า 185-191. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
27. Mcketta, Jr., J. J., ed. Advances in petroleum chemistry and refining. New York: John Wiley & Sons, 1965.
28. Unzelman, George H. Ether will play role in octane, emivronmental specs for gasoline blends oil & Gas Journal. 1989, 44-49.
29. Green, gray J.and Yan Tsoung Y. Water tolerance of gasoline-methanol blend. Ind. Eng. Chem. Res. 29 (1990): 1630-1635.
30. Mays, M. A. The use of oxygenated hydrocarbons in gasoline and their contribution to reducing urban air pollution. Pure & Appl. Chem. 61 (1989): 1373-1378.
31. Taniguchi, brian and Johnson, Richard. T. MTBE for octane improvement. Chemtech. (August 1978): 502-510.
32. Gasohol makers are filling up for the long haul. Chemical week. 1984, 8-9.
33. Oste, David W.and Sell, Nancy J. Methanol-gasoline blends: blending agents to prevent phase separation. Fuel. 62 (1983): 268-270.
34. โกวิท ศตวุฒิ และอิทธิพล ปานงาม. การใช้แอลกอฮอล์หนักเป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน. วารสารวิศวกรรมสาร ฉบับที่ 6 (2529): 91-99.
35. Pongpan Buatongtanakarn. The use of alcohols and organotin compound for improving octane nuber in gasoline. Master Thesis, Program of Petrochemistry and Polymer Science, Faculty of Sciene, Chulalongkorn University, 1992.
36. Arandes, J. M., Abajo, I.; Lopez-Valerio, D.; Fernandez, I.; Azkoiti, M. J.; Olazar, M. and Bilbao, J. Transformation of several plastic wastes into fuels by catalytic cracking. Ind. Eng. Chem. Res. 11 (1997): 1225.

37. Aguado, J.; Sotelo, J. L.; Serrano, D. P.; Calles, J. A. and Escola, J. M. Catalytic conversion of polyolefins into liquid fuels over MCM-41: Comparison with HZSM-5 and amorphous $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Energy Fuels. 11 (1997): 1225.
38. Kant Wacharakitiphong. The effect of dispersant on polycyclic aromatic hydrocarbons in gasoline engine exhaust. Master Thesis, Program of Petrochemistry and Polymer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, 1997.
39. Uemichi, Y., Hattori, M.; Itoh, T.; Nakamura, J. and Sugioka, M. Deactivation behaviors of zeolite and silica-alumina catalysts in the degradation of polyethylene. Ind. Eng. Chem. Res. 37 (1998): 867.
40. Uemichi, Y., Nakamura, J.; Itoh, T. and Sugioka, M. Conversion of polyethylene into gasoline-range fuels by two-stage catalytic degradation using silica-alumina and HZSM-5 zeolite. Ind. Eng. Chem. Res. 38 (1999): 385.
41. Titseesang, T. Benzene Toluene and Xylene in exhaust from gasoline automobiles. Master Thesis, Inter Department of Environmental Science, Graduate school, Chulalongkorn University, 2000.
42. Tharby, R. Catching gasoline and diesel adulteration[online]. 2002. Available from: <http://www.worldbank.org/sarurbaniar>[2002, September 21]

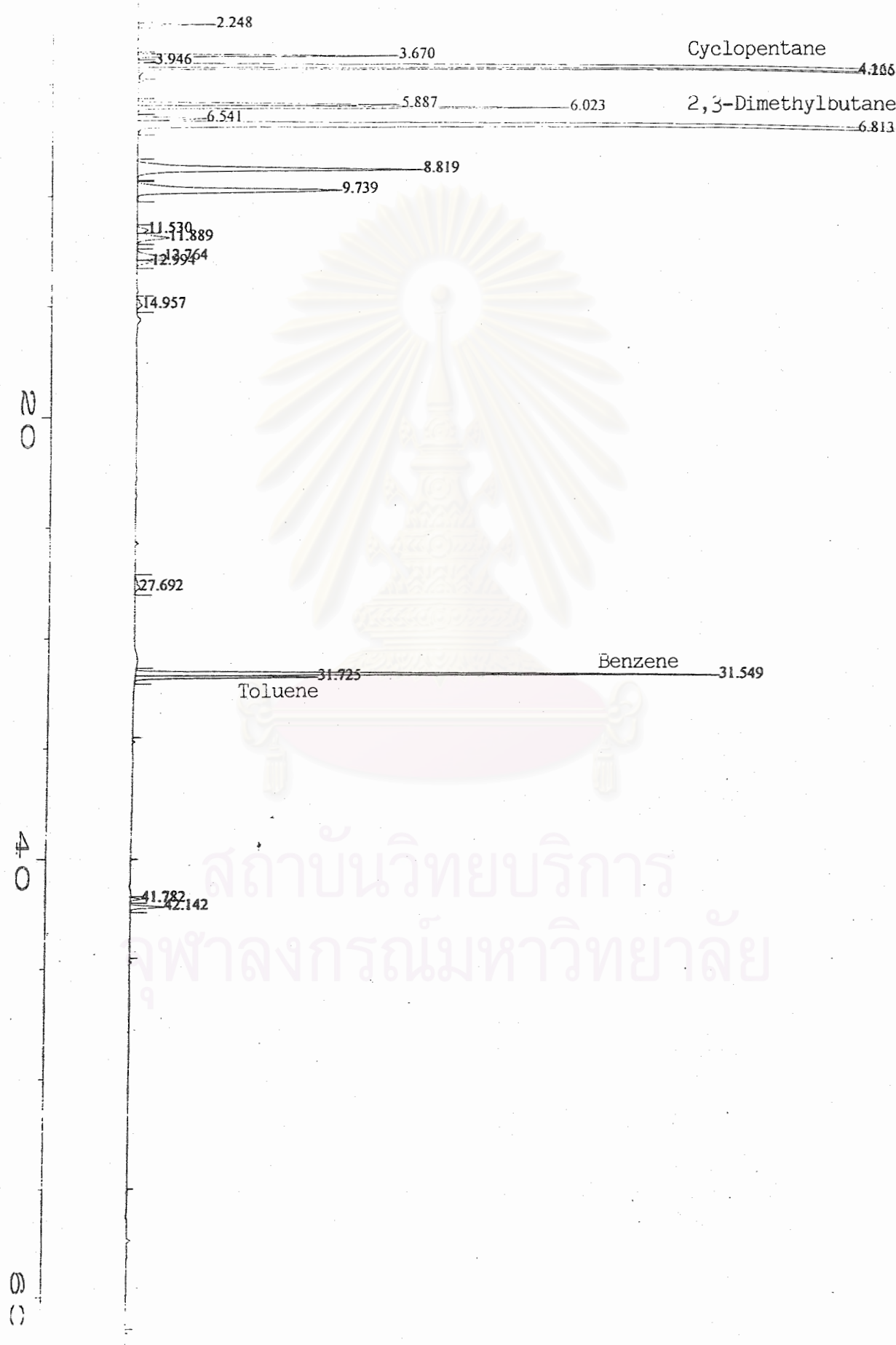


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIK...
IN C:\HP\CHEM\INDATANOV\20\01.F0201...

0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PIONA

Data File Name: C:\HPCHEM\1\DATA\NOV-20\011F0201.D

Instrument : 1 Vial : 11
 Operator : Injection : 1
 Acquired on : 20 Nov 01 11:01 AM Seq. line : 2
 Sample name : NGL
 Methodname : MOD1010.MTH
 Sequencename : C:\HPCHEM\1\SEQUENCE\PNA1.SEQ

Specific gravity 60/60 = 0.6540

REPORT IN WEIGHT %

C-num	Naphtenes	Paraffins	Aromatics	Totals
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.35	0.00	0.35
5	1.81	56.64	0.00	58.45
6	5.94	18.65	4.81	29.40
7	4.34	3.74	1.65	9.73
8	0.76	0.73	0.33	1.81
9	0.12	0.00	0.00	0.12
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	12.97	80.11	6.78	99.86

>200 0.14

 Total 100.00

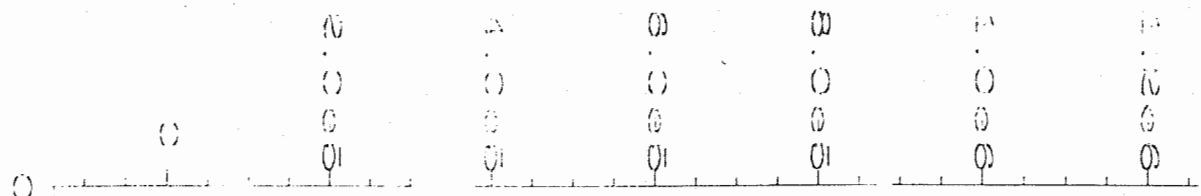
REPORT IN VOLUME %

C-num	Naphtenes	Paraffins	Aromatics	Totals
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.40	0.00	0.40
5	1.59	60.50	0.00	62.09
6	5.09	18.55	3.58	27.21
7	3.71	3.57	1.25	8.52
8	0.61	0.67	0.24	1.56
9	0.10	0.00	0.00	0.10
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	11.13	83.69	5.07	99.88

>200 0.12

 Total 100.00

SIEMENS CONIMCOHINNI SAMANNA SANGHATON



11.91538
12.829

Benzene

31.568

Toluene

31.765

1,2-Dimethylcyclohexane

41.813

2,2,4-Trimethylpentane

42.185

56.800

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PIONA

Data File Name: C:\HPCHEM\1\DATA\MAR-07\027F0201.D
 Instrument : 1 Vial : 27
 Operator : Injection : 1
 Acquired on : 08 Mar 02 01:59 PM Seq. line : 2
 Sample name : TOLUENE
 Methodname : MOD1010.MTH
 Sequencename : C:\HPCHEM\1\SEQUENCE\PNA1.SEQ

Specific gravity 60/60 = 0.8657

REPORT IN WEIGHT %

C-num	Naphtenes	Paraffins	Aromatics	Totals
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	1.34	1.34
7	0.00	0.00	96.22	96.22
8	1.15	0.14	1.16	2.44
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	1.15	0.14	98.72	100.00

Total 100.00

REPORT IN VOLUME %

C-num	Naphtenes	Paraffins	Aromatics	Totals
3	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	1.32	1.32
7	0.00	0.00	96.08	96.08
8	1.28	0.17	1.15	2.60
9	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00	0.00
Totals	1.28	0.17	98.55	100.00

Total 100.00



Sig. 2 in C:\DATA\APR-09\006R0202.D



External Standard Report

ata File Name : C:\DATA\APR-09\006R0202.D
 perator :
 nstrument : 5890 GC
 ample Name : ETOH
 un Time Bar Code:
 cquired on : 10 Apr 02 03:29 PM
 eport Created on: 11 Apr 02 01:42 PM
 ast Recalib on : 10 Apr 02 02:23 PM
 ltiplier : 1

Page Number : 1
 Vial Number : 6
 Injection Number : 2
 Sequence Line : 2
 Instrument Method: SOLVENT.MTH
 Analysis Method : SOLVENT.MTH
 Sample Amount : 0
 ISTD Amount :

g. 2 in C:\DATA\APR-09\006R0202.D

Ret Time	Area	Type	Width	Ref#	VOL.%	Name
5.053	* not found *			1		MEOH
6.249	1.31336E+007	BV	0.212	1	98.358	ETOH
6.451	* not found *			1		ACETONE
16.401	* not found *			1		BENZENE
31.123	* not found *			1		TOLUENE
47.156	* not found *			1		ETHYLBENZENE
49.584	* not found *			1		m-XYLENE
49.746	* not found *			1		p-XYLENE
54.708	* not found *			1		o-XYLENE

t all calibrated peaks were found

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นาย ชาญกิจ จรุงเกียรติกำจร

การศึกษา

พ.ศ. 2537 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) จากคณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2537 - 2539 นักวิทยาศาสตร์ สำนักวิจัยและประกันคุณภาพ บริษัท ฟรีเมียร์โปรดักส์
จำกัด

พ.ศ. 2540 - ปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ กองวิเคราะห์สินค้าและของกลาง กรมสรรพสามิต
กระทรวงการคลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย