

การปรับปรุงค่าออกเทนของแก๊สโซลีน
ด้วยปฏิกิริยาต่อเนื่องสองขั้นตอน:
ตอนที่ 1 การใช้โทลูอิน-เมทิลไซโคลเฮกเซนเป็นสารตั้งต้น
Octane Number Improvement of Gasoline
by Two Consecutive Reactions:
Part 1 Toluene-Methylcyclohexane as Reactant

มาลี สันติคุณภรณ์ และชาญณรงค์ อัสวเทศานุภาพ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

การใช้พลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียม โดยเฉพาะแก๊สโซลีนได้เพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้สำหรับการคมนาคม ผลของการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างไม่จำกัดและไม่มีประสิทธิภาพทำให้เกิดผลกระทบต่อมลภาวะทางอากาศ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณเขม่าดำ รวมทั้งไอระเหยของสารอะโรมาติกส์ เป็นต้น ดังนั้นการลดมลภาวะที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงจึงเป็นสิ่งสำคัญ หน่วยงานดูแลสภาพแวดล้อมได้กำหนดข้อกำหนดเรื่องคุณภาพของแก๊สโซลีนให้ดีขึ้น โดยลดปริมาณอะโรมาติกส์ให้เหลือต่ำกว่าร้อยละ 35 เปอร์เซนต์ อะโรมาติกส์เป็นสารเคมีที่มีค่าออกเทนสูง ดังนั้นการลดปริมาณอะโรมาติกส์ในแก๊สโซลีน อาจส่งผลให้ค่าออกเทนต่ำลง วัตถุประสงค์ของบทความนี้เพื่อต้องการอธิบายถึงแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของแก๊สโซลีน โดยการลดปริมาณอะโรมาติกส์ (aromatics) และในขณะเดียวกันค่าออกเทนยังคงมีค่าสูงอยู่ ค่าออกเทนเป็นตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์เบนซิน น้ำมันที่มีค่าออกเทนสูงประสิทธิภาพในการต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์ดี ค่าออกเทนของสารแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับโครงสร้างและขนาดโมเลกุล ถึงแม้ว่าอะโรมาติกส์มีค่าออกเทนสูง แต่ส่งผลร้ายต่อสุขภาพ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องลดปริมาณอะโรมาติกส์ให้ต่ำลง ในที่นี้ได้แสดงถึงการเปลี่ยนสารอะโรมาติกส์ให้กลายเป็นไอโซพาราฟิน (iso-paraffins) โดยอาศัยปฏิกิริยาต่อเนื่อง 2 ขั้นตอน ไอโซพาราฟินนอกจากมีค่าออกเทนสูงแล้ว ค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ยังมีค่าสูงกว่าอะโรมาติกส์ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณของแก๊สโซลีนได้อีกทางหนึ่ง

คำสำคัญ: แก๊สโซลีน อะโรมาติกส์ ค่าออกเทน

Abstract

Petroleum fuel demand, especially gasoline in the transportation sector, has continued to grow. Rapid increase in energy consumption and inefficient use of energy could cause air pollution such as increasing amount of carbon dioxide, particulate matters, soot and volatile aromatics. Therefore, a reduction of pollutants in combustion processes has become more concerned. The EPA has forced the strong regulations to control the gasoline quality. One of them is the reduction of aromatic content in gasoline and its value must be no higher than 35%. Aromatic compounds normally have high octane number. The lower aromatic content in gasoline, the lower octane number of gasoline is. This paper presents a strategy to reduce aromatics, but preserving the octane number. The octane number is a number that indicates the knocking resistance of the gasoline engine. The higher octane number, the higher the knocking resistance is. Octane number is different for each compound and it depends on the molecular size and molecular structure. Although aromatics have high octane number, they could cause adverse health effects. Therefore, aromatic contents must be reduced. Thus, this paper presents a strategy to reduce aromatic by changing its molecular structure to iso-paraffin via two consecutive reactions. It is evident that iso-paraffins have not only less adverse effects and harm but also higher octant number and higher specific volume.

Keywords: gasoline, aromatics, octane number

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้ในแต่ละปีมีความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น และผลของการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างไม่จำกัดและไม่มีประสิทธิภาพก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศซึ่งส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ตัวการที่ก่อให้เกิดผลกระทบในเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญได้แก่ ฝุ่นละออง (particulate matters) หรือเขม่าดำ (soot) ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบทางเดินหายใจ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ซึ่งก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในบรรยากาศ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

(SO_2) และสารประกอบของซัลเฟอร์หรือไนโตรเจน ซึ่งก่อให้เกิดฝนกรด นอกจากนี้ไอระเหย (vapor) ของสารไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) ในกลุ่มอะโรมาติกส์ (aromatics) ที่รู้จักกันดีว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogens) ดังนั้นเทคโนโลยีพลังงานสะอาด (Clean technology) จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่นำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงปิโตรเลียม แต่เนื่องจากในปัจจุบัน เชื้อเพลิงปิโตรเลียมถือเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและมีปริมาณการใช้มากที่สุด โดยเฉพาะการใช้แก๊สโซลีน (Gasoline) สำหรับการคมนาคม ดังนั้นการลดปริมาณสารอันตรายที่ปนอยู่ในน้ำมันจึงเป็นสิ่งสำคัญ

หน่วยงานดูแลสภาพแวดล้อม (EPA: United State Environmental Protection Agency) ได้

ออกข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณสมบัติของแก๊สโซลีนที่เคร่งครัดมากขึ้น โดยเฉพาะการลดปริมาณสารอะโรแมติกส์ European Union 2005 [1] ได้กำหนดให้แก๊สโซลีนมีปริมาณอะโรแมติกส์ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สำหรับประเทศไทย [2] ปริมาณเบนซีน (Benzene) ต้องมีไม่สูงกว่าร้อยละ 3.5 โดยปริมาตร และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ต้องมีไม่สูงกว่าร้อยละ 1.0 โดยปริมาตร และอะโรแมติกส์ต้องมีไม่สูงกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร

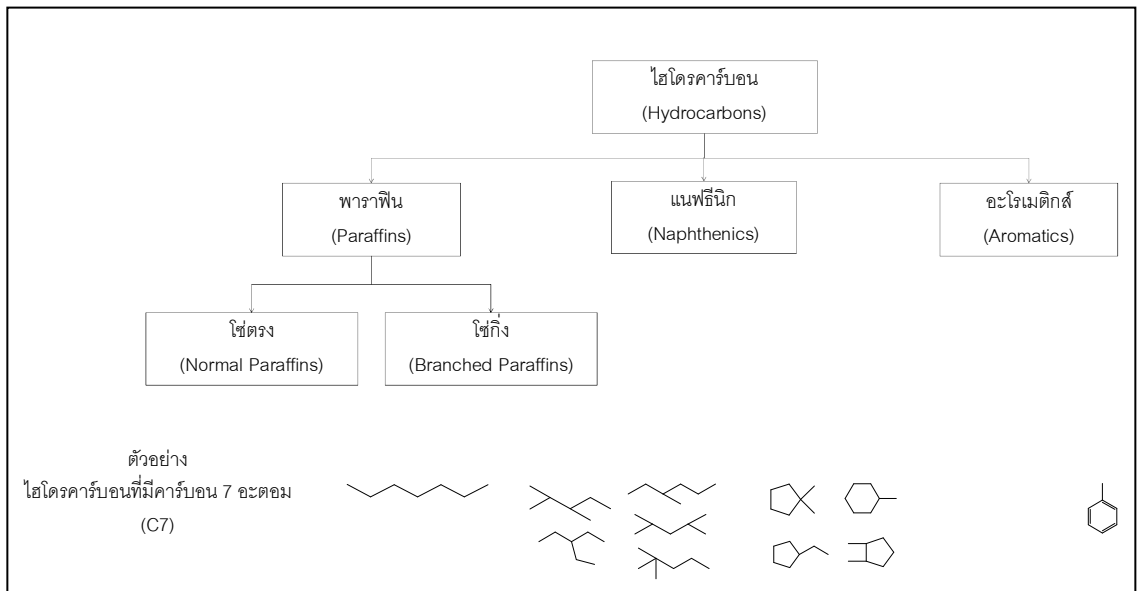
2. แก๊สโซลีน

แก๊สโซลีนประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนอยู่ระหว่าง 5-12 อะตอมในหนึ่งโมเลกุล ใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน (internal combustion engine) ที่ลักษณะการทำงานอาศัยประกายไฟฟ้าจากหัวเทียนในการจุดระเบิดเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ (spark ignition) ซึ่งจะดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ คุณสมบัติสำคัญที่ใช้บ่งบอกถึงความสามารถในการต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์หรือค่าออกเทนซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงถึงความสามารถในการติดไฟได้เองของเชื้อเพลิง เมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิและความดันสูง โดยคำดังกล่าวได้จากการเปรียบเทียบกับแก๊สโซลีนมาตรฐาน คือ ไอโซออกเทน ($\text{iso-C}_8\text{H}_{18}$) มีค่าออกเทนเท่ากับ 100 และนอร์มัลเฮปเทน ($\text{n-C}_7\text{H}_{16}$) มีค่าออกเทนเท่ากับ 0 ดังนั้นแก๊สโซลีน 95 จึงหมายถึง น้ำมันเบนซินที่มี

คุณสมบัติในการต้านทานการน็อกของเครื่องยนต์เทียบเท่ากับน้ำมันที่เกิดจากการผสมระหว่างไอโซออกเทน 95% กับนอร์มัลเฮปเทน 5% แก๊สโซลีนที่ดีควรมีค่าออกเทนสูงและเหมาะสมกับค่าอุณหภูมิและความดันภายในกระบอกสูบ เมื่อของผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศถูกอัดภายในกระบอกสูบ เชื้อเพลิงจะไม่สามารถติดไฟได้เอง จนกระทั่งมีประกายไฟจากหัวเทียนเป็นตัวจุดระเบิด

ค่าออกเทนที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 2 ชนิด

ได้แก่ 1) ค่าออกเทนที่วัดโดยวิธีวิจัย (research octane number, RON) และ 2) ค่าออกเทนที่วัดโดยวิธีมอเตอร์ (motor octane number, MON) ส่วนใหญ่ค่าออกเทนที่แสดงที่สถานีน้ำมันจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่าง RON และ MON แต่สำหรับประเทศไทยจะแสดงเฉพาะ RON ค่าออกเทนของสารไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลและขนาดโมเลกุลหรือจำนวนคาร์บอนอะตอมในโมเลกุล [3] โครงสร้างโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของแก๊สโซลีนมีลักษณะแตกต่างกันซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าสารประกอบไฮโดรคาร์บอนแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มตามลักษณะโครงสร้างโมเลกุล ได้แก่ 1) ไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรง 2) ไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่กิ่ง 3) ไฮโดรคาร์บอนแบบวง และ 4) อะโรแมติกส์ ตารางที่ 1 แสดงค่าออกเทนของไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 7 อะตอมในโมเลกุล



รูปที่ 1 ไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ และตัวอย่างไฮโดรคาร์บอนที่มีอะตอมคาร์บอนอยู่ 7 อะตอมในหนึ่งโมเลกุล

3. แนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพของแก๊สโซลีน

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อไฮโดรคาร์บอนมีขนาดโมเลกุลหรือจำนวนอะตอมคาร์บอนคงที่ ค่าออกเทนของอะโรมาติกส์มีค่าสูงกว่าค่าออกเทนของไฮโดรคาร์บอนแบบวงหรือแบบโซ่กิ่ง และค่าออกเทนของไฮโดรคาร์บอนแบบโซ่ตรงมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นในอดีต การเพิ่มค่าออกเทนของแก๊สโซลีนทำโดยการเติมสารอะโรมาติกส์ลงในแก๊สโซลีน แต่เนื่องจากอะโรมาติกส์เป็นสารระเหยที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ซึ่งส่งผลให้การออกข้อกำหนดคุณลักษณะของแก๊สโซลีนมีความเข้มงวดมากขึ้น

และหนึ่งในนั้นคือ การลดปริมาณอะโรมาติกส์ ทำให้โรงกลั่นน้ำมันไม่สามารถเติมอะโรมาติกส์ลงในน้ำมันได้

การเลือกเปิดพันธะของไฮโดรคาร์บอนแบบวง เป็นวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการลดปริมาณอะโรมาติกส์ และเพิ่มค่าออกเทน [4,5] ด้วย วิธีนี้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

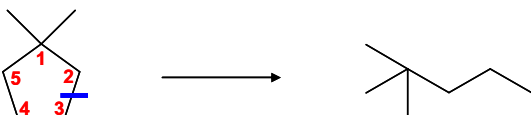
ขั้นตอนที่ 1 ปฏิกริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) คือ การเติมอะตอมไฮโดรเจนเข้าไปในโครงสร้างโมเลกุลของอะโรมาติกส์ ทำให้อะโรมาติกส์เปลี่ยนเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon)

ตารางที่ 1 ค่าออกเทน (RON และ MON) ของไฮโดรคาร์บอน C7 ที่มีโครงสร้างโมเลกุลต่างกัน [4]

ชื่อ	โครงสร้าง	ค่าออกเทน		ปริมาตรจำเพาะ (cm ³ /g)
		RON	MON	
โทลูอิน		119.7	112.6	
เมทิลไซโคลเฮกเซน		73.8	73.8	1.2920
1,1-ไดเมทิลไซโคลเพนเทน		92.3	89.3	1.3170
1,2-ไดเมทิลไซโคลเพนเทน		86.5	85.7	1.3224
1,3-ไดเมทิลไซโคลเพนเทน		92.3	89.3	1.3304
เอทิลไซโคลเพนเทน		67.2	61.2	1.2970
2,2-ไดเมทิลเพนเทน		92.8	95.6	1.4745
3,3-ไดเมทิลเพนเทน		80.8	86.6	1.4335
2,3-ไดเมทิลเพนเทน		91.1	88.5	1.4294
2,4-ไดเมทิลเพนเทน		83.1	83.	1.4767
เอทิลเพนเทน		65.0	69.3	1.4229
2-เมทิลเฮกเซน		42.4	46.4	1.4641
3-เมทิลเฮกเซน		52.0	55.0	1.4457
นอร์มัล-เฮปเทน		0.0	0.0	1.4531

ขั้นตอนที่ 2 ปฏิบัติการลดขนาดวง (Ring contraction) คือ การลดขนาดวงของไฮโดรคาร์บอน โดยการเปลี่ยนขนาดวงจากคาร์บอน 6 อะตอมเป็น 5 อะตอม

ขั้นตอนที่ 3 ปฏิบัติการเลือกเปิดพันธะ (Selective ring-opening) คือ การตัดพันธะระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนในวงเฉพาะตำแหน่ง secondary-secondary C-C bond ดังแสดงในรูปที่ 2

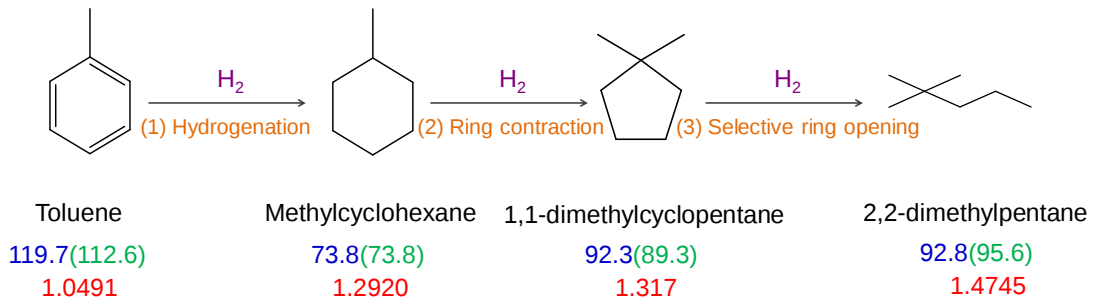


รูปที่ 2 ตัวอย่างการเปิดพันธะที่ตำแหน่ง secondary-secondary C-C bond ของ 1,1-ไดเมทิลไซโคลเพนเทน

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการลดปริมาณอะโรมาติกส์และการเพิ่มค่าออกเทนจากโทลูอิน โทลูอินเป็นสารอะโรมาติกส์ที่หนึ่งโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 7 อะตอมและไฮโดรเจน 8 อะตอมที่มีค่าออกเทนสูงมาก เมื่อโทลูอินเกิดปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันบนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ โทลูอินจะถูกเปลี่ยนเป็นเมทิลไซโคลเฮกเซนซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนแบบวงที่อิ่มตัว แต่ค่าออกเทนของเมทิลไซโคลเฮกเซนต่ำกว่าค่าออกเทนของโทลูอิน ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มค่าออกเทนโดยอาศัยปฏิกิริยาลดขนาดวง (Ring contraction) และปฏิกิริยาการเลือกเปิดพันธะ (Selective ring-opening) ตามลำดับ กล่าวคือ เมื่อเมทิลไซโคลเฮกเซนเกิดปฏิกิริยาลดขนาดวงบนตัวเร่งปฏิกิริยาหรือโลหะจะได้ของผสมไฮโดรคาร์บอนแบบวง เช่น 1,1-

ไคเมทิลไซโคลเพนเทน และเมื่อของผสมดังกล่าว เกิดปฏิกิริยาการเลือกเปิดพันธะ ตัวอย่างเช่น 1,1-ไคเมทิลไซโคลเพนเทนเปลี่ยนเป็น 2,2-ไคเมทิลเพนเทน ค่าออกเทนที่ได้มีค่าสูงขึ้นและสูงกว่าเมทิลไซ

โคลเฮกเซน นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของ 2,2-ไคเมทิลเพนเทนมีค่ามากกว่าเมทิลไซโคลเฮกเซน ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณ แก๊สโซลีนอีกด้วย

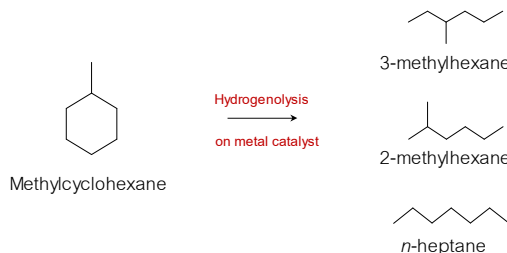


รูปที่ 3 ตัวอย่างการลดปริมาณโทลูอินและการเพิ่มค่าออกเทนของเมทิลไซโคลเฮกเซน

4. ผลของปฏิกิริยา

4.1 การเปิดพันธะของเมทิลไซโคลเฮกเซนโดยตรง บนตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะ เช่น อิริเดียมหรือโรเดียม ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ได้แก่ นอร์มัล-เฮปเทน 2-เมทิลเฮกเซนและ 3-เมทิลเฮกเซน ดังแสดงในรูปที่ 4

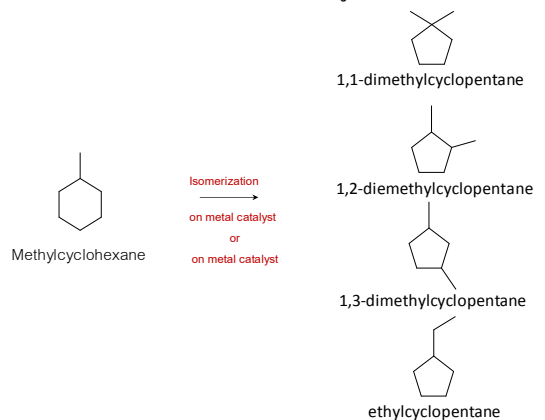
จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า ค่าออกเทนของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชนิดที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าค่าออกเทนของเมทิลไซโคลเฮกเซน ดังนั้นจึงไม่สามารถช่วยเพิ่มค่าออกเทนได้



รูปที่ 4 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปิดพันธะของเมทิลไซโคลเฮกเซนโดยตรง

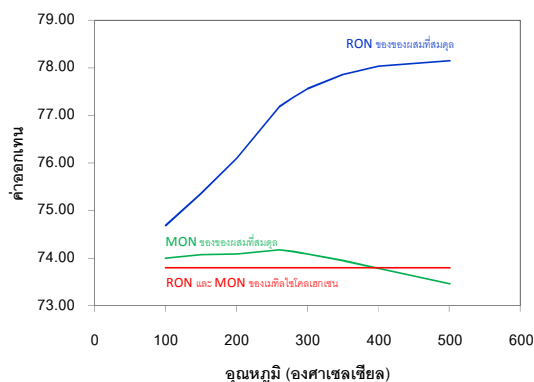
4.2 ปฏิกิริยาการลดขนาดวงของเมทิลไซโคลเฮกเซน

บนตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือโลหะ เช่น แพลตตินัม (Pt) หรือแพลเรเดียม (Pd) บนตัวรองรับซีโอไลต์ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้แก่ ของผสมอัลคิลไซโคลเพนเทน ที่ประกอบด้วย 1,1-ไคเมทิลไซโคลเพนเทน 1,2-ไคเมทิลไซโคลเพนเทน 1,3-ไคเมทิลไซโคลเพนเทน และเอทิลไซโคลเพนเทน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดขนาดวงของเมทิลไซโคลเฮกเซน

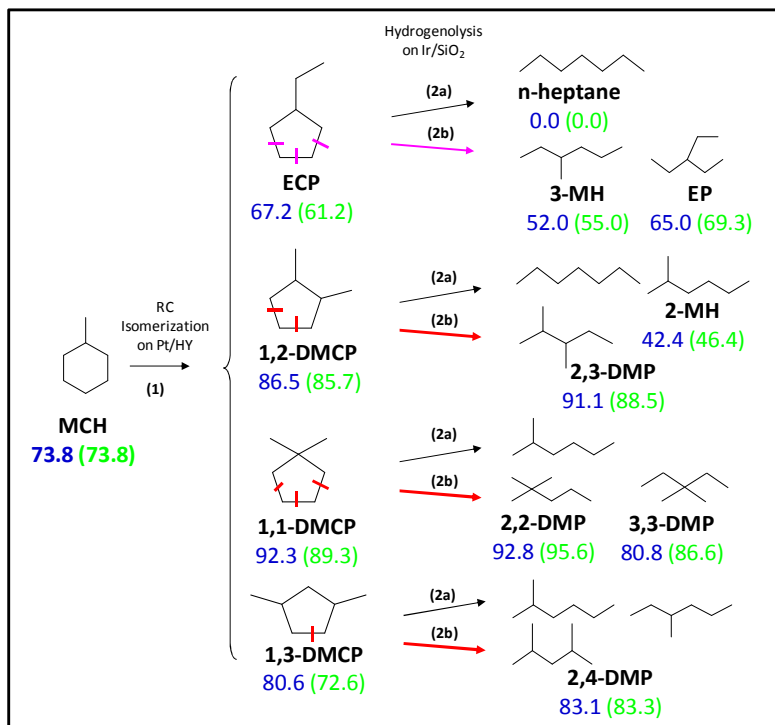
รูปที่ 6 แสดงค่าออกเทนที่ได้จากการคำนวณของผสมอัลคิลไซโคลเพนเทนและเมทิลไซโคลเฮกเซนที่สมดุล ในช่วงอุณหภูมิ 100-500 °C จะเห็นได้ว่า ค่า RON ของของผสมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าออกเทนของเมทิลไซโคลเฮกเซน แต่ค่า MON ของของผสมเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย



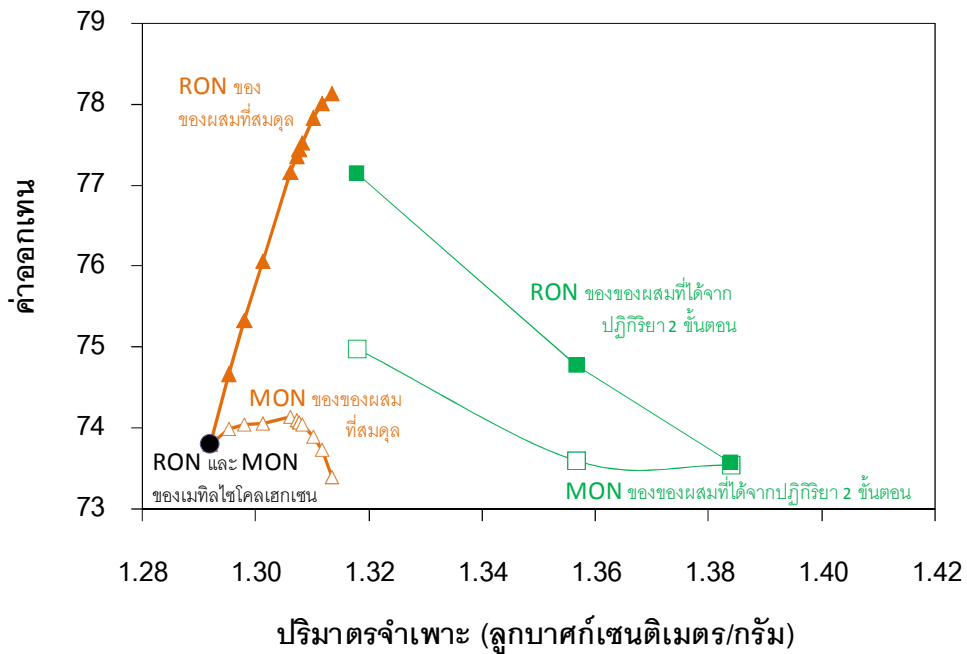
รูปที่ 6 ค่าออกเทน (RON และ MON) ของของผสมอัลคิลไซโคลเพนเทนและเมทิลไซโคลเฮกเซนที่

สมดุลในช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 100 – 500 องศาเซลเซียส [5]

4.3 ปฏิกิริยาต่อเนื่องสองขั้นตอน คือการเกิดปฏิกิริยาการลดขนาดวงของเมทิลไซโคลเฮกเซน ตามด้วยปฏิกิริยาการเปิดพันธะบนตัวเร่งปฏิกิริยาผสม เช่น แพลตตินัม (Pt) หรือแพลเลเดียม (Pd) บนตัวรองรับซีโอไลต์ผสมกับอิริเดียมหรือโรเดียมบนตัวรองรับซิลิกา ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเป็นของผสมระหว่างอัลคิลไซโคลเพนเทนและพาราฟิน ซึ่งประกอบด้วย 1,1-ไดเมทิลไซโคลเพนเทน 1,2-ไดเมทิลไซโคลเพนเทน 1,3-ไดเมทิลไซโคลเพนเทน เอทิลไซโคลเพนเทน นอร์มัล-เฮปเทน 2-เมทิลเฮกเซน และ 3-เมทิลเฮกเซน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน [5]



รูปที่ 8 ค่าออกเทนและปริมาตรจำเพาะของของผสมที่ได้จากปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน ปฏิกิริยาการลดขนาดวงที่ผสมตุลและเมทิลไซโคลเฮกเซน [5]

รูปที่ 8 แสดงค่าออกเทนและปริมาตรจำเพาะของของผสมที่ได้จากปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน เทียบกับค่าออกเทนและปริมาตรจำเพาะของเมทิลไซโคลเฮกเซนและของผสมที่ได้จากปฏิกิริยาการลดขนาดวงที่ผสมตุล จะเห็นได้ว่า ค่า MON ของของผสมที่ได้จากปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าของเมทิลไซโคลเฮกเซนและของผสมที่ได้จากปฏิกิริยาการลดขนาดวงที่ผสมตุลอย่างเห็นได้ชัด สำหรับค่า RON ของของผสมที่ได้จากปฏิกิริยามีค่าสูง แต่ไม่สูงกว่าค่า RON ของของผสมที่ได้จากปฏิกิริยาการลดขนาดวงที่ผสมตุลแต่ค่าปริมาตรจำเพาะของของผสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนนั้นนอกจากสามารถปรับปรุงให้ค่าออกเทนสูงขึ้นแล้ว ยังช่วยเพิ่มค่าปริมาตรจำเพาะของของผสมได้อีกด้วย

5. บทสรุป

การปรับปรุงคุณภาพของแก๊สโซลีนสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนอะโรเมติกส์ให้กลายเป็นไอโซพาราฟิน โดยการนำอะโรเมติกส์มาผ่านปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน กล่าวคือ 1) ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชันและปฏิกิริยาการลดขนาดวง ตามด้วย 2) ปฏิกิริยาการเปิดพันธะ ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดปริมาณอะโรเมติกส์ในแก๊สโซลีนแล้ว ค่าออกเทนยังมีค่าค่อนข้างสูง นอกจากนี้ปริมาณแก๊สโซลีนยังเพิ่มขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องปริมาตรจำเพาะของไอโซพาราฟินมีค่าสูงกว่าอะโรเมติกส์ ดังนั้นแนวทางนี้ถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดมลพิษที่เกิดขึ้นได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] In “Proposal for a Directive of The European Parliament and of The Council on the Quality of Petrol and Diesel Fuels and Amending Directive 98/70/EC” by Commision of The European Communities, Brussels, 2001.
- [2] <http://www.doeb.go.th/th/law/data/ben.pdf>
- [3] Edmonds, T.; in “Catalysis and Chemical Process, (Pearce R. and Patterson W.R., editors)”, p. 90. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981.
- [4] Malee Santikunaporn, the 22nd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand, October 15-17, 2008.
- [5] Malee Santikunaporn, Walter , Daniel E. Resasco, Appl. Catal. A, vol. 325, p. 175-187, 2007.
- [6] G.B. McVicker, M. Daage, M.S. Touvelle, C.W. Hudson, D.P. Klein, W.C. Baird Jr., B.R. Cook, .G. Chen, S. Hantzer, D.E.W. Vaughan, E.S. Ellis, O.C. Feeley, J. Catal., vol. 210, p.137, 2002.