

การตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์



นายธีศิษฐ์ สองเมือง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MEASUREMENT OF DENATURED ETHANOL FRACTION IN GASOHOL FUEL  
BY X-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE

Mr. Teesit Songmoung



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Nuclear Technology

Department of Nuclear Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊ส โซฮอล์ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์
โดย	นายธีศิษฐ์ สองเมือง
สาขาวิชา	นิเวศศาสตร์เทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สัญญาชัย นิลสุวรรณโฆสิต)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์นเรศร์ จันทน์ขาว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์สมยศ ศรีสถิตย์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถพร ภัทรสุมนต์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี)

ธีศิษฐ์ สองเมือง : การตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ (MEASUREMENT OF DENATURED ETHANOL FRACTION IN GASOHOL FUEL BY X-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ.สมยศ ศรีสถิตย์, 57 หน้า.

ปัจจุบันรัฐบาลมีนโยบายสนับสนุนการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าทางการเกษตรที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลัก โดยกำหนดให้ผสมเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันเบนซินพื้นฐานในสัดส่วนที่แตกต่างกัน คือ 10%, 20% และ 85% โดยปริมาตร ตามลำดับ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคนิวเคลียร์ที่สามารถตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ โดยได้ทำการทดลองส่งผ่านรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238 ที่พลังงาน 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ประเภทต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพต่าง ๆ กัน ซึ่งบรรจุขวดพลาสติกในระบบเปิด ขนาด 300 มิลลิลิตร ผลการวิจัยพบว่าการใช้เทคนิคส่งผ่านรังสีเอกซ์สามารถแยกแยะสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 1% โดยปริมาตรได้ โดยที่พลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สามารถจำแนกประเภทน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้อย่างชัดเจนมากที่สุดในจำนวน 3 พลังงานที่ใช้ทดลอง โดยความไวในการจำแนกประเภทของน้ำมันแก๊สโซฮอล์เพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์ลดลง ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคส่งผ่านรังสีเอกซ์ประกอบกับการเปรียบเทียบที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ภาคสนามสำหรับใช้ในงานตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการคุ้มครองผู้บริโภคตามพรบ.การค่าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2543

ภาควิชา วิศวกรรมนิวเคลียร์

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5570244121 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEYWORDS: GASOHOL FUEL / X-RAY TRANSMISSION / NUCLEAR TECHNIQUE

TEESIT SONGMOUNG: MEASUREMENT OF DENATURED ETHANOL FRACTION IN GASOHOL FUEL BY X-RAY TRANSMISSION TECHNIQUE. ADVISOR: ASSOC. PROF.NARES CHANKOW, CO-ADVISOR: ASSOC. PROF.SOMYOT SRISATIT, 57 pp.

In the present, the government promotes the use of Gasohol to reduce the import volume of petroleum and to add value to local agricultural products. Gasohol is a mixture of gasoline and denatured ethanol which includes of 10%, 20% and 85% by volume respectively. The study aims to develop a nuclear technique for measurement of denatured ethanol fraction in gasohol fuel. The experiment was conducted by x-ray transmission at different energies, i.e. 13.6, 17.2, and 20.1 keV, from a plutonium-238 source through denatured ethanol with diverse intensity in different types of gasohol in 300 ml plastic bottles in an open system. The result shows that the x-ray transmission technique can classify denatured ethanol fraction in gasohol fuel with different intensity of 1% by volume. The X-ray transmission at 13.6 keV is the best in classifying gasohol types among the three energies. It is also found that the sensitivity increases with decreasing of x-ray energy. The study indicates that it is possible to design and construct a field instrument for gasohol classification using the proposed technique which can be used to effectively protect consumers in accordance with the Fuel Trade Act, B.E. 2543.

Department:	Nuclear Engineering	Student's Signature .....
Field of Study:	Faculty of Engineering	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2014	Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.นเรศร์ จันทน์ขาว และ รศ.สมยศ ศรีสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้แนวคิด พร้อมทั้งให้ความเมตตาช่วยเหลือแก้ไขปัญหา และอุปสรรคต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จลุล่วง ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สัญญาชัย นิลสุวรรณโฆษิต ผศ.อรรถพร ภัทรสุมันต์ และ ดร.ศรินรัตน์ วงษ์ลี คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันมีค่ายิ่ง พร้อมทั้งให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บริษัท ปตท.จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำมันเบนซินพื้นฐาน และเอทานอลแปลงสภาพ เพื่อใช้ในการวิจัย และขอขอบพระคุณ สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง กรมธุรกิจพลังงาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ขอขอบพระคุณบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ นิสิตปริญญาโท และนิสิตปริญญาเอกทุกท่านเป็นอย่างมากไว้ ณ ที่นี้ ในฐานะที่มีส่วนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากบุคคลหลายฝ่ายที่ได้ช่วยเหลือในครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันจะพึงมีด้วยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตา บุษบาแต่บิดา มารดา คุณครู อาจารย์ และผู้มีอุปการะทุกท่าน

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.6 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	5
2.1 น้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	5
2.2 ที่มาของแก๊สโซฮอล์ในประเทศไทย.....	5
2.3 วัตถุประสงค์ที่ใช้ผลิตเอทานอล.....	6
2.4 มาตรฐานเอทานอลแปลงสภาพ.....	6
2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	8
2.6 คุณสมบัติของแอลกอฮอล์และน้ำมันเบนซิน.....	12
2.7 คุณสมบัติของน้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	12
2.8 รังสีเอกซ์.....	14
2.9 การลดทอนรังสีเอกซ์.....	18
2.10 หัววัดรังสี.....	19
2.11 สถิติการนับรังสี.....	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย.....	23

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย .....	29
4.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านตัวอย่างทดลอง ประเภทต่าง ๆ .....	29
4.2 ผลการทดสอบสัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เปรียบเทียบในกรณีปิดภาชนะและเปิด ภาชนะ.....	30
4.3 กราฟความสัมพันธ์ของสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์.....	36
4.4 ผลการทดลองหาระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เหมาะสม.....	45
4.5 สัดส่วนจำนวนนับรังสีทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	53
5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย .....	53
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	54
รายการอ้างอิง.....	55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	57



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบแต่ละประเภท (ลิตร/ตัน).....	6
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเอทานอล และน้ำมันเบนซิน.....	12
ตารางที่ 2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ โดยทดสอบ ด้วยเครื่องยนต์.....	13
ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุและสารประกอบที่รังสีเอกซ์ พลังงานต่าง ๆ.....	19
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของซิลิกอน เจอร์มาเนียม แคดเมียมเทลลูไรด์ เมอร์คิวรีไอโอไดต์.....	21
ตารางที่ 2.6 ค่าความเชื่อมั่นของการนับรังสีที่ระดับความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ กัน.....	22
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ทะลุผ่านตัวอย่างทดลอง ประเภทต่าง ๆ.....	29
ตารางที่ 4.2 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์.....	48
ตารางที่ 4.3 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์.....	49
ตารางที่ 4.4 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์.....	50
ตารางที่ 4.5 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงาน รวมทั้ง 3 พลังงาน.....	51

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ค่าความดันไอของแก๊สโซฮอล์ที่ความเข้มข้นเอทานอลต่าง ๆ กัน.....	13
รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	14
รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง หรือ Bremsstrahlung.....	15
รูปที่ 2.4 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการชนของรังสีแกมมาภายในอะตอม.....	16
รูปที่ 2.5 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการชนของอนุภาคเบตาภายในอะตอม.....	16
รูปที่ 2.6 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการจับอิเล็กตรอน.....	17
รูปที่ 2.7 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวโดยการกระตุ้นด้วยอนุภาคและโฟตอน.....	17
รูปที่ 2.8 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของธาตุเงิน (Ag) ที่ได้จากหัววัดรังสีชนิดต่าง ๆ.....	20
รูปที่ 2.9 การเกิดอิเล็กตรอน-โฮลในสารกึ่งตัวนำขณะวัดรังสี.....	21
รูปที่ 3.1 ภาพขณะบรรจุตัวอย่างของเหลวทดลองชนิดโพสิเทคทีลีนเทเลปทาเลท.....	23
รูปที่ 3.2 แผ่นอะคริลิกอ้างอิง ความหนารวม 26 มิลลิเมตร.....	24
รูปที่ 3.3 หัววัดรังสีเอกซ์ ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ ขนาด 5 มิลลิเมตร x 5 มิลลิเมตร.....	24
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าศักดาสูงและภาคขยายสัญญาณ รุ่น PX2T-CdT.....	24
รูปที่ 3.5 ระบบวัดการส่งผ่านรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดพลูโตเนียม-238.....	25
รูปที่ 3.6 การจัดระบบวัดเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ไปยังภาชนะพลาสติกบรรจุตัวอย่างทดลอง.....	25
รูปที่ 3.7 การจัดระบบวัดเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ไปยังแผ่นอะคริลิกอ้างอิง.....	26
รูปที่ 3.8 สเปกตรัมรังสีเอกซ์หลังจากผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238.....	27
รูปที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ทะลุผ่านตัวอย่างทดลองประเภทต่าง ๆ...30	
รูปที่ 4.2 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 กรณีปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน $1\sigma$ .....	31
รูปที่ 4.3 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 กรณีเปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน $1\sigma$ .....	32
รูปที่ 4.4 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 1 กรณีเปิดและปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน $1\sigma$ .....	33
รูปที่ 4.5 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 1 กรณีปิดและเปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน $1\sigma$ .....	34
รูปที่ 4.6 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเอทานอลแปลงสภาพ กรณีปิดและเปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน $1\sigma$ .....	35



รูปที่ 4.17 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 แสดงแถบ ความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที .....	42
รูปที่ 4.18 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 แสดงแถบ ความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เวลานับรังสี 600 วินาที ....	42
รูปที่ 4.19 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 แสดงแถบ ความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 1,200 วินาที .....	43
รูปที่ 4.20 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 แสดงแถบ ความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 1,200 วินาที .....	43
รูปที่ 4.21 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 แสดงแถบ ความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 1,200 วินาที .....	44
รูปที่ 4.22 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 แสดงแถบ ความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เวลานับรังสี 1,200 วินาที .	44
รูปที่ 4.23 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ .....	45
รูปที่ 4.24 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ .....	46
รูปที่ 4.25 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ .....	46
รูปที่ 4.26 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน 1σ พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน .....	47
รูปที่ 5.1 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ต่อจำนวนนับรังสีของ แผ่นอะคริลิกอ้างอิง.....	54

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภาครัฐมีนโยบายสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มการพึ่งตนเองด้านพลังงานโดยสนับสนุนการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมจากต่างประเทศ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าทางการเกษตรที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลัก เช่น มันสำปะหลัง และอ้อย โดยในปี 2556 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์เฉลี่ย 20.46 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 90 ของการใช้น้ำมันเบนซินทั้งหมด 22.55 ล้านลิตรต่อวัน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าของการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ประมาณ 277,258 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 13 ของมูลค่าการใช้พลังงานรวมทุกด้าน 2,130,000 ล้านบาท[1] ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พ.ศ.2557 ได้กำหนดให้แบ่งน้ำมันแก๊สโซฮอล์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 (E10) น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 (E20) และน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 (E85)[2] การควบคุมสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพ (Denatured Ethanol) ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ให้ เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดมีความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากมีผลกระทบต่อเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ ออกแบบมารองรับการใช้แก๊สโซฮอล์ในแต่ละกลุ่ม และส่งผลโดยตรงต่อความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในระยะยาว

สัดส่วนเอทานอล (Ethanol) แปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีการเปลี่ยนแปลงจนไม่ เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดนั้นอาจเกิดจากสาเหตุดังนี้[3]

1. การระเหย น้ำมันแก๊สโซฮอล์สามารถระเหยผ่านทางท่อระบายไอน้ำมันของถังเก็บ ดังนั้น การเก็บเป็นเวลานานจะมีผลทำให้สัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีสัดส่วนไม่ เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดได้

2. การปนเปื้อนด้วยน้ำในถังเก็บน้ำมัน เนื่องจากถังเก็บน้ำมันที่สถานีบริการน้ำมันรุ่นเก่าซึ่งเป็นถังโลหะชั้นเดียว อาจมีการปนเปื้อนของน้ำเข้าไปในถังน้ำมันโดยการซึมของน้ำใต้ดินผ่านผนังถังเก็บที่เกิดการผุกร่อน ซึ่งเอทานอลจะสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าละลายในน้ำมัน จึงส่งผลให้สัดส่วนเอทานอลในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ต่ำกว่าตามที่กฎหมายกำหนดได้

3. การปลอมปน เนื่องจากโครงสร้างราคาน้ำมันที่มีการขุดเจาะภาษี จึงอาจมีการผสมเอทานอลแปลงสภาพหรือน้ำมันแก๊สโซฮอล์บางประเภท ในสัดส่วนมากกว่าที่กฎหมายกำหนดเพื่อแสวงหากำไรส่วนต่างของราคาน้ำมัน

การตรวจสอบด้านคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงของหน่วยงานภาครัฐใช้การเก็บตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์มาตรวจที่ห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatograph, GC) ตามมาตรฐาน ASTM D 4815 และ ASTM D 5501 ซึ่งเป็นวิธีทดสอบตามที่กฎหมายกำหนด ส่วนการตรวจคัดกรองเบื้องต้นภาคสนาม ณ สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อเก็บตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการปัจจุบันใช้เครื่องมือตรวจวัดโดยใช้หลักการส่งผ่านรังสีอินฟราเรด (Infrared) ซึ่งต้อง

อาศัยการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ ซึ่งยังมีข้อจำกัดในการตรวจวัดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพในความเข้มข้นเกินกว่าร้อยละ 15 โดยปริมาตร

การพัฒนาเทคนิคนิวเคลียร์เพื่อตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์สามารถพัฒนาต่อไปเป็นเครื่องมือตรวจวัดภาคสนามซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการคุ้มครองผู้บริโภคตาม พรบ.การค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ.2543

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและทดลองหาค่าพลังงานรังสีเอกซ์ที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์โดยใช้เทคนิคส่งผ่านรังสีเอกซ์

1.3.2 สร้างกราฟความสัมพันธ์ของเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์แต่ละประเภทที่สัดส่วนของเอทานอลแปลงสภาพต่างๆกัน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

ได้เทคนิคนิวเคลียร์ที่สามารถใช้ตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ซึ่งสามารถพัฒนาต่อไปเป็นเครื่องตรวจวัดภาคสนาม ใช้สำหรับงานคุ้มครองผู้บริโภคตาม พรบ.การค้าน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ.2543

## 1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.5.1 ศึกษาและค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 เตรียมตัวอย่างแก๊สโซฮอล์ที่ทราบความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพ

1.5.3 ทำการวัดค่ารังสีโดยใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์จากพลูโตเนียม-238 (Pu-238) ส่งรังสีเอกซ์ผ่านตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่เตรียมไว้ โดยใช้หัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium telluride detector, CdTe detector)

1.5.4 นำข้อมูลสัดส่วนค่านับรังสีที่ได้จากการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในแก๊สโซฮอล์ประเภทต่าง ๆ

1.5.5 ประเมินผลโดยวิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์

1.5.6 วิเคราะห์ สรุปผลการวิจัย ในรูปแบบของวิทยานิพนธ์

## 1.6 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1. ดวงใจ นาคะปรีชา และคณะ[3] ทำการวิจัยเรื่อง “ชุดเครื่องวัดแก๊สโซฮอล์สยาม : การพัฒนาต้นแบบพร้อมผลิตของชุดเครื่องวัดคุณภาพแก๊สโซฮอล์ชนิดเคลื่อนที่และชนิดใช้ใน ห้องปฏิบัติการ” ซึ่งสามารถพัฒนาเทคนิคการวัดเอทานอลแบบใหม่ที่ให้ผลการวัดที่ถูกต้องและ แม่นยำสูง โดยได้พัฒนาขึ้นเป็นชุดทดสอบภาคสนามซึ่งให้ผลการอ่านออกมาเป็นร้อยละของเอทานอลภายใน 2 นาที อาศัยคัลเลอร์ิเมตรี (Colorimetry) แบบอัตโนมัติ โดยใช้หลักการสกัดเอทานอล จากน้ำมันเข้าสู่ชั้นน้ำยาสกัดด้วยการคน ซึ่งเกิดจากการทำงานควบคู่กันระหว่างแท่งแม่เหล็กขนาดเล็กและเครื่องกวนสารชนิดแม่เหล็ก จากนั้นเอทานอลที่สกัดออกมาจะทำปฏิกิริยากับน้ำยาสกัดเกิด เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถดูดกลืนแสงที่มาจากแหล่งกำเนิดแสง โดยค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้จะถูกนำมาประมวลเป็นค่าผลลัพธ์วิเคราะห์ปริมาณเอทานอล

2. เหมือนฝัน เอี่ยมศิริ[4] ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเทคนิคนิวเคลียร์สำหรับจำแนก ประเภทของเหลวในภาชนะปิด” โดยทดลองใช้เทคนิคส่งผ่านรังสีแกมมา เทคนิคการกระเจิงกลับของ รังสีแกมมา และเทคนิคนิวตรอน ผลการวิจัยพบว่าการใช้เทคนิคส่งผ่านรังสีแกมมามีความเหมาะสม ในการจำแนกประเภทของเหลวมากที่สุด ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของเหลวที่บรรจุในภาชนะได้โดยไม่ต้องเปิดภาชนะ ในการทดลองนี้ได้ส่งผ่านรังสีแกมมาพลังงานต่างๆ ได้แก่ 22.1, 25.0 และ 88.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV) จากต้นกำเนิดรังสีแกมมาแคดเมียม-109 (Cd-109) และ 55.6 กิโล อิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดรังสีแกมมาอะเมริเซียม-241 (Am-241) ผ่านของเหลวประเภทต่าง ๆ ที่บรรจุขวดพลาสติกพบว่าการใช้รังสีแกมมาพลังงานต่ำคือ 22.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีความไวในการจำแนกประเภทของเหลวได้ดีที่สุด

3. วรารุช ดิยพงศ์พัฒนา และคณะ[5] ทำการวิจัยเรื่อง “แก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับการ ควบคุมคุณภาพแก๊สโซฮอล์” ซึ่งสามารถพัฒนาวิธีแก๊สโครมาโทกราฟีที่มีการตรวจวัดแบบเฟลม ไอออนไนเซชัน (Gas chromatography with flame ionization, GC/FID) โดยใช้คอลัมน์ชนิดโพลี เอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) ขนาด 30 เมตร x 0.32 มิลลิเมตร x 0.25 ไมโครเมตร และ ใช้แก๊สฮีเลียม (He) เป็นตัวพา ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเข้มข้นของเอทานอลในช่วงร้อยละ 1 ถึง 100 โดยปริมาตร มีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรงมากกว่า 0.9997 ความเข้มข้นต่ำสุดที่วัดได้ คือ 0.3 โดยปริมาตร วิธีนี้สามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ครอบคลุมทั้งอี 10 อี 20 และอี 85 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ง่าย สะดวก และมีราคาตรวจวัดถูกกว่าวิธีมาตรฐานตามที่ กฎหมายกำหนด ซึ่งตามกฎหมายประเทศไทยได้กำหนดวิธีมาตรฐานเพื่อตรวจวัดหาปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ คือ วิธีมาตรฐานตาม ASTM D 4815 จะใช้วัดน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10และอี 20 ส่วนวิธีมาตรฐานตาม ASTM D 5501 จะใช้วัดน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85

4. สุนันทา ศรีท้าว และคณะ[6] ได้พัฒนาเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near-infrared spectroscopy, NIR) สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ โดยใช้สมการ มาตรฐานคำนวณแบบ Partial least squares (PLS) จากข้อมูลแถบกลืนแสงในช่วง NIR โดยใช้ Fiber optic probe ที่มีขนาดระยะทางที่แสงผ่านตัวอย่าง 5 มิลลิเมตร พบว่าสมการมาตรฐานที่สร้าง จากแก๊สโซฮอล์จริงจำนวน 51 ตัวอย่าง ให้ผลการทำนายความเข้มข้นของเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ได้

ใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคมาตรฐานตามกฎหมาย (GC) สำหรับแก๊สโซฮอล์ที่มีความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 9.38 , 9.65 และ 10.04 โดยปริมาตร

5. D. Demir และคณะ[7] ศึกษาความสามารถในการดูดกลืนโฟตอน ความเป็นรูพรุน และปริมาณน้ำในดิน โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีแกมมาพลังงาน 60, 356 และ 662 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดรังสีแกมมาอะเมริเซียม-241 แบเรียม-133 (Ba-133) และซีเซียม-137 (Cs-137) ตามลำดับ ใช้หัววัดผลึกซิลทิลเลชันโซเดียมไอโอไดต์ (แทลเลียม) (Scintillation NaI(Tl) detector) ในการวัดวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในตัวอย่างดินที่เติมน้ำในปริมาณต่าง ๆ พบว่ารังสีแกมมาพลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ สามารถแสดงความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลในแต่ละตัวอย่างได้ดีกว่ารังสีแกมมาพลังงานอื่นๆ





## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 น้ำมันแก๊สโซฮอล์

“น้ำมันแก๊สโซฮอล์ หมายความว่า[8] น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับเอทานอลแปลงสภาพ” โดยเอทานอลแปลงสภาพเป็นเชื้อเพลิงที่ได้จากการย่อยสลายแป้งและน้ำตาลด้วยเอนไซม์ สูตรเคมีของเอทานอลคือ  $C_2H_5OH$  ซึ่งต้องทำการกลั่นให้มีความบริสุทธิ์สูง 99.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำไปเติมสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) จำนวน 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าการแปลงสภาพ (Denature) เพื่อป้องกันการลักลอบนำเอทานอลไปบริโภค

#### 2.2 ที่มาของแก๊สโซฮอล์ในประเทศไทย[9], [10]

แก๊สโซฮอล์เกิดขึ้นจากแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวเมื่อคราวที่เสด็จพระราชดำเนินทรงตรวจเยี่ยมโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ในปีพุทธศักราช 2528 โดยมีพระราชกระแสรับสั่งให้ทำการศึกษาต้นทุนการผลิตแอลกอฮอล์ (เอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล) จากอ้อย เนื่องจากทรงเล็งเห็นว่าในอนาคตอาจเกิดเหตุการณ์น้ำมันขาดแคลนหรืออ้อยราคาตกต่ำ การนำอ้อยมาแปรรูปเป็นแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะแก้ไขปัญหานี้ได้ พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวได้พระราชทานเงินทุนวิจัยใช้ในการดำเนินงาน 925,500 บาท เพื่อใช้ในการจัดสร้างอาคารและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในขั้นต้น โดยในปี พ.ศ. 2529 โครงการส่วนพระองค์ได้เริ่มผลิตแอลกอฮอล์จากอ้อย หลังจากนั้นได้มีหน่วยงานภาครัฐและเอกชนให้ความร่วมมือในการพัฒนาแอลกอฮอล์ที่ใช้เติมรถยนต์อย่างต่อเนื่อง จนเมื่อปี พ.ศ.2539 โครงการส่วนพระองค์ฯ ร่วมกับการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้นำแอลกอฮอล์ที่โครงการส่วนพระองค์ผลิตได้จากเดิมบริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ ไปกลั่นซ้ำจนได้ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาผสมกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ในอัตราแอลกอฮอล์ 1 ส่วน น้ำมันเบนซิน 9 ส่วน เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แล้วนำมาทดลองใช้กับรถยนต์เบนซินในโครงการส่วนพระองค์ฯ เมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2543 มีพระราชดำรัสพระราชทานแก่คณะบุคคลที่เข้าเฝ้าฯ ถวายพระพรในโอกาสวันเฉลิมพระชนมพรรษา ณ ศาลาดุสิตาลัย สวนจิตรลดา พระราชวังดุสิต พระองค์ทรงเน้นถึงการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันเบนซินได้เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ได้โดยไม่มีผลเสียต่อเครื่องยนต์ และช่วยลดมลพิษทางอากาศด้วย รวมทั้งเอทานอลก็สามารถผลิตได้ในประเทศจากพืชผลทางการเกษตร ซึ่งเป็นการช่วยเหลือเกษตรกร และเงินทองก็หมุนเวียนภายในประเทศ

### 2.3 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอล[8]

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตเอทานอลสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. วัตถุดิบประเภทแป้ง ได้แก่ ผลผลิตทางการเกษตรพวกธัญพืช เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่าง และพวกพืชหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศ เป็นต้น
2. วัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น อ้อย กากน้ำตาล บีทรูท ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น
3. วัตถุดิบประเภทเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด รำข้าว เศษไม้ เศษกระดาษ ชีลื้อย วัชพืช รวมทั้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานกระดาษ เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ปริมาณเอทานอลที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบแต่ละประเภท (ลิตร/ตัน)

วัตถุดิบ	จำนวน (ตัน)	ปริมาณเอทานอลที่ได้ (ลิตร)
อ้อย	1	70
กากน้ำตาล	1	260
มันสำปะหลัง	1	180
ข้าว/ข้าวโพด	1	400
ข้าวฟ่างหวาน	1	76

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีพืชพลังงานหลายชนิดที่สามารถนำมาผลิตเอทานอลได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวฟ่างหวาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามในมุมมองด้านความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ วัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมเอทานอลในปัจจุบัน ได้แก่ มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล โดยการหีบอ้อย 1 ตัน จะได้กากน้ำตาล 45 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 4.5 ของปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ

### 2.4 มาตรฐานเอทานอลแปลงสภาพ[8], [11]

กรมธุรกิจพลังงานได้ออกประกาศเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของเอทานอลแปลงสภาพ พ.ศ. 2548 โดยได้กำหนดนิยาม “เอทานอลแปลงสภาพ หมายความว่า เอทานอลที่ได้ผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงตามสูตรการแปลงสภาพที่กรมสรรพสามิตกำหนด สำหรับใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์” ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์ และผู้บริโภคเกิดความมั่นใจได้ว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ผลิตออกจำหน่ายจะมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด เอทานอลที่นำมาใช้ผสมกับน้ำมันเบนซินเพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ต้องผ่านการแปลงสภาพก่อน โดยการผสมเบนซินออกเทน 91 ลงไปในเอทานอลประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการนำไปบริโภค

มาตรฐานคุณภาพเอทานอลแปลงสภาพในประเทศไทยได้กำหนดขึ้นโดยอ้างอิงจากมาตรฐานเอทานอลของประเทศบราซิล อเมริกา และยุโรป โดยมีข้อกำหนดคุณภาพ ดังนี้

2.4.1 ปริมาณเอทานอลและแอลกอฮอล์ชนิดอื่นที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมสูงกว่าเอทานอล (Ethanol plus higher saturated alcohols, % vol.) ตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.0 โดยปริมาตร

2.4.2 โมโนแอลกอฮอล์ชนิดอื่นที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมตั้งแต่ 3-5 อะตอม (Higher saturated C<sub>3</sub>-C<sub>5</sub> mono alcohol, % vol.) ตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณไม่สูงกว่าร้อยละ 2.0 โดยปริมาตร

2.4.3 เมทานอล (Methanol, % vol.) เมทานอลเป็นสารอันตรายและปนเปื้อนมาจากกระบวนการผลิตเอทานอล โดยปกติจะถูกกำหนดให้มีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ หากมีเมทานอลมากเพียงพอจะทำให้มีความหนืดต่อการรวมตัวกับน้ำลดลง และเพิ่มค่าแรงดันไอของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผสมระหว่างน้ำมันเบนซินกับเอทานอล กรณีที่มีเมทานอลความบริสุทธิ์ต่ำจะสามารถรักษา ระดับของน้ำมันสนและน้ำมันดิน (Tar) ซึ่งจะกักร่อนโลหะให้ผุพังหรือทำให้ยางเสื่อมสภาพได้ ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D 4806 และ ASTM D 5798 แนะนำให้มีปริมาณเมทานอลได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร ซึ่งตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณเมทานอลไม่สูงกว่าร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร

2.4.4 ยางเหนียว (Solvent-washed gum, mg/100 ml.) หมายถึงส่วนของวัสดุที่ไม่ระเหย และสะสมอยู่บริเวณผิวหน้าของคาร์บูเรเตอร์ (Carburetor) หัวฉีดน้ำมัน ท่อส่งน้ำมันเชื้อเพลิง และ วาล์ว (Valve) ต่างๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการอุดตันตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณยางเหนียวไม่สูงกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

2.4.5 น้ำ (Water, % wt.) ปริมาณน้ำสะสมในเอทานอลเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลเป็นส่วนผสม โดยหากเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนของเอทานอลในปริมาณน้อยจะสามารถเกิดการรวมตัวระหว่างเอทานอลกับน้ำได้ง่าย โดยเฉพาะน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศและกระจายอยู่ทั่วไปในระบบ ดังนั้นจำเป็นต้องควบคุมปริมาณน้ำสะสมในเอทานอล เพื่อป้องกันการแยกชั้นระหว่างน้ำมันเบนซินกับเอทานอล ซึ่งความสามารถในการรวมตัวกับน้ำของเอทานอลจะขึ้นอยู่กับปริมาณเอทานอลที่ผสมอยู่ โดยหากปริมาณเอทานอลที่ผสมมีมากจะทำให้มีความสามารถในการทนต่อการรวมตัวกับน้ำได้มากกว่า นอกจากนี้ความสามารถในการรวมตัวระหว่างน้ำกับเอทานอลยังขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

อุณหภูมิในการผสมระหว่างน้ำมันเบนซินและเอทานอล ที่การผสมด้วยอุณหภูมิสูงจะทนต่อการรวมตัวกับน้ำได้มากกว่า และที่อุณหภูมิต่ำแม้ว่าจะมีน้ำปริมาณเล็กน้อยเกิดขึ้นในน้ำมันที่ผสมระหว่างน้ำมันเบนซินและเอทานอลก็สามารถทำให้เกิดการรวมตัวกันของน้ำและเอทานอลได้ ส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันเบนซินกับเอทานอล โดยชั้นบนจะเป็นชั้นของน้ำมันเบนซินและชั้นล่างจะเป็นชั้นที่ประกอบด้วยเอทานอล

น้ำและสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic) การแยกชั้นของน้ำมันเชื้อเพลิงจะเป็นปัญหารุนแรงต่อการทำงานของเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยประกายไฟ ในน้ำมันเบนซินพื้นฐานหากมีสารอะโรมาติกมากจะทนการรวมตัวกับน้ำได้มากกว่า ซึ่งตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณน้ำไม่สูงกว่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนัก

2.4.6 คลอไรด์อนินทรีย์ (Inorganic chloride, mg/L) สำหรับสารคลอไรด์ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตเอทานอลและบางกรณีจะเกิดจากกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric) ซึ่งถูกนำมาใช้ในการผลิตเอทานอล อีออนของคลอไรด์จะเป็นตัวการที่กัดกร่อนโลหะที่เป็นส่วนประกอบในรถยนต์ เช่น โลหะที่เป็นส่วนประกอบในระบบท่อไอเสีย และอุปกรณ์การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้น จึงควรต้องควบคุมให้มีปริมาณน้อยที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ซึ่งตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณคลอไรด์อนินทรีย์ไม่สูงกว่าร้อยละ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.7 ทองแดง (Copper, mg/kg) สำหรับสารทองแดงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) ของไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดยางเหนียวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยจากการทดสอบของ ASTM แสดงให้เห็นว่าถ้ามีสารทองแดงมากกว่า 0.012 ส่วนในล้านส่วน (Part per million, ppm) ในน้ำมันเบนซิน จะทำให้เกิดยางเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ ASTM เสนอแนะไว้ว่าควรต้องกำหนดควบคุมทองแดงในเชื้อเพลิงเอทานอลไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณทองแดงไม่สูงกว่า 0.07 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

2.4.8 ความเป็นกรดคำนวณเป็นกรดอะซิติก (Acidity as acetic acid, mg/L) สารที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะทำให้เกิดการกัดกร่อนโลหะได้ง่าย จึงจำเป็นต้องควบคุมให้มีปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งตามกฎหมายได้กำหนดให้มีปริมาณความเป็นกรดคำนวณเป็นกรดอะซิติก ไม่สูงกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.9 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) สภาพความเป็นกรดของเชื้อเพลิงจะทำความเสียหายกับชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ กฎหมายจึงกำหนดให้มีความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 6.5 ถึง 9.0

2.4.10 สภาพตัวนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity,  $\mu\text{s}/\text{m}$ ) สภาพตัวนำไฟฟ้า เอทานอลที่มีการนำไฟฟ้าสูงเกินไปจะทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ใช้รถยนต์ ตามกฎหมายได้กำหนดให้สภาพตัวนำไฟฟ้าไม่สูงกว่า 500 ไมโครซีเมนส์ต่อเมตร

2.4.11 ลักษณะที่ปรากฏ (Appearance) เป็นของเหลวใส ไม่ขุ่น ไม่แยกชั้น และไม่มีสารแขวนลอย สามารถตรวจพินิจได้ด้วยสายตา

2.4.12 สารเติมแต่ง (Additive) ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน

## 2.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำมันแก๊สโซฮอล์[2], [8], [12]

มาตรฐานคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้มีการกำหนดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี 2545 โดยกรมทะเบียนการค้า กระทรวงพาณิชย์ ซึ่งปัจจุบันได้แยกส่วนเป็นกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน ในขณะนั้นมีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์เพียง 1 ชนิด คือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ ออกเทน 95 และได้กำหนดปริมาณเอทานอลสูงสุดที่ใช้ผสมในน้ำมันไว้ที่ 10-12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปัจจุบันกรมธุรกิจพลังงานได้ออกประกาศเรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พ.ศ.2557 โดยกำหนดให้มีน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 3 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 คือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับเอทานอลแปลงสภาพในสัดส่วน 90 ต่อ 10 โดยปริมาตร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 และน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95

กลุ่มที่ 2 น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 คือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับเอทานอลแปลงสภาพในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยปริมาตร

กลุ่มที่ 3 น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 คือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานกับเอทานอลแปลงสภาพในสัดส่วน 15 ต่อ 85 โดยปริมาตร

โดยได้กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ไว้ในรายละเอียดแนบท้ายประกาศ เช่น

2.5.1 ค่าออกเทนโดยวิธีวิจัย (Research octane number, RON) ค่าออกเทน หมายถึง คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงที่แสดงถึงความสามารถด้านการต้านทานการเกิดการติดไฟได้เอง หรือนักยหนึ่ง คือ การต้านทานการชิงจุดระเบิดก่อนเวลาที่กำหนดในเครื่องยนต์เบนซิน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีเลขค่าออกเทนสูงจะเกิดการน็อค (Knock) ในเครื่องยนต์ได้ยากกว่าน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีเลขค่าออกเทนต่ำ เครื่องยนต์ที่มีอัตราส่วนการอัดของลูกสูบสูงจึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันที่มีค่าออกเทนสูงด้วย การน็อคทำให้เครื่องยนต์ไม่มีกำลัง ซึ่งตามกฎหมายได้กำหนดค่าออกเทนโดยวิธีวิจัยที่ผู้ผลิตจำหน่าย ณ จุดส่งมอบไว้ดังนี้

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 กำหนดค่าออกเทนไม่ต่ำกว่า 91.0

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 กำหนดค่าออกเทนไม่ต่ำกว่า 95.0

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 กำหนดค่าออกเทนไม่ต่ำกว่า 95.0

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 กำหนดค่าออกเทนไม่ต่ำกว่า 95.0

2.5.2 ตะกั่ว (Lead, g/L) ปัจจุบันกฎหมายกำหนดห้ามการเติมตะกั่วในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทนโดยให้ใช้เอทานอลทดแทนแล้วก็ตาม แต่ตะกั่วที่พบในน้ำมันแก๊สโซฮอล์อาจจะปนเปื้อนมากับน้ำมันดิบโดยกระบวนการผลิตไม่สามารถกำจัดได้หมด และเนื่องจากตะกั่วเป็นสารก่อมลพิษอากาศและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต กฎหมายจึงกำหนดมาตรฐานควบคุมปริมาณตะกั่วไม่สูงกว่า 0.005 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร

2.5.3 กำมะถัน (Sulphur, % wt.) เมื่อกำมะถันในน้ำมันถูกเผาไหม้จะสามารถกัดกร่อนเครื่องยนต์ให้สึกหรอ นอกจากนั้นยังเป็นฝุ่นทำให้เครื่องยนต์สกปรกและเป็นตัวก่อมลพิษทางอากาศ ซึ่งตามกฎหมายกำหนดปริมาณมาตรฐานควบคุมปริมาณกำมะถันไม่สูงกว่า 0.005 ของร้อยละโดยน้ำหนัก

2.5.4 ฟอสฟอรัส (Phosphorus, g/L) ฟอสฟอรัสมักจะมาจากการเติมสารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันเบนซิน สามารถทำให้เครื่องกรองไอเสียชำรุดเสียหาย ซึ่งตามกฎหมายกำหนดปริมาณมาตรฐานควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสไม่สูงกว่า 0.0013 กรัมต่อน้ำมัน 1 ลิตร

2.5.5 การกัดกร่อนแผ่นเงิน (Silver strip corrosion) น้ำมันที่มีสิ่งปนเปื้อน เช่น กำมะถัน จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะ ทำให้เกิดเครื่องยนต์สึกหรอ ค่าการกัดกร่อนเป็นตัวบ่งชี้การสึกหรอของเครื่องยนต์ ซึ่งตามกฎหมายกำหนดปริมาณมาตรฐานควบคุมการกัดกร่อนแผ่นเงินไม่สูงกว่าหมายเลข 1 (ตาม ASTM D 4814 ANNEX A)

2.5.6 เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability, minutes) เป็นค่าที่บ่งถึงความสามารถของน้ำมันที่จะเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วได้อย่างเหนียว ซึ่งมีผลกระทบต่อไอดี

ห้องเผาไหม้และการเก็บสำรองน้ำมัน ซึ่งตามกฎหมายกำหนดเสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ต่ำกว่า 360 นาที

2.5.7 ยางเหนียว (Solvent washed gum, mg/100 mL) ตามกฎหมายกำหนดปริมาณของยางเหนียวไม่สูงกว่า 4 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร สำหรับน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 และอี 20 ส่วนน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ได้กำหนดปริมาณมาตรฐานของยางเหนียวไม่สูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร

2.5.8 การกลั่น (Distillation, °C) เป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกว่าน้ำมันมีองค์ประกอบส่วนหนักเบาอย่างไร จะถูกเผาไหม้ได้ในลักษณะใด ต่อเนื่องแค่ไหน เช่น ถ้ามีส่วนเบาน้อยจะจุดสตาร์ทยาก ถ้า น้ำหนักค่อย ๆ ละเอียดอย่างสม่ำเสมอเมื่อค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น การเผาไหม้ก็จะต่อเนื่อง เครื่องยนต์ก็จะเดินได้ราบเรียบ อัตราการระเหยของน้ำมันจึงมีผลต่อการสตาร์ทของเครื่องยนต์ การเร่งเครื่องยนต์ และการผลต่อการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง ตามกฎหมายได้กำหนดค่าการกลั่นไว้ซึ่งสามารถดูได้จาก รายละเอียดแนบท้ายประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พ.ศ.2557

2.5.9 ความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส (Vapor pressure at 37.8 °C, kPa) ความดันไอของน้ำมันแก๊สโซฮอล์มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ คือ ถ้าความดันไอน้ำมันมีค่าต่ำจะทำให้การสตาร์ทเครื่องยนต์ติดยากในขณะที่เครื่องเย็น หากความดันไอน้ำมันสูงเกินไปจะทำให้เกิดกรณี น้ำมันระเหยเป็นไอในท่อส่งน้ำมันทำให้ปั๊มไม่สามารถสูบน้ำมันให้ไหลต่อไปได้ เกิดการขาดตอนของน้ำมันในคาร์บูเรเตอร์กระตุกหรือดับ กฎหมายจึงกำหนดปริมาณมาตรฐานความดันไอ ณ อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ไว้ดังนี้

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 ค่าความดันไอไม่สูงกว่า 62 กิโลปาสคาล (Kilopascal, kPa)

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 ค่าความดันไอไม่สูงกว่า 62 กิโลปาสคาล

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 ค่าความดันไอไม่สูงกว่า 64 กิโลปาสคาล

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 ค่าความดันไอ 35-70 กิโลปาสคาล

2.5.10 เบนซีน (Benzene, % vol.) เบนซีนเป็นสารจำพวกอะโรมาติกส์ที่มีค่าออกเทนสูง แต่มีพิษต่อระบบทางเดินหายใจและสมอง การสูดดมสารนี้เป็นระยะเวลาสั้น ๆ อาจเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง ตามกฎหมายกำหนดปริมาณมาตรฐานปริมาณเบนซีนไม่สูงกว่าร้อยละ 1 โดยปริมาตร

2.5.11 สารอะโรมาติก (Aromatics, % vol.) แม้สารอะโรมาติกจะมีค่าของออกเทนสูง แต่ก็มีสารอะโรมาติกบางตัว เช่น เบนซีน โพลีไซคลิกอะโรมาติก (Polycyclic aromatic) จะก่อให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง นอกจากนี้แล้ว การเผาไหม้ของน้ำมันที่มีสารอะโรมาติกสูงจะทำให้มีเขม่าปริมาณสูงและหากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดไอเสียที่มีสารอะโรมาติกสูง ตามกฎหมายกำหนดปริมาณมาตรฐานปริมาณอะโรมาติกไม่สูงกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร

2.5.12 โอลิฟิน (Olefins, % vol.) ตามกฎหมายกำหนดปริมาณมาตรฐานปริมาณสารโอลิฟินไม่สูงกว่าร้อยละ 18 โดยปริมาตร

2.5.13 สี (Color) โดยปกติเนื่อน้ำมันเบนซินเองไม่มีสี แต่ผู้ประกอบการใส่สีลงไปเพื่อให้สามารถแยกแยะชนิดของน้ำมันได้ง่ายและป้องกันการปลอมปน ปัจจุบันกฎหมายกำหนดให้แก๊ส

โซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 มีสีเขียวก แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 มีสีส้ม แก๊สโซฮอล์อี 20 มีสีน้ำตาล และแก๊สโซฮอล์อี 85 มีสีม่วง

2.5.14 น้ำ (Water, % wt.) น้ำมีผลทำให้น้ำมันเสื่อมคุณภาพเร็ว ทำให้เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ และเกิดการแยกชั้นของน้ำมันเชื้อเพลิงจากการที่น้ำรวมตัวกับเอทานอล ตามกฎหมายกำหนด ปริมาณน้ำไม่สูงกว่าร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก

2.5.15 ปริมาณเอทานอลแปลงสภาพ (Denatured Ethanol, %vol.)

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 กำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพ 9-10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 กำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพ 9-10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 กำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพ 19-20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 กำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพไม่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

2.5.16 สารออกซิเจนเนต (Oxygenates) ปัจจุบันประเทศไทยได้ใช้เอทานอลทดแทนการใช้ สารเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ (Methyl tertiary butyl ether, MTBE) ในน้ำมันชนิดแก๊สโซฮอล์ เอทานอลและเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ ต่างเป็นสารออกซิเจนเนตที่ใช้เติมลงในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทนและเพิ่มปริมาณออกซิเจน ซึ่งจะทำให้น้ำมันเบนซินมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เป็นการเพิ่มกำลังให้กับเครื่องยนต์ และลดมลพิษที่ปล่อยออกมาจากไอเสีย ค่าออกเทนของเอทานอลมีค่าประมาณ 120-135 ส่วนเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์จะมีค่าออกเทนประมาณ 115-123 ดังนั้น การใช้เอทานอลผสมลงในน้ำมันเบนซินจะไม่ทำให้น้ำมันเบนซินมีค่าออกเทนแตกต่างจากการใช้เมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ อีกทั้งยังช่วยประหยัดเงินตราต่างประเทศในการนำเข้าเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ และช่วยป้องกันมลพิษจากการปนเปื้อนของเมทิลเทอเทียรีบิวทิลอีเทอร์ที่ซึมสู่แหล่งน้ำใต้ดิน

2.5.17 ลักษณะทั่วไปที่ปรากฏ ตามกฎหมายกำหนดให้ เป็นของเหลวใส ไม่ขุ่น ไม่แยกชั้น และไม่มีสารแขวนลอย โดยตรวจพินิจได้ด้วยสายตา

2.5.18 สารเติมแต่ง การเติมสารเพิ่มคุณภาพลงในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน สารเหล่านี้ ได้แก่

- สารทำความสะอาด จะทำการช่วยชะล้างสิ่งสกปรกที่ตกค้างในระบบน้ำมันเชื้อเพลิงและช่วยรักษาคาร์บูเรเตอร์ให้สะอาดอยู่เสมอ

- สารต้านการรวมตัวกับอากาศ จะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำมันเบนซินรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศเพื่อป้องกันการเกิดยางเหนียว ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบน้ำมันเชื้อเพลิง

- สารป้องกันสนิมและการกัดกร่อน จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดสนิมอุดตันไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงที่คาร์บูเรเตอร์

## 2.6 คุณสมบัติของแอลกอฮอล์และน้ำมันเบนซิน[13], [14]

### 2.6.1 เอทานอล

เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) สามารถละลายน้ำและน้ำมันได้ดี มีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ติดไฟง่าย มีความไวไฟและค่าออกเทนสูง ใช้ในการผลิตเครื่องดื่ม เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ผลิตภัณฑ์ เป็นตัวทำละลาย เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน และผลิตเครื่องสำอาง

### 2.6.2 น้ำมันเบนซิน

น้ำมันเบนซินเป็นสารอินทรีย์ สถานะของเหลวไม่มีขั้วจึงไม่สามารถละลายในน้ำ มีลักษณะเป็นของเหลว ติดไฟง่าย เป็นสารระเหยง่าย และมีความไวไฟสูง ใช้ผสมกับเอทานอลแปลงสภาพเพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของเอทานอล และน้ำมันเบนซิน

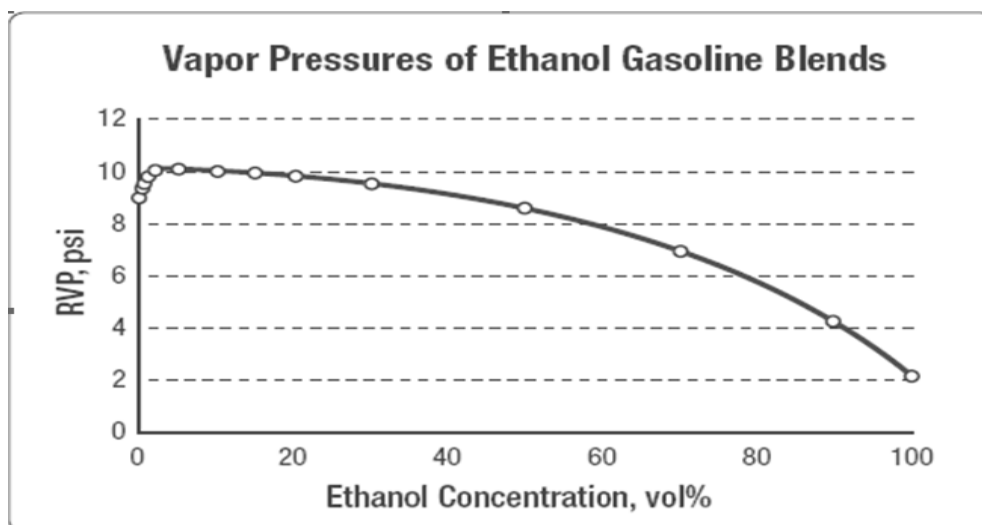
คุณสมบัติ	เอทานอล[13]	น้ำมันเบนซิน[14]
จุดเดือด (°C)	78	60-199
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1) ที่ 20 °C	0.789	0.710 - 0.747
ความหนาแน่น (อากาศ = 1)	1.6	3-4
ความดันไอ ที่ 20 °C (kPa)	5.73	53.33
จุดวาบไฟ (°C)	13	-37.8
จุดลุกติดไฟตัวเอง (°C)	363	456
LEL %	3.3	1.4
UEL %	19	7.4
ความสามารถในการละลายน้ำ (กรัมต่อ 100 มล.)	100	ไม่ละลายน้ำ
ความเป็นพิษ LC <sub>50</sub> (มก./ม <sup>3</sup> .)	>10,000	300,000 (หนู)

## 2.7 คุณสมบัติของน้ำมันแก๊สโซฮอล์

### 2.7.1 ความดันไอ[15]

ความดันไอของเอทานอลต่ำกว่าน้ำมันเบนซินมาก การผสมเอทานอลลงในน้ำมันเบนซินในสัดส่วนไม่เกินร้อยละ 5 จะทำให้ความดันไอของน้ำมันแก๊สโซฮอล์เพิ่มขึ้น และจะค่อย ๆ ลดลงตามสัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลโดยตรงให้ความดันไอเพิ่มขึ้นด้วย โดยค่าความดันไอจะแสดงความสามารถในการระเหย กล่าวคือของเหลวที่มีค่าความดันไอมากก็จะระเหยได้มากกว่าของเหลวที่มีค่าความดันไอน้อยกว่า





รูปที่ 2.1 ค่าความดันไอของแก๊สโซฮอล์ที่ความเข้มข้นเอทานอลต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส[15]

#### 2.7.2 ค่าพลังงานความร้อนและค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรค[16]

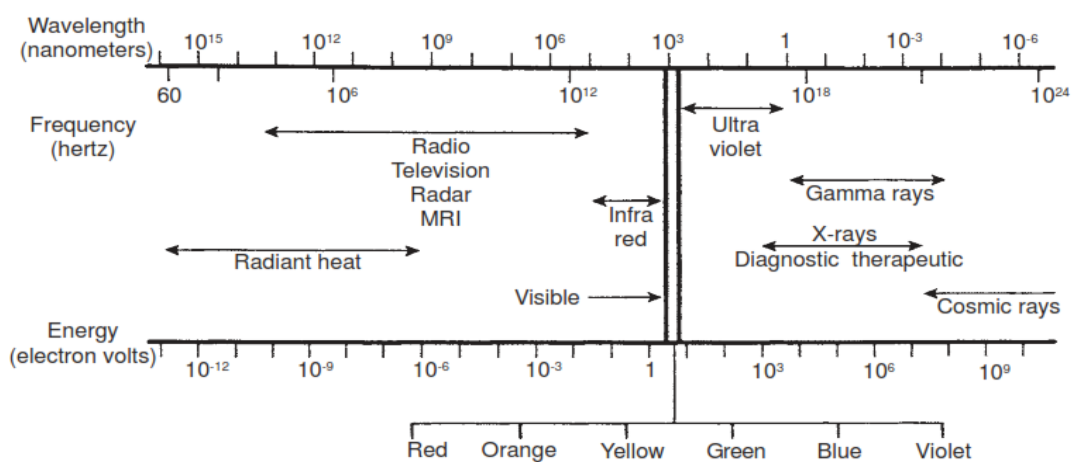
ค่าพลังงานความร้อนของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่เกิดจากการผสมระหว่างน้ำมันเบนซิน 91 กับ เอทานอล 99.9 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนโดยปริมาตร เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซิน 91 พบว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันเบนซิน 91 หาก น้ำมันแก๊สโซฮอล์มีอัตราส่วนผสมของเอทานอลเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าพลังงานความร้อนของ เชื้อเพลิงลดลง ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ โดยทดสอบด้วยเครื่องยนต์ แก๊สโซลีน ยี่ห้อโตโยต้า รุ่น 4S-FE 4 สูบ ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ และที่สภาวะเปิด ปีกผีเสื้อเต็มที่

น้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าความร้อนของ เชื้อเพลิง (Gross Calorific Value, Ho หน่วย J/g)	ร้อยละค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง จำเพาะเบรคเฉลี่ยทุกความเร็วรอบ ของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ เทียบกับ น้ำมันเบนซิน 91
เบนซิน 91	42,208.62	-
เอทานอล	29,304.00	-
แก๊สโซฮอล์ 9:1	40,985.60	7.51
แก๊สโซฮอล์ 8:2	39,782.86	15.2
แก๊สโซฮอล์ 5:5	34,932.94	39.39
แก๊สโซฮอล์ 2:8	31,580.53	66.66

## 2.8 รังสีเอกซ์[17], [18]

รังสีเอกซ์เป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่นและอนุภาค โดยมีคุณสมบัติเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง ทะลุทะลวงผ่านวัตถุต่าง ๆ ได้ดี ไม่ถูกทำให้เบี่ยงเบนโดยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า สามารถทำให้วัตถุบางอย่างเรืองแสงได้ เป็นรังสีก่อไอออน ทำให้เกิดรอยดำบนแผ่นฟิล์มถ่ายรูปได้ และเป็นรังสีประเภทคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับรังสีแกมมา แต่มีช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่ารังสีแกมมา คือประมาณ 0.01 – 100 อังสตรอม (Å) ซึ่งเหล่านี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า[18]

แต่มีคุณสมบัติอื่นที่ไม่สามารถใช้คุณสมบัติของคลื่นอธิบายได้ เช่น การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานในอะตอมหรือโมเลกุล โดยความแตกต่างเฉพาะชั้นพลังงานมีค่าเฉพาะค่าหนึ่ง ซึ่งรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ต้องมีพลังงานเท่ากับค่านี้หรือมากกว่า คุณสมบัตินี้จึงทำให้รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าถูกมองเป็นอนุภาค ในแง่ของอนุภาค รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องมีพลังงานกำกับไปด้วยค่าหนึ่งเสมอ โดยสมการที่รวมคุณสมบัติของความเป็นคลื่นและอนุภาคเข้าไว้ด้วยกัน และสามารถคำนวณเพื่อเปลี่ยนค่าเฉพาะของคุณสมบัติแต่ละประเภทไปมาได้แสดงในสมการ

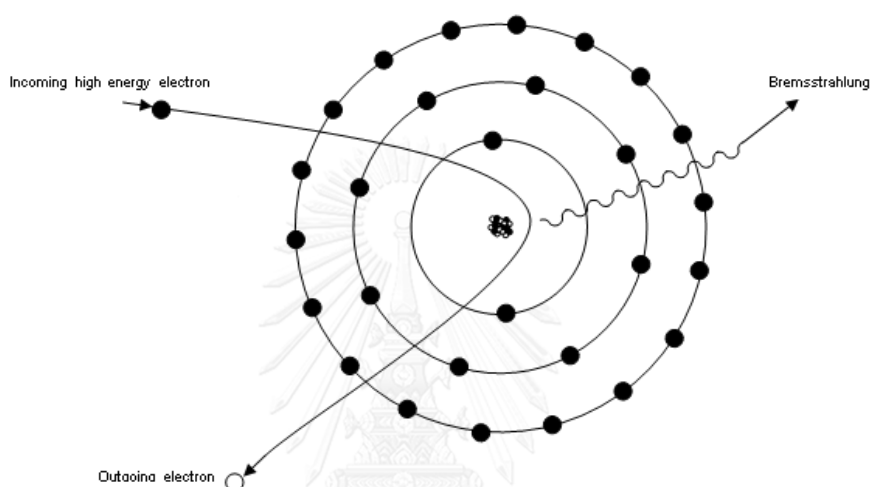
$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12.396}{\lambda}$$

เมื่อ	E	คือ พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (J)
	h	คือ ค่าคงที่ของพลังค์ $6.626 \times 10^{-34}$ (J·s)
	c	คือ ความเร็วแสง $2.997 \times 10^8$ (m/s)
	$\lambda$	คือ ความยาวคลื่น (m)

### 2.8.1 ประเภทของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์มี 2 ประเภทคือ รังสีเอกซ์ที่มีลักษณะของสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง และรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะของสเปกตรัมแบบเฉพาะตัว

2.8.1.1 รังสีเอกซ์ที่มีลักษณะของสเปกตรัมแบบต่อเนื่องได้มาจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์โดยการเร่งให้อนุภาคมีประจุวิ่งเข้าชนเป้าโลหะ เช่นอิเล็กตรอนให้มีความเร็วสูงวิ่งเข้าชนเป้าโลหะ เมื่ออิเล็กตรอนสูญเสียความเร็วก็จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะของสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่าเบรมส์ชตราลุง (Bremsstrahlung)



รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่อง หรือ Bremsstrahlung

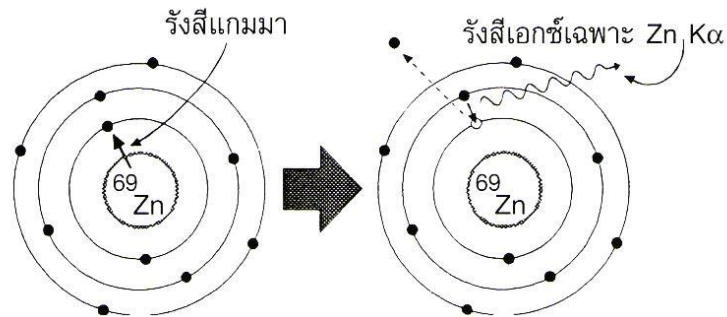
2.8.1.2 รังสีเอกซ์ที่มีลักษณะของสเปกตรัมแบบเฉพาะตัว หรือรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ได้มาจากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสีซึ่งเป็นการกระตุ้นโดยอาศัยพลังงานจากภายในอะตอม โดยเกิดการเปลี่ยนชั้นวงโคจรของอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงานสูงกว่ามายังชั้นพลังงานต่ำกว่า การเปลี่ยนชั้นพลังงานนี้จะปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว (Characteristic x-rays) นอกจากนี้ยังมีการเกิดรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะของสเปกตรัมแบบเฉพาะตัวจากการกระตุ้นโดยอาศัยพลังงานจากภายนอกอะตอม ซึ่งสามารถเกิดรังสีเอกซ์ที่มีลักษณะของสเปกตรัมแบบเฉพาะตัวตามชนิดของเป้าโลหะที่ใช้ลดความเร็วของอิเล็กตรอนในเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

#### 2.8.1.2.1 การกระตุ้นโดยพลังงานจากการเปลี่ยนแปลงภายในอะตอม

การกระตุ้นแบบนี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงภายในอะตอม ซึ่งอะตอมในกลุ่มนี้จะเป็นอะตอมของธาตุกัมมันตรังสี ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดเวลาโดยธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์

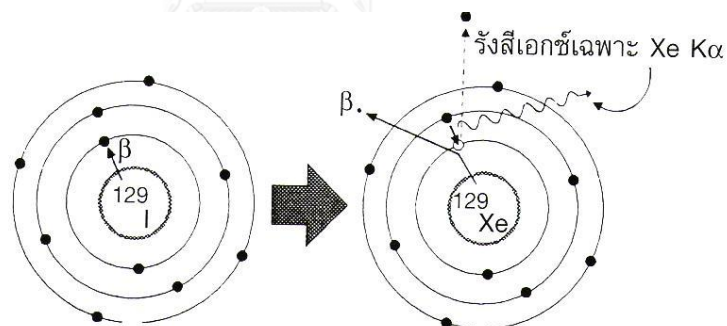
- การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการชนของรังสีแกมมาภายในอะตอมเกิดจากการที่นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีที่อยู่ในสภาวะกระตุ้นปล่อยพลังงานออกมาเพื่ออยู่ในสภาวะพื้น โดยพลังงานที่ปล่อยออกมาจะอยู่ในรูปของรังสีแกมมา ซึ่งเมื่อรังสีแกมมาออกมาจากนิวเคลียสจะมีโอกาสชนและถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนรอบนิวเคลียส จนเมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานมาก

พอจนหลุดจากอะตอม จะเกิดที่ว่างภายในอะตอม อิเล็กตรอนที่อยู่ในชั้นพลังงานสูงกว่าจะเคลื่อนที่ลงมาแทนที่และปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ แสดงในรูปที่ 2.4



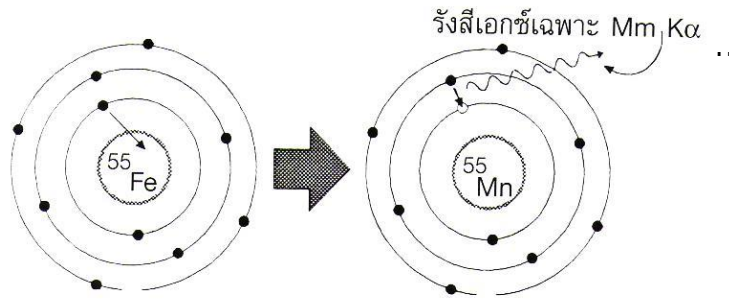
รูปที่ 2.4 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการชนของรังสีแกมมาภายในอะตอม

- การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการชนของอนุภาคเบตาภายในอะตอม นิวเคลียสของธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวโดยให้อนุภาคเบตาออกจากนิวเคลียส เมื่ออนุภาคเบตาออกจากนิวเคลียส มีโอกาสที่จะชนและถ่ายเทพลังงานให้อิเล็กตรอนที่โคจรอยู่รอบอะตอม เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานมากพอ ทำให้หลุดออกจากอะตอม อิเล็กตรอนในชั้นโคจรที่มีพลังงานสูงกว่าจะเคลื่อนที่ลงมาแทนที่พร้อมทั้งปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการชนของอนุภาคเบตาภายในอะตอม

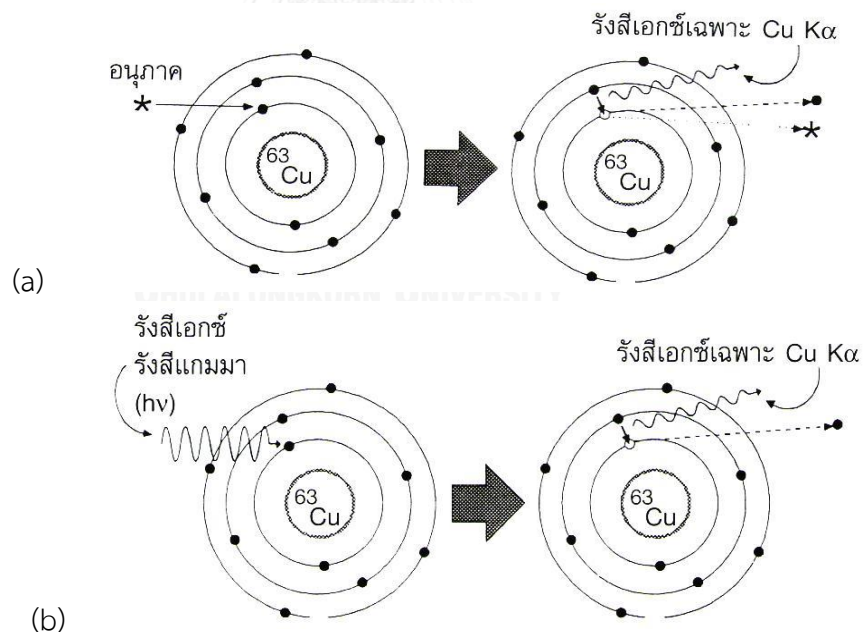
- การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการจับอิเล็กตรอน (Electron capture)  
อิเล็กตรอนที่โคจรอยู่ชั้นในใกล้นิวเคลียสจะถูกจับหรือดึงดูดเข้าสู่ นิวเคลียส ทำให้เกิดที่ว่างขึ้น ซึ่งอิเล็กตรอนในชั้นพลังงานสูงกว่าจะเข้ามาแทนที่แล้วปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวจากการจับอิเล็กตรอน

#### 2.8.1.2.2 การกระตุ้นโดยอาศัยพลังงานจากภายนอกอะตอม

พลังงานจากภายนอกอะตอมอาจอยู่ในรูปของอนุภาคที่มีพลังงานสูงหรือโฟตอน (Photon) โดยเมื่ออนุภาคพลังงานสูงหรือโฟตอนผ่านเข้าไปในอะตอมของธาตุ มีโอกาสที่จะชนและถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในอะตอม เมื่อพลังงานที่ถ่ายเทให้สูงมากพอจนอิเล็กตรอนหลุดจากอะตอม ทำให้เกิดที่ว่างขึ้น อิเล็กตรอนในชั้นระดับพลังงานที่สูงกว่าจะเคลื่อนที่ลงมาแทนที่ว่างในชั้นที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า พร้อมทั้งปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 (a) การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวโดยการกระตุ้นด้วยอนุภาค  
(b) การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวโดยการกระตุ้นด้วยโฟตอน

สังเกตได้ว่ารังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ได้จากการกระตุ้นโดยอาศัยพลังงานภายนอกอะตอมและการสลายตัวแบบการเปลี่ยนแปลงภายใน จะได้รับรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุเดิม แต่รังสีเอกซ์ที่ได้จากการสลายตัวโดยการชนของอนุภาคเบตาและการสลายตัวแบบจับอิเล็กตรอน จะเป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวของธาตุใหม่ เนื่องจากการสลายตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียส

## 2.9 การลดทอนรังสีเอกซ์[19]

การตรวจวัดทางนิวเคลียร์โดยใช้เทคนิคส่งผ่านของรังสีเอกซ์ (Transmission) โดยเมื่อรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางใด ๆ บางส่วนของรังสีเอกซ์จะถูกดูดกลืนโดยอันตรกิริยาต่าง ๆ บางส่วนก็กระเจิงออกไปเหลือเพียงรังสีเอกซ์บางส่วนที่ผ่านออกมาได้ ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการลดทอนรังสีเอกซ์ (Attenuation) โดยปริมาณของรังสีที่ผ่านเข้าสู่หัววัดรังสีจะถูกลดทอนลงตามความหนาของตัวกลาง การลดทอนทางรังสีสามารถอธิบายได้โดยอาศัยสมการของแลมเบิร์ต (Lambert's law)

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

เมื่อ	I	คือ ความเข้มรังสีเอกซ์เมื่อมีตัวกลางขวางกั้น
	$I_0$	คือ ความเข้มรังสีเอกซ์เมื่อไม่มีตัวกลางขวางกั้น
	$\mu$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้น (Linear attenuation coefficient) เมื่อรังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง หน่วยเป็น $\text{cm}^{-1}$
	x	คือ ค่าความหนาตัวกลางที่รังสีเอกซ์เคลื่อนที่ผ่าน หน่วยเป็น cm
	e	คือ ค่าคงตัวยูเลอร์ (Euler's constant) มีค่าเท่ากับ 2.718

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นเป็นค่าที่เกิดต่อหน่วยระยะทาง แต่ในทางปฏิบัติ ปัจจัยของการเกิดอันตรกิริยาของรังสียังมีความหนาแน่นของตัวกลางเข้ามาเกี่ยวข้อง เรียกว่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient)

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นและสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

ในกรณีที่ตัวกลางเป็นสารประกอบหรือวัสดุผสม สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้จากสมการ

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{mix} = \sum_{i=1}^n w_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i = w_1 \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 + w_2 \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2 + \dots + w_n \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_n$$

เมื่อ $\frac{\mu}{\rho}$	คือ	สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
$w_i$	คือ	สัดส่วนน้ำหนักมวลของแต่ละธาตุเทียบกับมวลรวม
$n$	คือ	จำนวนสารประกอบในตัวกลาง

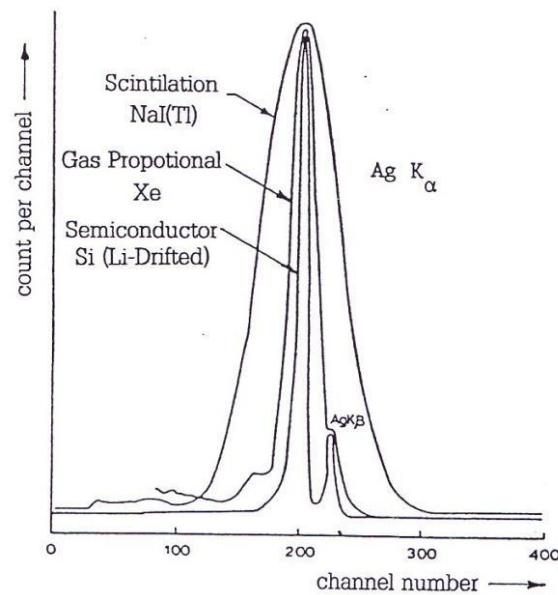
พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจากตารางที่ 2.4 จะสามารถสรุปได้ว่า สำหรับตัวกลางชนิดเดียวกัน ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้นถ้าใช้พลังงานของรังสีเอกซ์ลดลง และพบว่าตัวกลางที่มีความหนาแน่นสูงขึ้นหรือเลขอะตอมสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากรังสีเอกซ์จะทะลุผ่านออกมาได้น้อย

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของธาตุและสารประกอบที่รังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ [20]

ธาตุและสารประกอบ	$\mu/\rho$ ที่รังสีเอกซ์พลังงานต่าง ๆ (keV)				
	5	10	20	40	60
H	0.419	0.385	0.370	0.346	0.326
C	19.120	2.373	0.442	0.208	0.175
Water	42.580	5.329	0.810	0.268	0.206
O	47.900	5.952	0.865	0.259	0.191
P	286.000	40.350	5.352	0.810	0.349
S	348.700	50.120	6.708	0.987	0.405
Pb	730.400	130.600	86.360	14.360	5.021

## 2.10 หัววัดรังสี[19]

หัววัดรังสีสามารถแบ่งตามชนิดของตัวกลางได้ 3 ประเภท คือ หัววัดรังสีชนิดบรรจุแก๊ส (Gas-filled detector) หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน (Scintillation detector) และหัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor detector) คุณสมบัติที่ถูกพิจารณาในการเลือกใช้หัววัดรังสีเพื่อวิเคราะห์พลังงาน คือ ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (Resolution) โดยที่พลังงานรังสีเอกซ์ใกล้เคียงกัน หัววัดทั้ง 3 ประเภท สามารถแจกแจงพลังงานได้ดังสเปกตรัมในรูปที่ 2.8

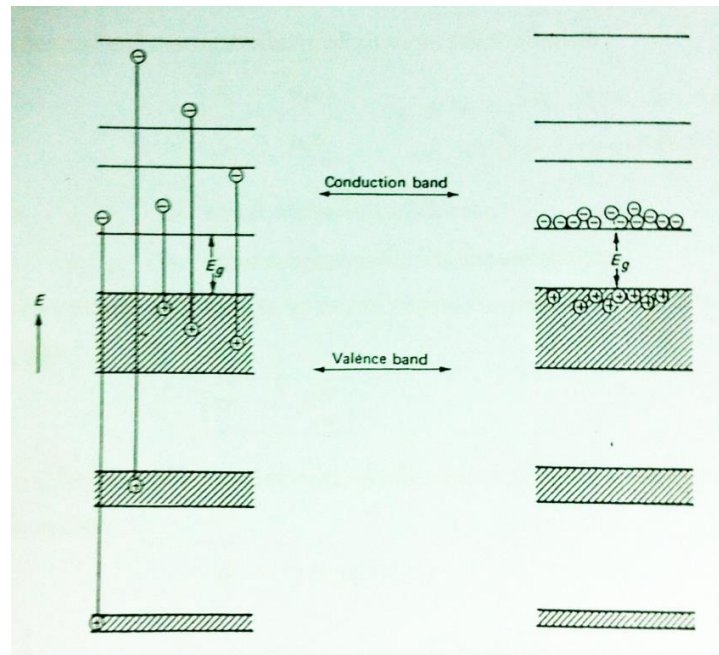


รูปที่ 2.8 สเปกตรัมรังสีเอกซ์ของธาตุเงิน (Ag) ที่ได้จากหัววัดรังสีชนิดต่าง ๆ [19]

หัววัดรังสีแคดเมียมเทลลูไรด์เป็นหัววัดรังสีประเภทสารกึ่งตัวนำ ซึ่งหัววัดรังสีประเภทนี้มีหลักการทำงานคล้ายกับหัววัดบรรจุแก๊สชนิดไอออไนเซชันแชมเบอร์ (Ionization chamber) แตกต่างกันที่ตัวกลางในการถ่ายโอนพลังงานอยู่ในสถานะของแข็ง หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำจะตอบสนองการวัดพลังงานเป็นเชิงเส้นในช่วงกว้าง มีประสิทธิภาพในการวัดสูง เวลาในการตอบสนองการวัดสั้น ไม่มีปัญหาเรื่องการรบกวนของสนามแม่เหล็ก และสามารถทำงานในภาวะสุญญากาศได้ พลังงานในการกำเนิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล (W-value) ต่ำ จึงทำให้มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานสูงกว่าหัววัดรังสีชนิดอื่น ๆ

ในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ของเจอร์มาเนียม (Ge) หรือซิลิกอน (Si) เมื่ออิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ (Valence band) ได้รับความถ่ายโอนพลังงานจากอนุภาคนิวเคลียร์หรือความร้อนเพิ่ม จะยกระดับตัวเองสู่พลังงานที่สูงกว่าในแถบนำกระแส (Conduction band) โดยปล่อยที่ว่างซึ่งแสดงสถานะประจุบวกไว้ เรียกว่า “โฮล” (Hole) เป็นสถานะการไอออไนซ์สร้างคู่อิเล็กตรอน-โฮลขึ้น โดยพลังงานคู่อิเล็กตรอน-โฮลจะเป็นสัดส่วนกับพลังงาน และหลังจากนั้นในเวลาอันสั้น อิเล็กตรอนและโฮลจะรวมตัวกัน (Trap) ที่บริเวณขอบของแถบวาเลนซ์และแถบนำกระแส พร้อมทั้งจะคืนสู่สถานะปกติ (Recombination) กรณีที่ไม่มีการสร้างสนามไฟฟ้าให้กับผลึกกึ่งตัวนำนี้





(a) อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ได้รับพลังงานจากอนุภาคนิวเคลียร์ (b) อิเล็กตรอนและโฮลเรียงตัวในบริเวณแถบพลังงานพร้อมคืนสู่สภาวะปกติ รูปที่ 2.9 การเกิดอิเล็กตรอน-โฮลในสารกึ่งตัวนำขณะวัดรังสี[19]

ข้อเสียของหัววัดรังสีที่มีเจอร์มาเนียมเป็นสารกึ่งตัวนำ[21] คือ ต้องมีการหล่อเย็นหัววัดรังสีตลอดเวลา ในอุณหภูมิที่ต่ำมากและคงที่ (Cryostat) ทำให้ไม่สามารถใช้หัววัดรังสีชนิดเจอร์มาเนียมในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดและประกอบกับราคาในการหล่อเย็นค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) ในการหล่อเย็น จึงมีการพัฒนาหัววัดรังสีประเภทสารกึ่งตัวนำที่สามารถเก็บรักษาและใช้งานได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้แคดเมียมเทลลูไรด์ เมอร์คิวไรโอไอไดต์ ( $\text{HgI}_2$ ) และแคดเมียมซิงค์เทลลูไรด์ ( $\text{CdZnTe}$ ) เป็นสารกึ่งตัวนำ คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำทั้ง 3 ชนิด แสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของซิลิกอน เจอร์มาเนียม แคดเมียมเทลลูไรด์ เมอร์คิวไรโอไอไดต์ และแคดเมียมซิงค์เทลลูไรด์[21]

Material	Atomic number	Energy gap (eV)	Energy needed to form the pair (eV)
Si	14	1.106 (300 K)	3.65 (300 K)
Ge	32	0.67 (77 K)	2.96 (77 K)
CdTe	48 and 52	1.47 (300 K)	4.43 (300 K)
$\text{HgI}_2$	80 and 53	2.13 (300 K)	4.22 (300 K)
$\text{CdZnTe}$	48, 30 and 52	1.64 (300 K)	5.0 (300 K)

### 2.11 สถิติการนับรังสี

การสลายตัวของสารกัมมันตรังสีเป็นแบบสุ่ม (Random) จึงส่งผลให้การวัดจำนวนนับรังสีของการทดลองในแต่ละครั้งไม่เท่ากันหรือไม่ได้ค่าเดียวกันทุกครั้ง ดังนั้น ในการหาค่าสถิติจึงหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล แล้วคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation,  $\sigma$ ) โดยการหารากที่สองของค่าเฉลี่ยข้อมูลนั้น ๆ

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยคำนวณจากสมการ[22]

$$\text{Standard deviation} = \sqrt{\text{Mean value}}$$

การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่านับรังสีที่บวกหรือลบกัน สามารถคำนวณได้จาก

$$\sigma_R^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2$$

การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่านับรังสีที่เป็นสัดส่วนกันหรือคูณกัน สามารถคำนวณได้จาก

$$\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_{N_1}}{N_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{N_2}}{N_2}\right)^2 = \frac{N_1}{N_1^2} + \frac{N_2}{N_2^2}$$

เมื่อ  $N_1$  และ  $N_2$  คือ จำนวนนับรังสีที่ระยะเวลาเท่ากัน  
 $R$  คือ  $\frac{N_1}{N_2}$  หรือ  $N_1 \times N_2$

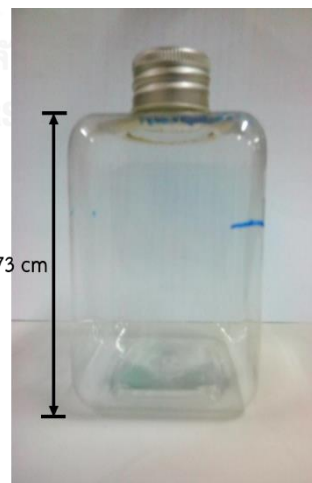
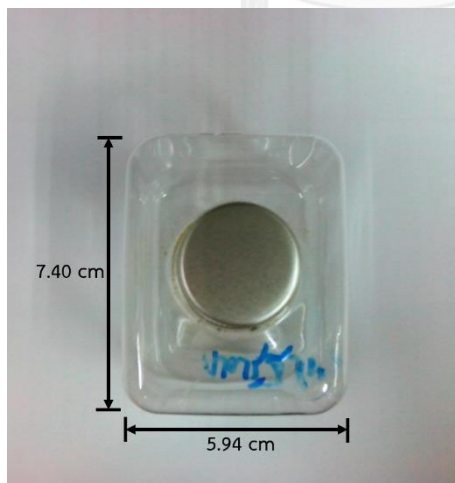
ตารางที่ 2.6 ค่าความเชื่อมั่นของการนับรังสีที่ระดับความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ กัน[23]

Error Range	Confidence Level
$\pm 1\sigma$	68.3%
$\pm 2\sigma$	95.0%
$\pm 3\sigma$	99.7%

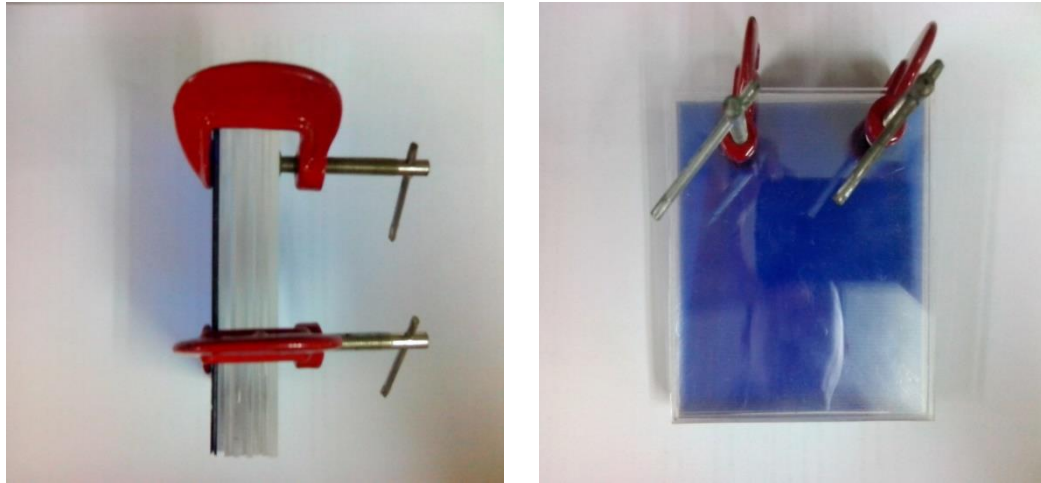
### บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

- 3.1.1 น้ำมันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 1
- 3.1.2 น้ำมันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 2
- 3.1.3 เอทานอลแปลงสภาพ
- 3.1.4 น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91
- 3.1.5 น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95
- 3.1.6 น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95
- 3.1.7 น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95
- 3.1.8 ภาชนะพลาสติกใสชนิดโพลีเอทิลีนเทเลฟทาเลท (Polyethylene terephthalate, PET) ทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดความจุ 300 มิลลิลิตร
- 3.1.9 แผ่นอะคริลิก (Acrylic plate) อ้างอิง ความหนา 26 มิลลิเมตร
- 3.1.10 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์จากพลูโตเนียม-238 ซึ่งให้รังสีเอกซ์พลังงาน 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์
- 3.1.11 หัววัดรังสีเอกซ์ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ ขนาด 5 มิลลิเมตร × 5 มิลลิเมตร
- 3.1.12 อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าศักดาสูง (High voltage power supply) และภาคขยายสัญญาณ (Amplifier) รุ่น PX2T-CdTe



รูปที่ 3.1 ภาชนะบรรจุตัวอย่างของเหลวทดลองชนิดโพลีเอทิลีนเทเลฟทาเลท ปริมาตร 300 มิลลิลิตร



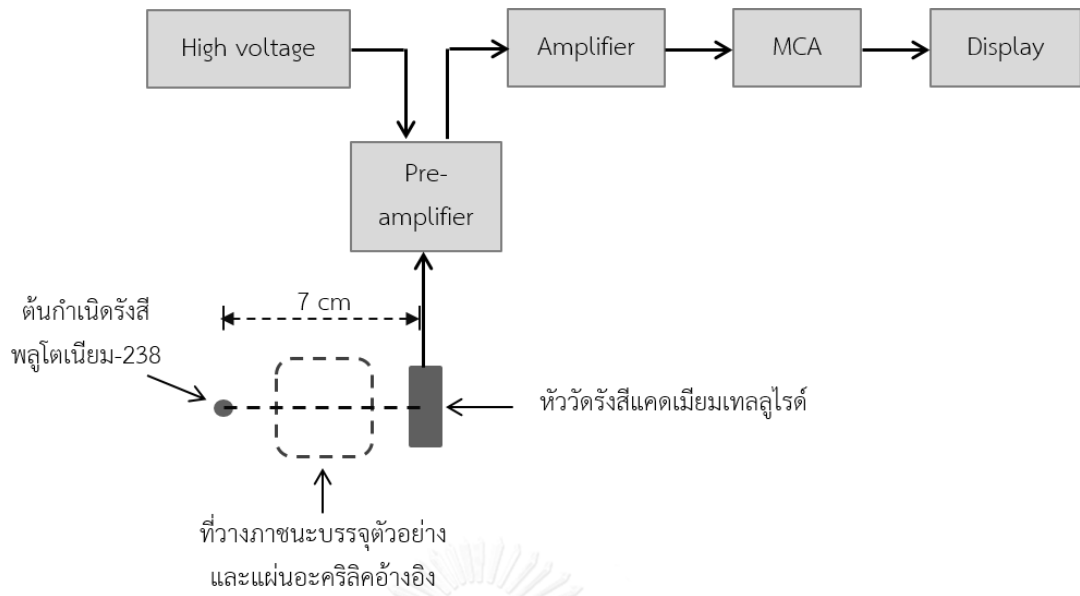
รูปที่ 3.2 แผ่นอะคลิคอ้างอิง ความหนารวม 26 มิลลิเมตร



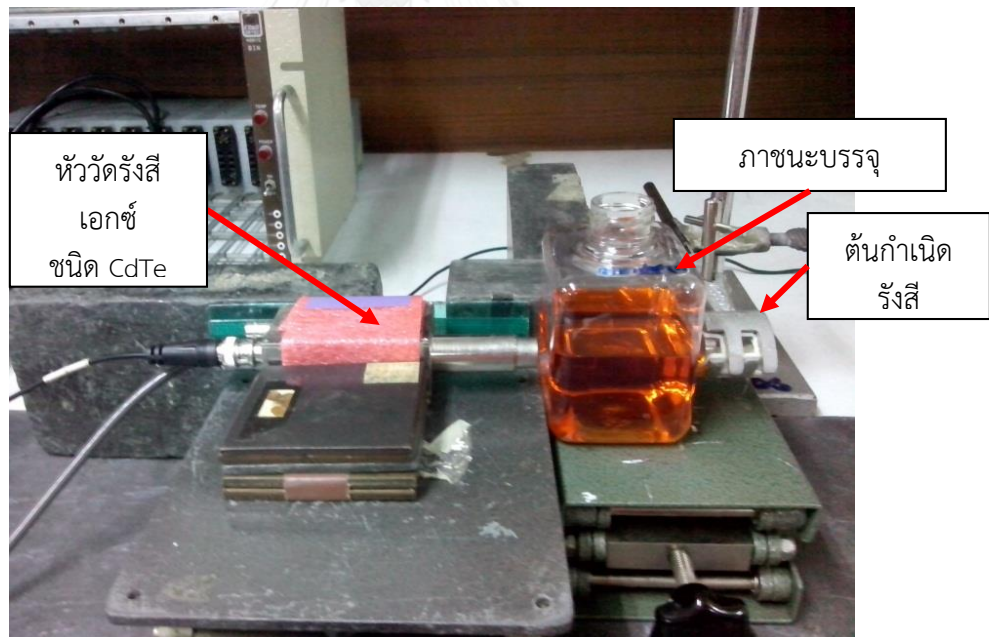
รูปที่ 3.3 หัววัดรังสีเอกซ์ ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ ขนาด 5 มิลลิเมตร x 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์จ่ายไฟฟ้าศักดาสูงและภาคขยายสัญญาณ รุ่น PX2T-CdTe

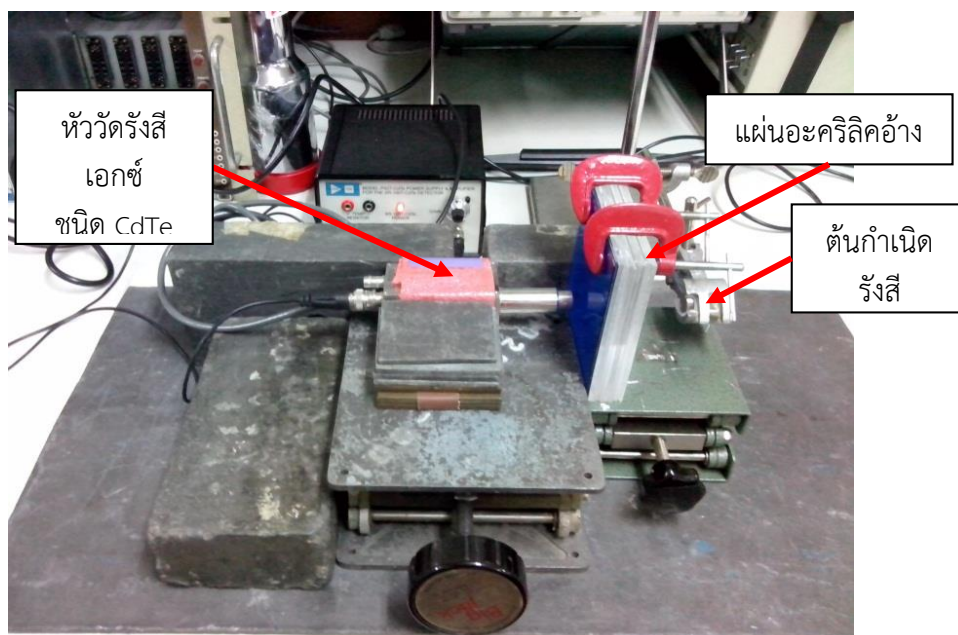


รูปที่ 3.5 ระบบวัดการส่งผ่านรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดพลูโตเนียม-238 และหัววัดรังสีแคดเมียมเทลลูไรด์



รูปที่ 3.6 การจัดระบบวัดเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ไปยังภาชนะพลาสติกบรรจุตัวอย่างทดลอง





รูปที่ 3.7 การจัดระบบวัดเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ไปยังแผ่นอะคริลิคอ้างอิง

### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

วัดรังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238 ที่ทะลุผ่านภาชนะพลาสติกบรรจุตัวอย่าง น้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดต่าง ๆ โดยมีหัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์วางอยู่ด้านตรงกันข้ามกับต้นกำเนิดรังสี ภาชนะบรรจุตัวอย่างหรือแผ่นอะคริลิคอ้างอิงถูกวางอยู่ตรงกลางระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี โดยกำหนดปริมาณตัวอย่างทดลอง 200 มิลลิลิตร แสดงในรูปที่ 3.5 ถึง 3.7

การกำหนดความหนาของแผ่นอะคริลิคอ้างอิงที่ 26 มิลลิเมตร ได้มาจากการทดลองหาความหนาของแผ่นอะคริลิคโดยการนับรังสีเอกซ์ส่งผ่านแผ่นอะคริลิคอ้างอิงที่มีความหนาต่าง ๆ จนได้จำนวนนับรังสีเอกซ์ที่ผ่านแผ่นอะคริลิคอ้างอิงมากกว่าจำนวนนับรังสีเอกซ์ส่งผ่านตัวอย่างน้ำมันที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด

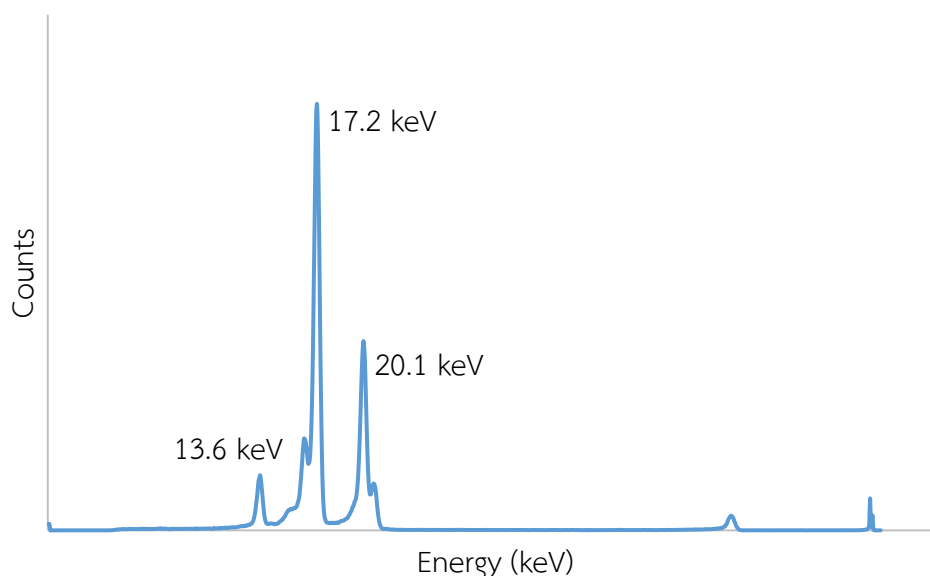
ผลการวิจัยจะแสดงในรูปของสัดส่วนระหว่างจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ชนิดต่าง ๆ กับจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านแผ่นอะคริลิคอ้างอิง ซึ่งจะมีข้อดีคือผลการวิจัยสามารถแสดงผลที่จุดทศนิยม 3 ตำแหน่ง ตั้งแต่ 0.001 จนถึง 1.000 ซึ่งง่ายต่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง และมีค่าความคลาดเคลื่อนในทางรังสีที่ใกล้เคียงกัน การวิจัยกำหนดเวลานับรังสี ดังนี้

1. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 ใช้เวลาการนับรังสี 600 วินาที
2. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 ใช้เวลาการนับรังสี 600 วินาที
3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 ใช้เวลาการนับรังสี 600 วินาที
4. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 ใช้เวลาการนับรังสี 1,200 วินาที

สาเหตุที่กำหนดระยะเวลาการนับรังสี 1,200 วินาที ซึ่งมากกว่าระยะเวลาการนับรังสีของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ในทุกประเภทนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการเพิ่มจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เนื่องจากน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีส่วนผสมของเอทานอลแปลงสภาพในปริมาณมาก จะทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของ

น้ำมันแก๊สโซฮอล์มีค่ามากขึ้น จึงทำให้จำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีจำนวนน้อยลง ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องแม่นยำในการตรวจวัดทางรังสี

สเปกตรัม (Spectrum) รังสีเอกซ์หลังจากผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากต้นกำเนิดรังสีฟลูโตเนียม-238 ที่พลังงาน 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ แสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สเปกตรัมรังสีเอกซ์หลังจากผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากต้นกำเนิดรังสีฟลูโตเนียม-238 ที่ได้จากหัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์

3.2.1 การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านตัวอย่างทดลองประเภทต่าง ๆ ในระบบเปิด ที่รังสีเอกซ์พลังงาน 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ฟลูโตเนียม-238 และหัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์

3.2.2 การศึกษาภาวะการตรวจวัดที่เหมาะสมต่อการทดสอบสัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เปรียบเทียบในกรณีปิดภาชนะและเปิดภาชนะ โดยใช้รังสีเอกซ์จากต้นกำเนิดรังสีฟลูโตเนียม-238 เลือกพิจารณาพลังงานเฉพาะพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และใช้หัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ การทดลองนี้ได้ทดลองเปรียบเทียบการนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน ระหว่างการวัดต่อเนื่อง และการนำวางใหม่ โดยการวัดต่อเนื่องสามารถนับค่ารังสีทะลุผ่านได้โดยไม่ต้องขยับภาชนะ ส่วนการนำวางใหม่ให้นำภาชนะออกมาแล้ววางเข้าตำแหน่งเดิมก่อนนับค่ารังสีทะลุผ่านทุกครั้ง

3.2.3 การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์โดยใช้เทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ การทดลองนี้ได้สร้างกราฟความสัมพันธ์ของสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากการเตรียมตัวอย่างขึ้นในห้องปฏิบัติการ มีรายละเอียดดังนี้

### การเตรียมตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์

1. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 ตามกฎหมายได้กำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพไว้ระหว่าง 9-10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร การทดลองนี้จึงเตรียมน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากการผสมน้ำมันพื้นฐานชนิดที่ 2 และเอทานอลแปลงสภาพ โดยให้ความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพ 8, 9, 10, 11 และ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

2. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 ตามกฎหมายได้กำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพไว้ระหว่าง 9-10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร การทดลองนี้จึงเตรียมน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากการผสมน้ำมันพื้นฐานชนิดที่ 1 และเอทานอลแปลงสภาพ โดยให้ความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพ 8, 9, 10, 11 และ 12 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 ตามกฎหมายกำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพไว้ระหว่าง 19-20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร การทดลองนี้จึงเตรียมน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากการผสมน้ำมันพื้นฐานชนิดที่ 2 และเอทานอลแปลงสภาพ โดยให้ความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพ 18, 19, 20, 21 และ 22 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

4. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 ตามกฎหมายกำหนดปริมาณเอทานอลแปลงสภาพไว้ระหว่าง 75-100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร การทดลองนี้จึงเตรียมน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากการผสมน้ำมันพื้นฐานชนิดที่ 1 และเอทานอลแปลงสภาพ โดยให้ความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพ 70, 75, 80, 85, 90, 95 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

3.2.4 การศึกษาหาระดับพลังงานของริงส์เอกซ์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพที่แตกต่างกัน โดยพิจารณาเลือกจากตัวอย่างน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากการเตรียมในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

2. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

4. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 85 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย

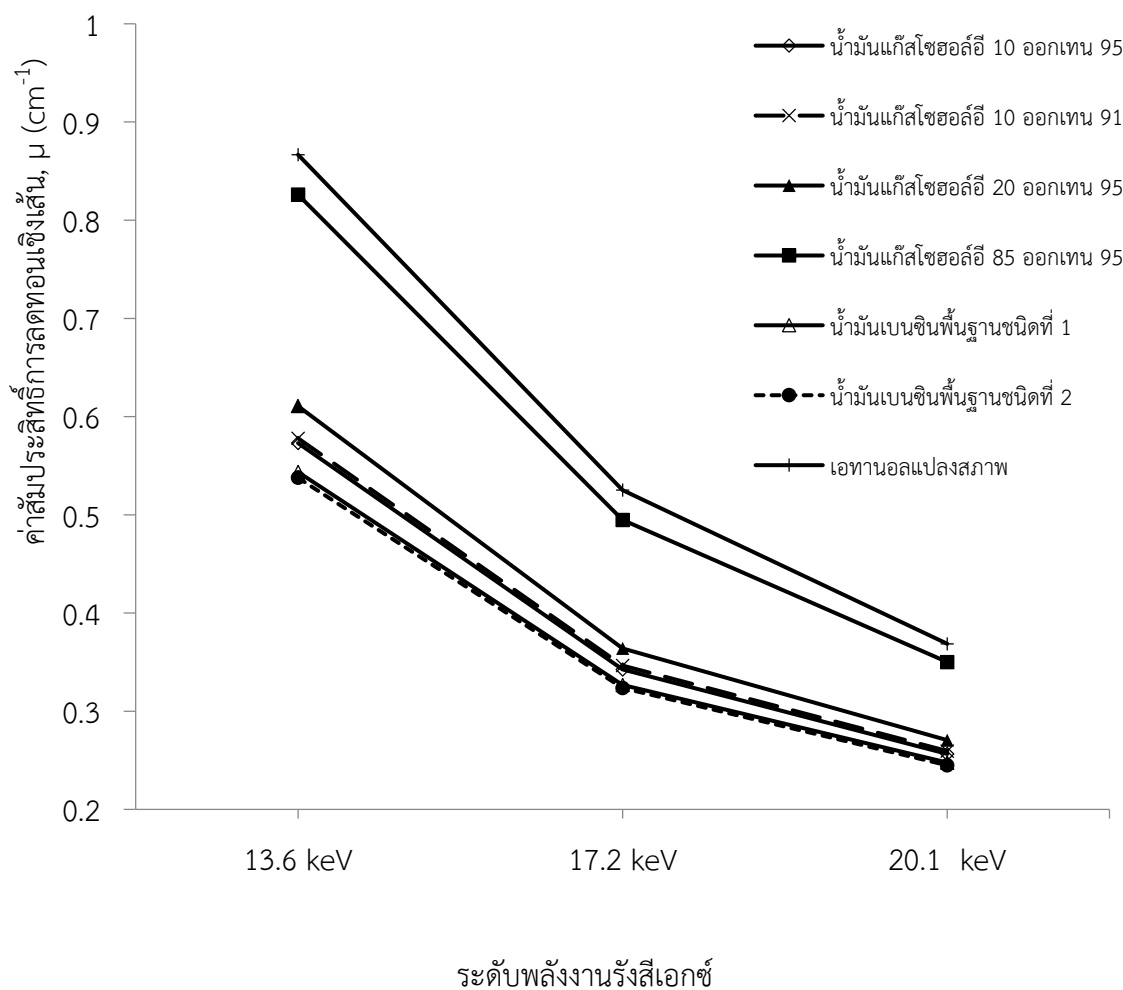
#### 4.1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านตัวอย่างทดลองประเภทต่าง ๆ

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านตัวอย่างทดลองประเภทต่าง ๆ ที่รังสีเอกซ์พลังงาน 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ จากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์พลูโตเนียม-238 และใช้หัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ในการวัดรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่าน กำหนดเวลานับรังสี 600 วินาที สำหรับตัวอย่างทดลองทุกชนิด ยกเว้นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 85 ออกเทน 95 และเอทานอลแปลงสภาพ ซึ่งใช้เวลานับรังสี 1,200 วินาที แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านตัวอย่างทดลองประเภทต่าง ๆ ที่รังสีเอกซ์พลังงาน 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

ตัวอย่างทดลอง	$\mu$ (cm <sup>-1</sup> )		
	13.6 keV	17.2 keV	20.1 keV
น้ำมันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 2	0.538	0.324	0.245
น้ำมันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 1	0.544	0.327	0.248
น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 10 ออกเทน 95	0.573	0.342	0.256
น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 10 ออกเทน 91	0.578	0.346	0.259
น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 20 ออกเทน 95	0.611	0.364	0.270
น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 85 ออกเทน 95	0.826	0.495	0.350
เอทานอลแปลงสภาพ	0.867	0.525	0.369

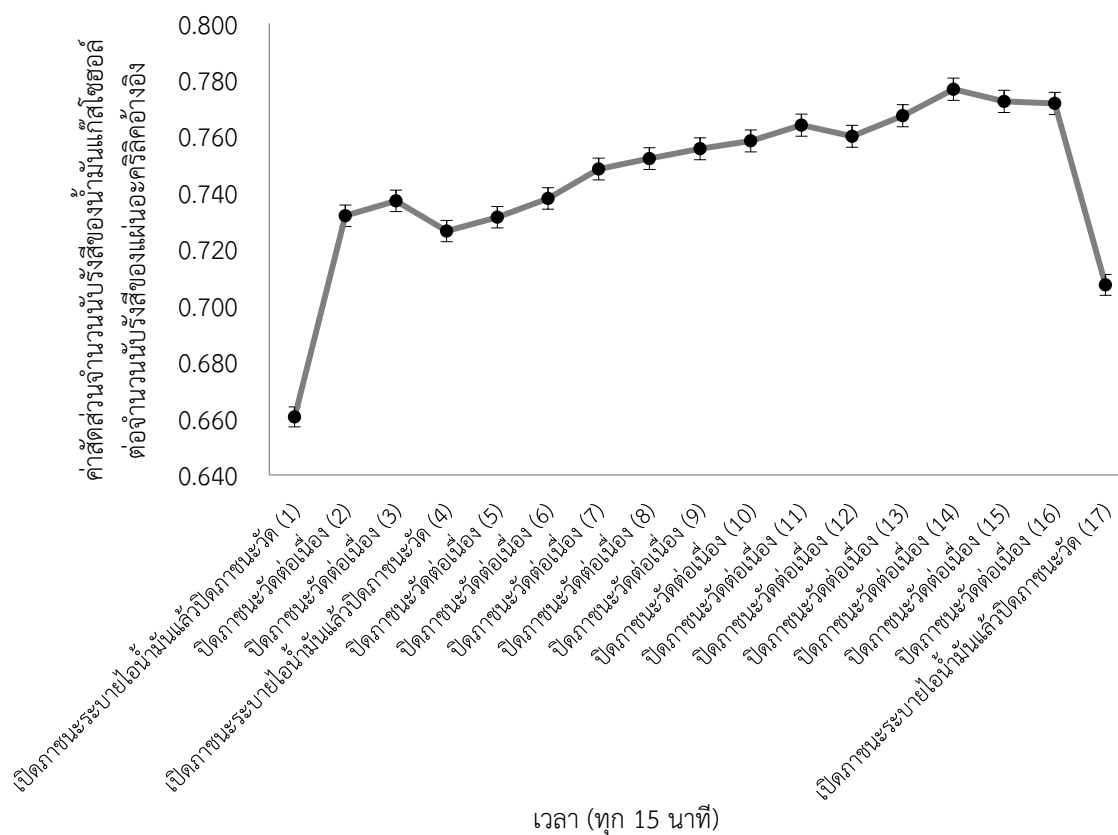
จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นและระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านตัวอย่างทดลอง ผลการทดลองพบว่าเมื่อสัดส่วนของเอทานอลแปลงสภาพสูงขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นจะสูงขึ้นด้วย โดยได้แสดงผลในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ไว้ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของรังสีเอกซ์ทะลุผ่านตัวอย่างทดลองประเภทต่าง ๆ ที่รังสีเอกซ์พลังงาน 13.6, 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

#### 4.2 ผลการทดสอบสัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่าน เปรียบเทียบในกรณีปิดภาชนะและเปิดภาชนะ

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของการปิดภาชนะและเปิดภาชนะในขณะวัดรังสีเอกซ์ โดยเลือกพิจารณาเฉพาะพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมีความไวทางรังสีมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงาน 17.2 และ 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยใช้หัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ กำหนดเวลานับรังสี 600 วินาที ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2 ถึง 4.6



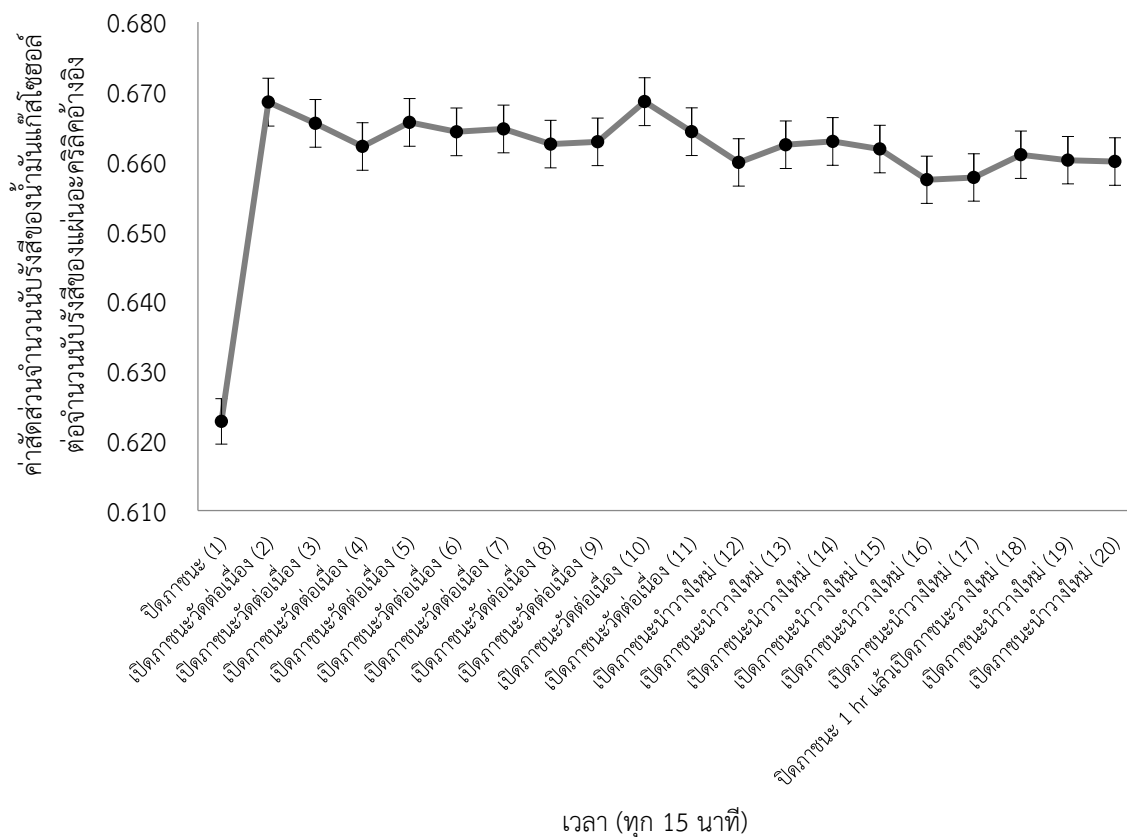
รูปที่ 4.2 สัดส่วนจำนวนนั้บร้งสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอลต์ 10 ออกเทน 95  
กรณีปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน 1 $\sigma$

การทดลองนี้ได้พิจารณารังสีเอกซ์ที่พลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ใช้เวลานั้บร้งสี 600 วินาที นั้บร้งสีทุก ๆ 15 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

- กรณีปิดภาชนะและนั้บร้งสีทะลุผ่านอย่างต่อเนื่อง ตามหมายเลขการทดลองที่ (1)-(3) และ (4)-(16) พบว่า สัดส่วนจำนวนนั้บร้งสีเอกซ์ทะลุผ่านมีแนวโน้มมากขึ้นตามระยะเวลาการปิดภาชนะทดลอง

- กรณีเปิดภาชนะระบายไอน่น้ำมัน 15 วินาที แล้วจึงปิดภาชนะ จากนั้นนั้บร้งสีทะลุผ่าน ตามหมายเลขการทดลองที่ (1), (4) และ (17) พบว่าสัดส่วนค่านั้บร้งสีเอกซ์ทะลุผ่านมีค่าลดลงตามระยะเวลาการปิดภาชนะก่อนทดลอง

- เมื่อพิจารณาตลอดการทดลอง โดยเลือกพิจารณาตามหมายเลขการทดลองที่ (1), (4), (14) และ (17) ซึ่งเป็นกรณีปิดภาชนะทั้งหมด พบว่าสัดส่วนค่านั้บร้งสีเอกซ์ทะลุผ่านมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.3 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 10 ออกเทน 95

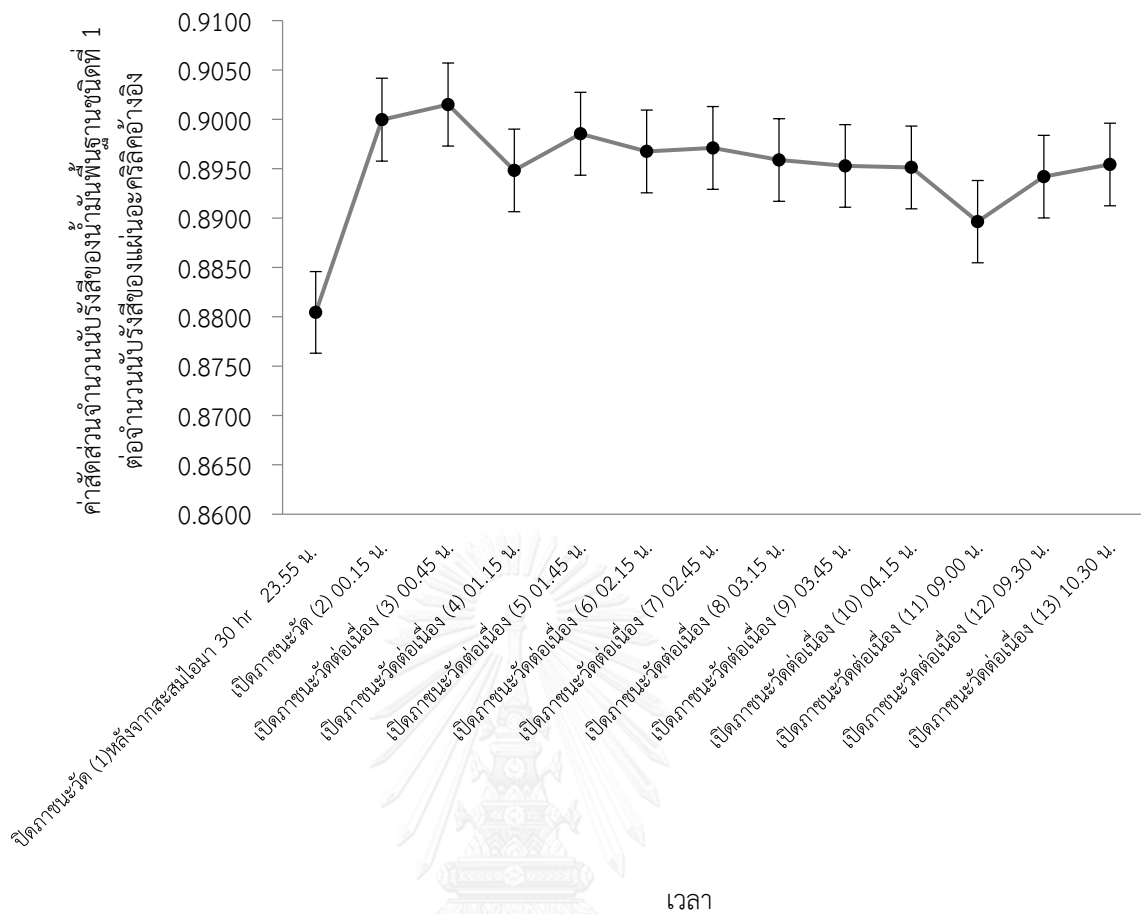
#### กรณีเปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน $1\sigma$

การทดลองนี้ได้พิจารณารังสีเอกซ์ที่พลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ใช้เวลานับรังสี 600 วินาที นับรังสีทุก ๆ 15 นาที ยกเว้นหมายเลขการทดลองที่ (18) ซึ่งปิดภาชนะทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วจึงเปิดภาชนะวัด มีผลการทดลองดังนี้

- กรณีปิดภาชนะ ตามหมายเลขการทดลองที่ (1) พบว่าสัดส่วนค่านับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตลอดการทดลองซึ่งเป็นกรณีเปิดภาชนะ

- กรณีเปิดภาชนะ ตามหมายเลขการทดลองที่ (2)-(17) พบว่าสัดส่วนค่านับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ โดยอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีเปิดภาชนะ

- กรณีปิดภาชนะทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง แล้วจึงเปิดภาชนะนับรังสี ตามหมายเลขการทดลองที่ (18) แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนค่านับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีค่าใกล้เคียงกับกรณีเปิดภาชนะ



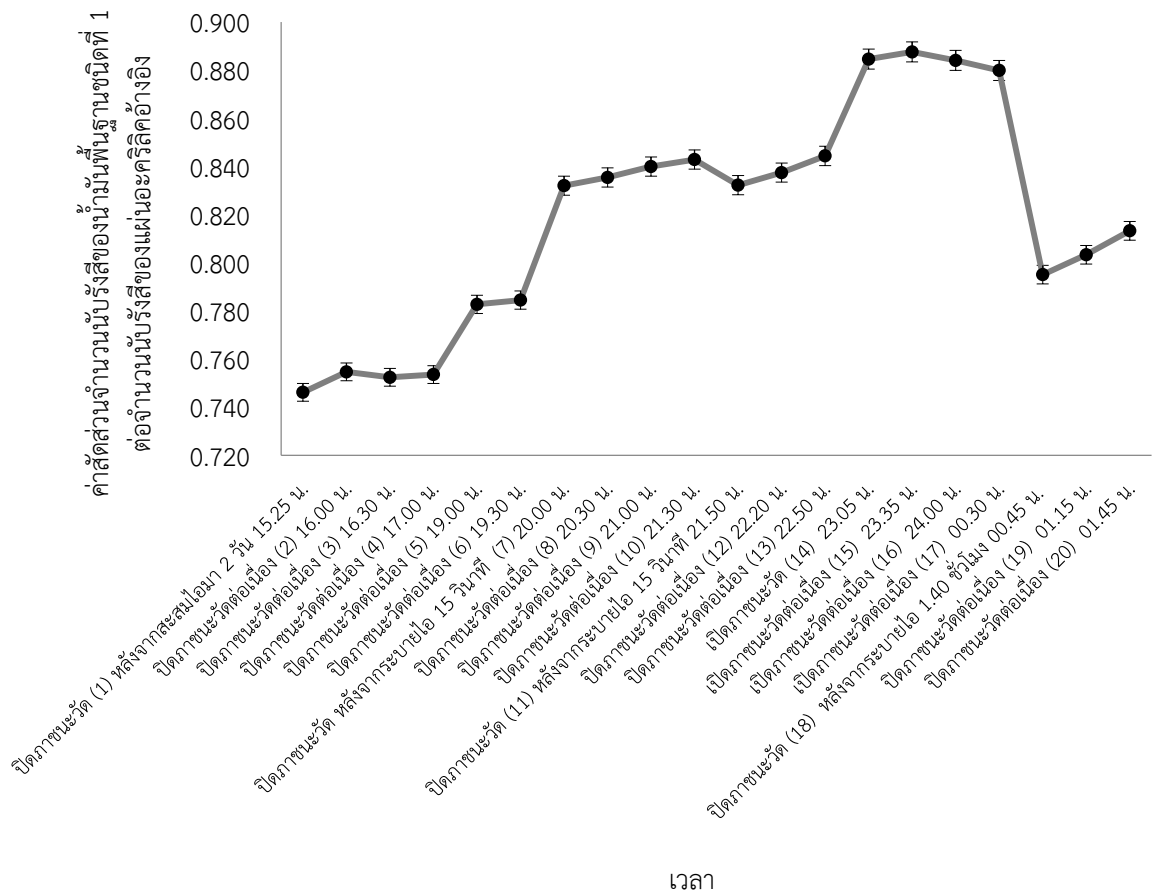
รูปที่ 4.4 สัดส่วนจำนวนนํ้ามันที่หลงเหลืออยู่ของตะกั่วผ่านนํ้ามันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 1

กรณีเปิดและปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$

การทดลองนี้ได้พิจารณารังสีเอกซ์ที่พลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ใช้เวลานํ้ามัน 600 วินาที มีผลการทดลองดังนี้

- กรณีปิดภาชนะ ตามหมายเลขการทดลองที่ (1) พบว่าสัดส่วนจำนวนนํ้ามันที่หลงเหลืออยู่ของตะกั่วผ่านจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งเป็นกรณีเปิดภาชนะ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเริ่มปิดภาชนะ ไอรระเหยนํ้ามันไม่สามารถระบายออกได้ ทำให้ความดันภายในภาชนะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้นํ้ามันมีความหนาแน่นมากขึ้นรังสีเอกซ์จึงทะลุผ่านได้น้อยกว่ากรณีเปิดภาชนะ และถ้าหากปิดภาชนะต่อไปเรื่อยๆ ไอนํ้ามันจะมีปริมาณมากพอที่จะแทรกตัวเข้าไปในนํ้ามัน ทำให้นํ้ามันมีความหนาแน่นน้อยลง รังสีเอกซ์จึงทะลุผ่านได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปการทดลองที่ 4.2

- กรณีเปิดภาชนะ ตามหมายเลขการทดลองที่ (2)-(13) พบว่าสัดส่วนจำนวนนํ้ามันที่หลงเหลืออยู่ของตะกั่วผ่านมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ โดยอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองซึ่งเป็นกรณีเปิดภาชนะ



รูปที่ 4.5 สัดส่วนจำนวนน้ำมันรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันเบนซินพื้นฐานชนิดที่ 1

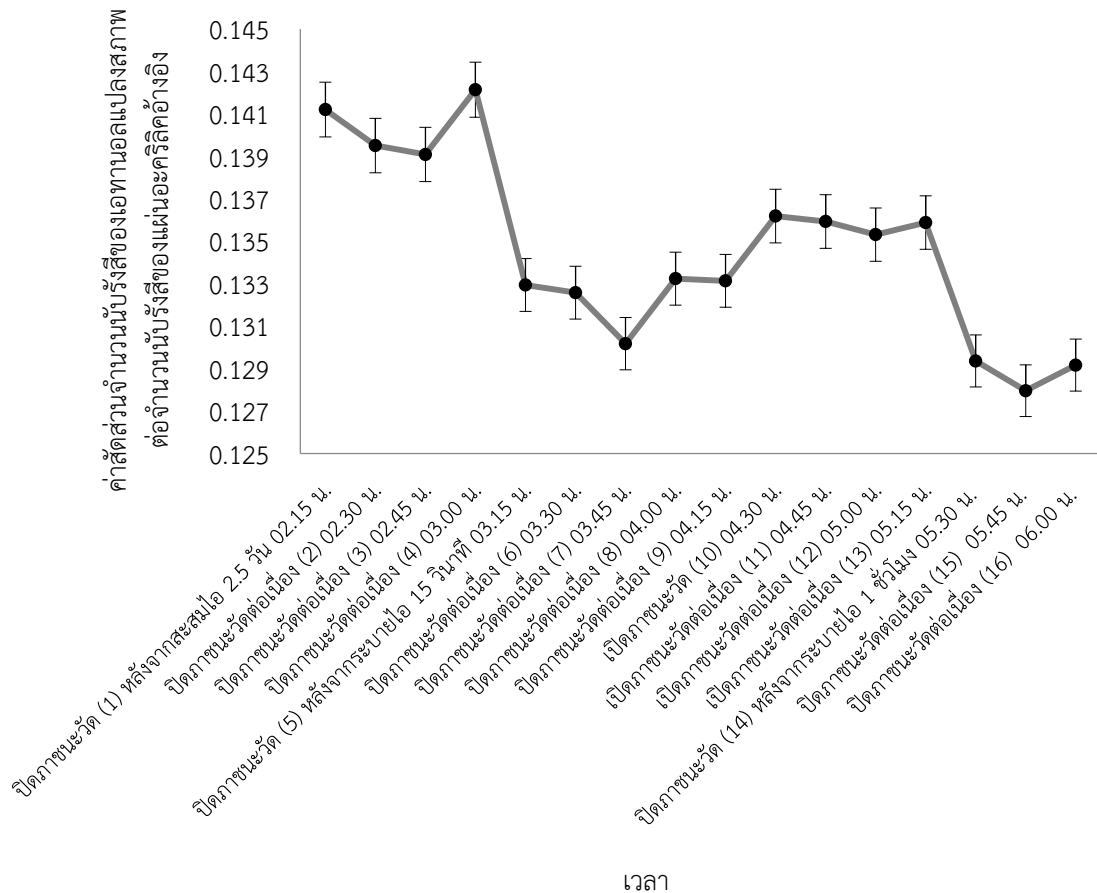
#### กรณีปิดและเปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน 1 $\sigma$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองนี้ได้พิจารณารังสีเอกซ์ที่พลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ใช้เวลานับรังสี 600 วินาที มีผลการทดลองดังนี้

- กรณีปิดภาชนะ พิจารณาตลอดการทดลอง (ยกเว้นหมายเลขการทดลองที่ (14)-(17) ซึ่งเป็นกรณีเปิดภาชนะ) พบว่า สัดส่วนค่าน้ำมันรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเลือกพิจารณาตามหมายเลขการทดลองที่ (1), (6), (13) และ (20) ซึ่งเป็นกรณีปิดภาชนะทั้งหมด พบว่า สัดส่วนค่าน้ำมันรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

- กรณีเปิดภาชนะ ตามหมายเลขการทดลองที่ (14)-(17) พบว่าสัดส่วนค่าน้ำมันรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ โดยอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีเปิดภาชนะ



รูปที่ 4.6 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเอทานอลแปลงสภาพ  
กรณีปิดและเปิดภาชนะ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองนี้ได้พิจารณารังสีเอกซ์ที่พลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ใช้เวลานับรังสี 600 วินาที มีผลการทดลองดังนี้

- กรณีปิดภาชนะ ตามกลุ่มการทดลองหมายเลข (1)-(4), (5)-(9) และ (14)-(16) พบว่า สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านเมื่อเปรียบเทียบกับกันในแต่ละกลุ่มการทดลอง มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน

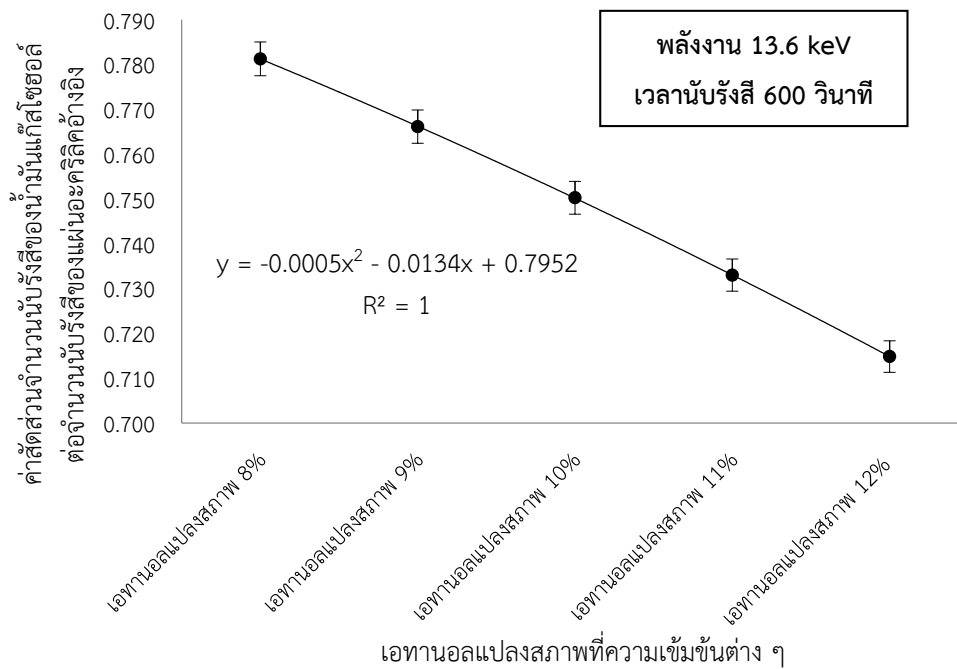
- กรณีเปิดภาชนะ ตามหมายเลขการทดลองที่ (10)-(13) พบว่า สัดส่วนค่านับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านแนวโน้มลดลงอย่างช้า ๆ โดยอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับกันกรณีเปิดภาชนะ

ผลการทดลองพบว่า การจัดระบบวัตที่เหมาะสมสำหรับการทดลองหาสัดส่วนเอทานอล แพลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์นั้น กรณีเปิดภาชนะจะให้ผลการทดลองที่เหมาะสมที่สุด โดยสัดส่วน ค่าน้ำรังสีเอกซ์ทะลุผ่านในกรณีเปิดภาชนะจะมีแนวโน้มค่อย ๆ ลดลงในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่น้ำมันพื้นฐานมีความสามารถในการระเหยได้เร็วกว่าเอทานอล แพลงสภาพ ทำให้ ความหนาแน่นโดยรวมของแก๊สโซฮอล์มีมากขึ้น ส่งผลให้รังสีเอกซ์ผ่านได้น้อยลง ส่วนในกรณีปิด ภาชนะซึ่งพบว่าไม่เหมาะสมต่อการตรวจวัดนั้น มีสาเหตุมาจากปัญหาความดันไอของน้ำมันแก๊ส โซฮอล์ที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากการปิดภาชนะ เมื่อความดันในระบบมีมากขึ้น แก๊สโซฮอล์ในรูปของแก๊ส จึงแทรกตัวเข้าไปในเนื้อน้ำมัน ทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของแก๊สโซฮอล์ลดลง ส่งผลให้สัดส่วนค่า น้ำรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และจะลดลงทันทีเมื่อมีการเปิดภาชนะเพื่อ ระบายความดันของไอน้ำมัน

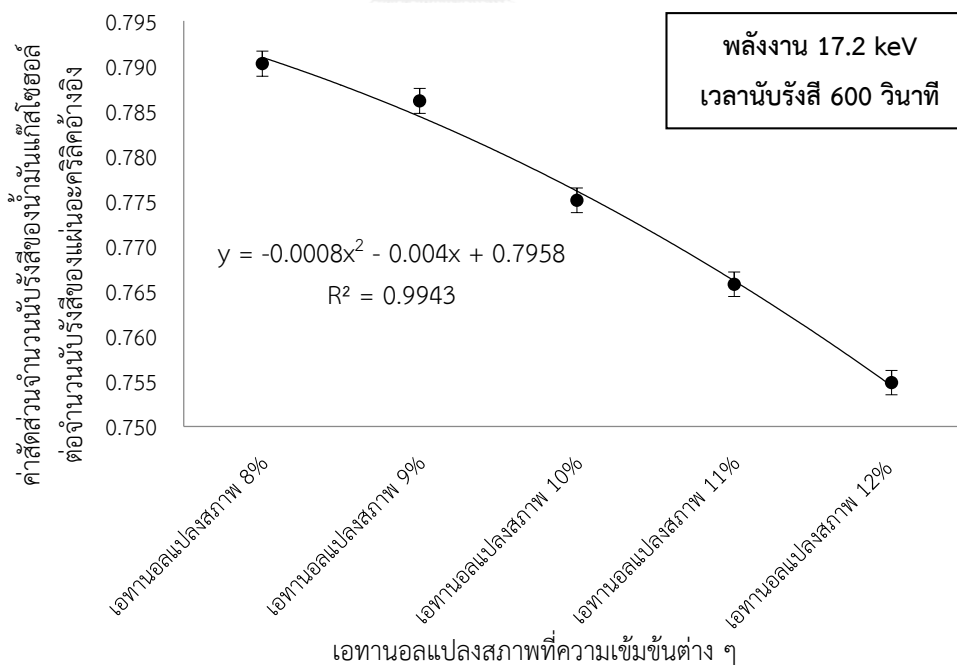
#### 4.3 กราฟความสัมพันธ์ของสัดส่วนเอทานอล แพลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์

การทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสัดส่วนเอทานอล แพลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มี ความเข้มข้นของเอทานอล แพลงสภาพที่แตกต่างกัน ได้จากการเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ โดย ผสมน้ำมันเบนซินพื้นฐานและเอทานอล แพลงสภาพในอัตราส่วนต่างๆ เลือกพิจารณาระดับพลังงาน 13.6 , 17.2 , 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และพลังงานรวมกันของทั้ง 3 พลังงาน ผลการทดลองแสดง ดังรูปที่ 4.7-4.22

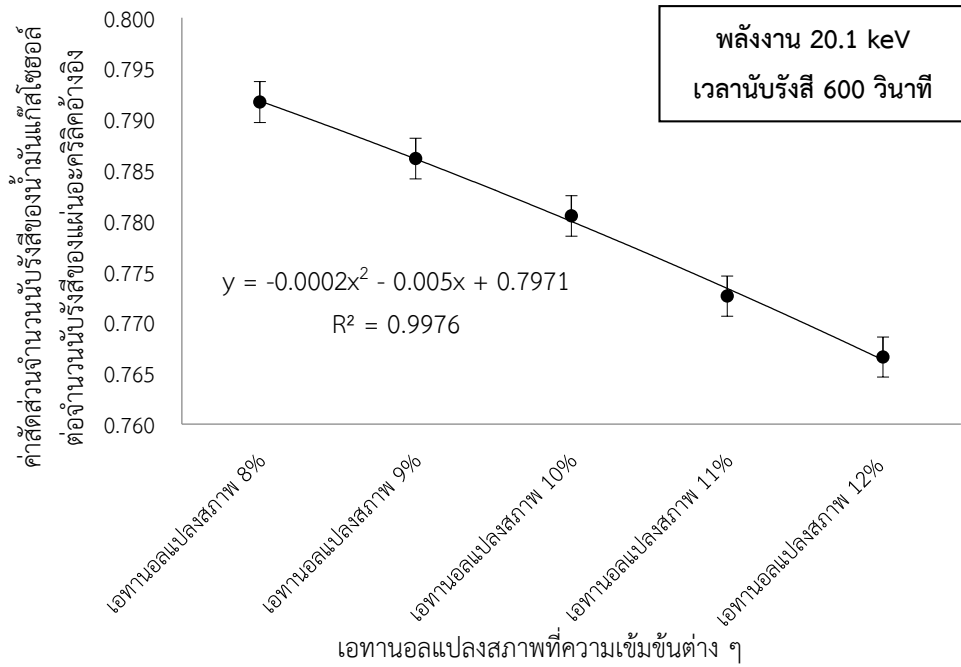




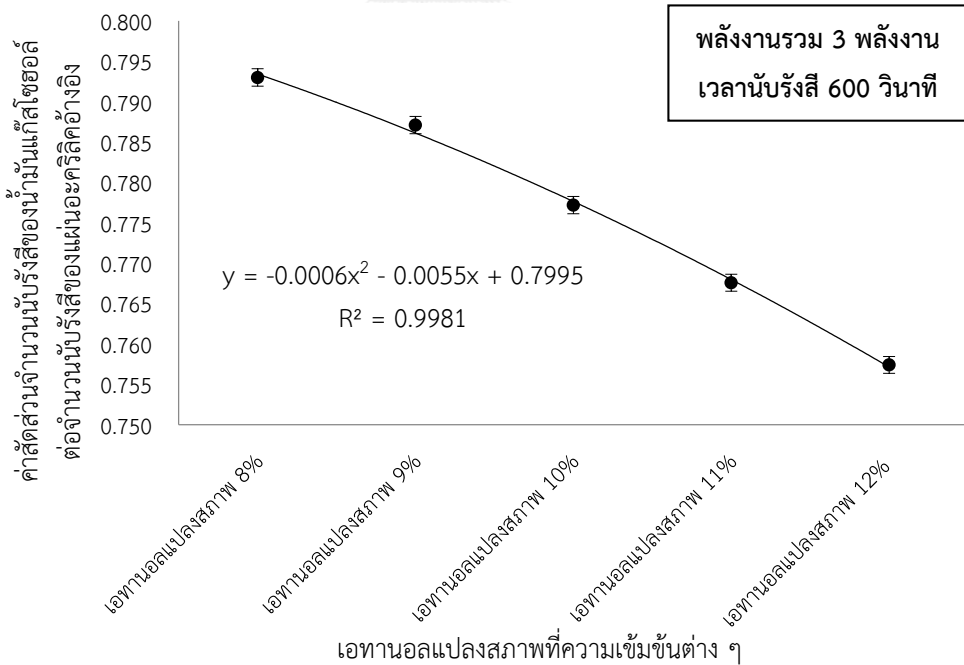
รูปที่ 4.7 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 10 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาเฉพาะพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



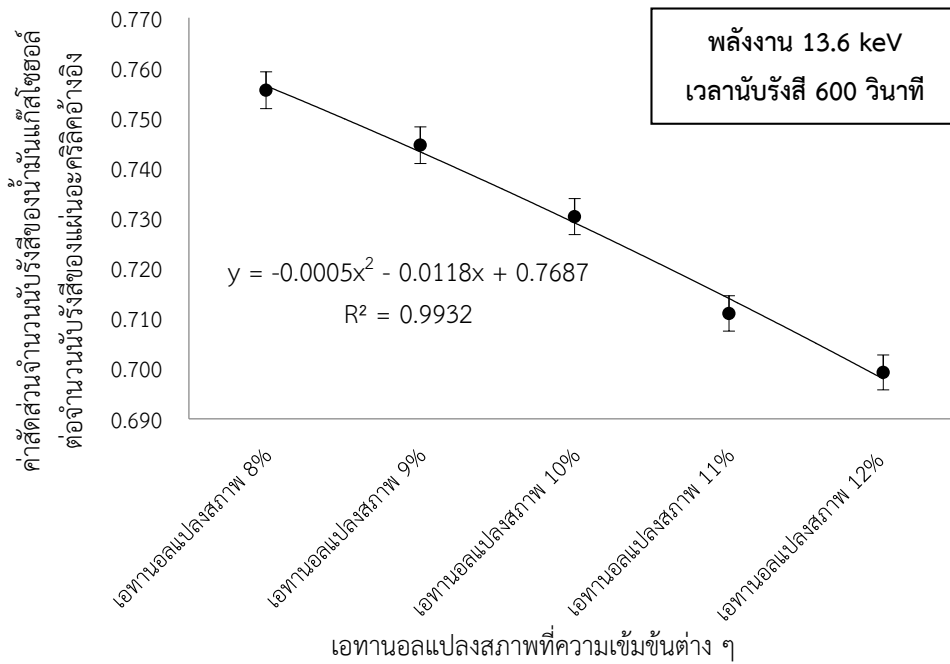
รูปที่ 4.8 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 10 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาเฉพาะพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



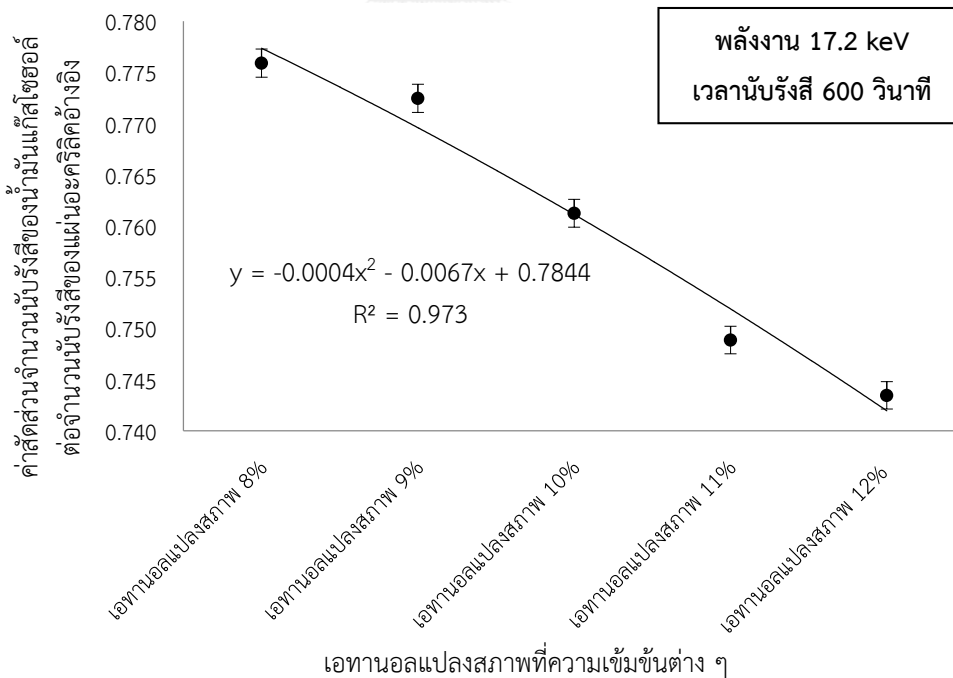
รูปที่ 4.9 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาเฉพาะพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



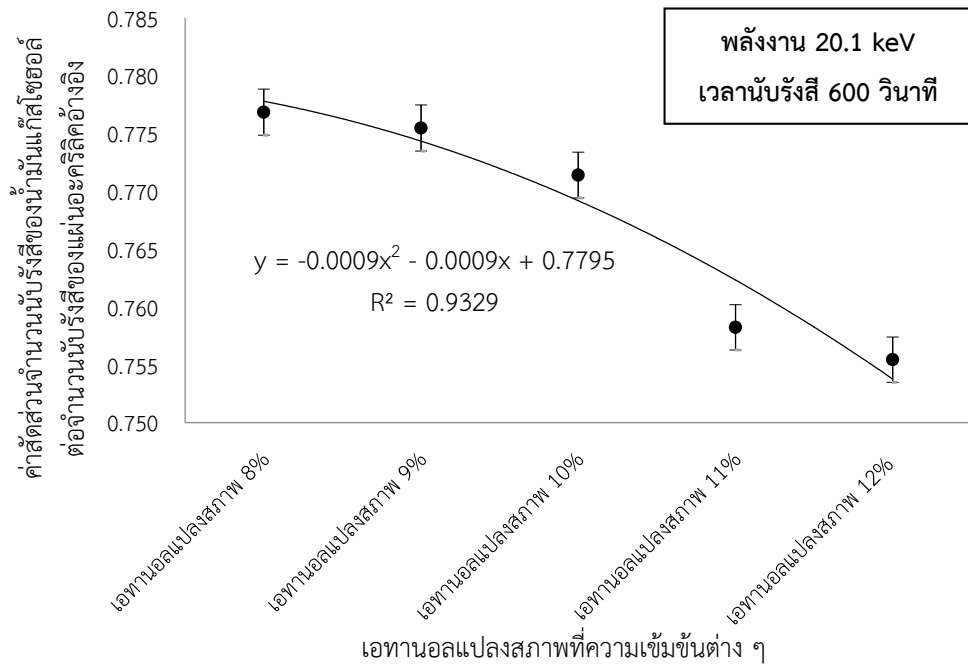
รูปที่ 4.10 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เวลานับรังสี 600 วินาที



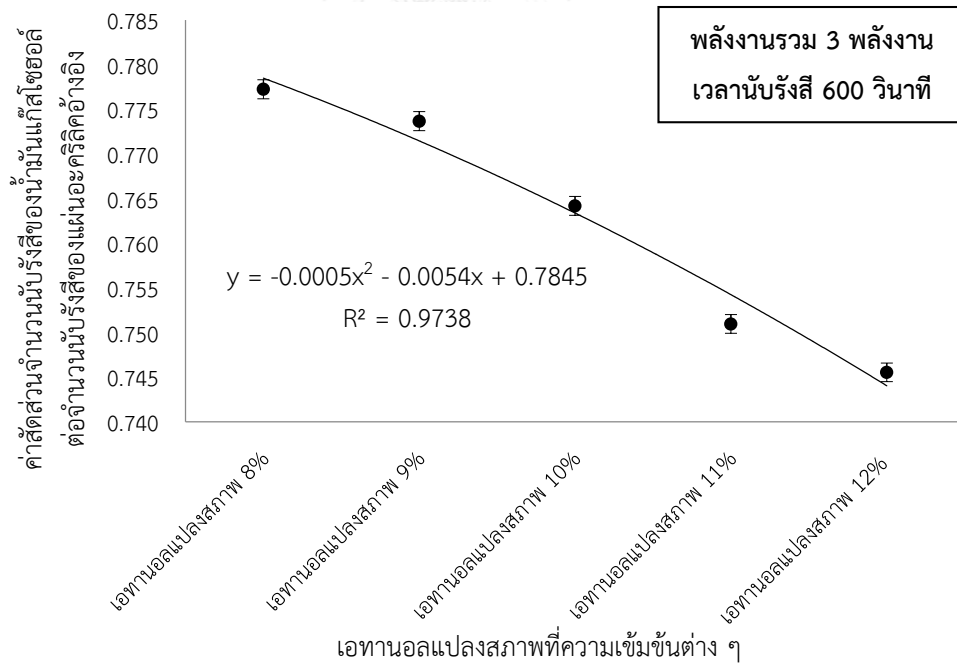
รูปที่ 4.11 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ อี10 ออกเทน 91 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



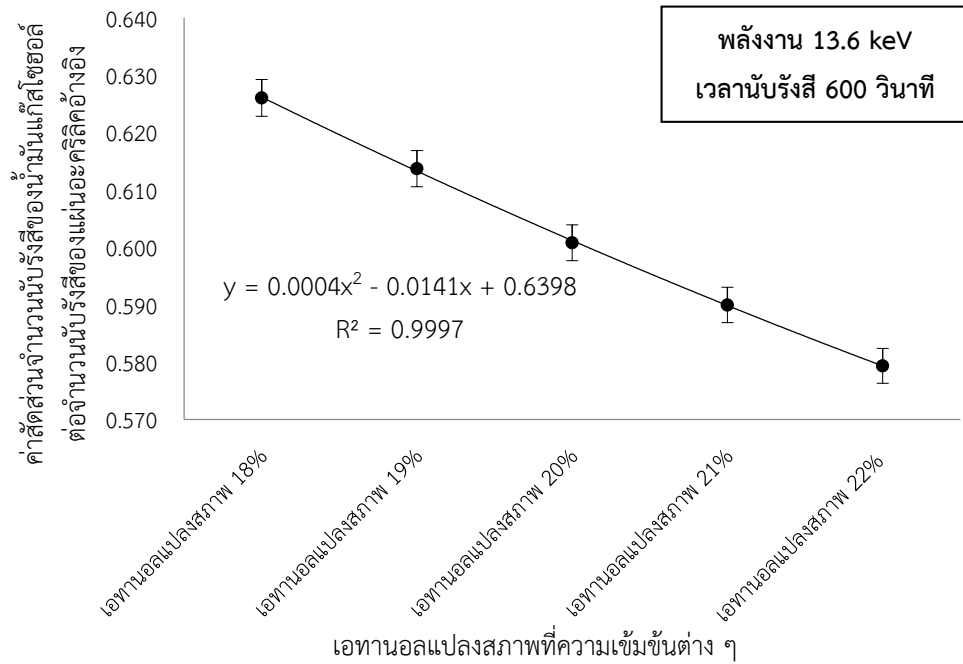
รูปที่ 4.12 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



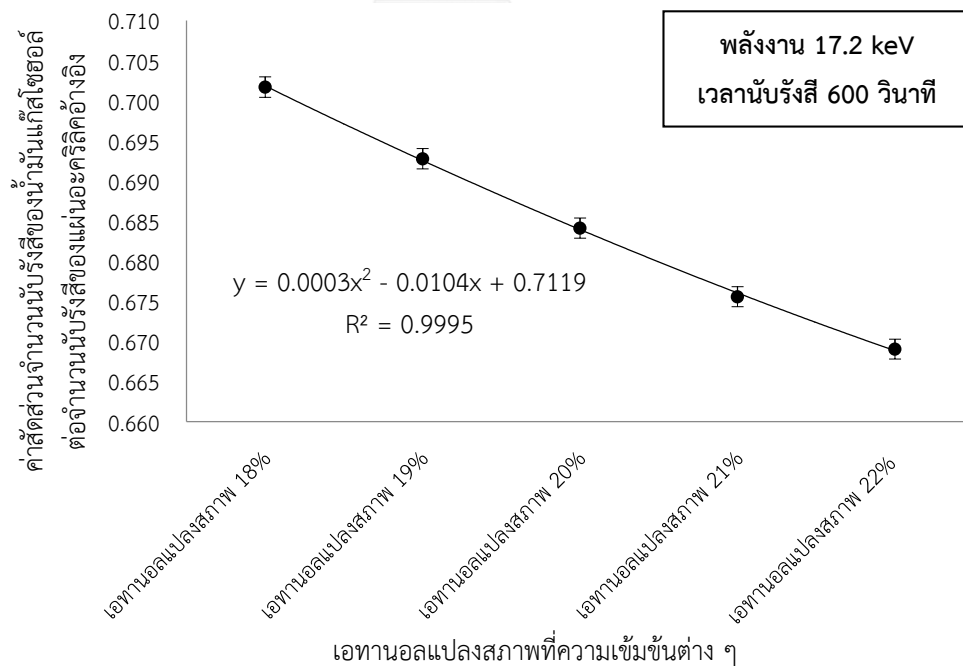
รูปที่ 4.13 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโครมาโตกราฟี 10 ออกเทน 91 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



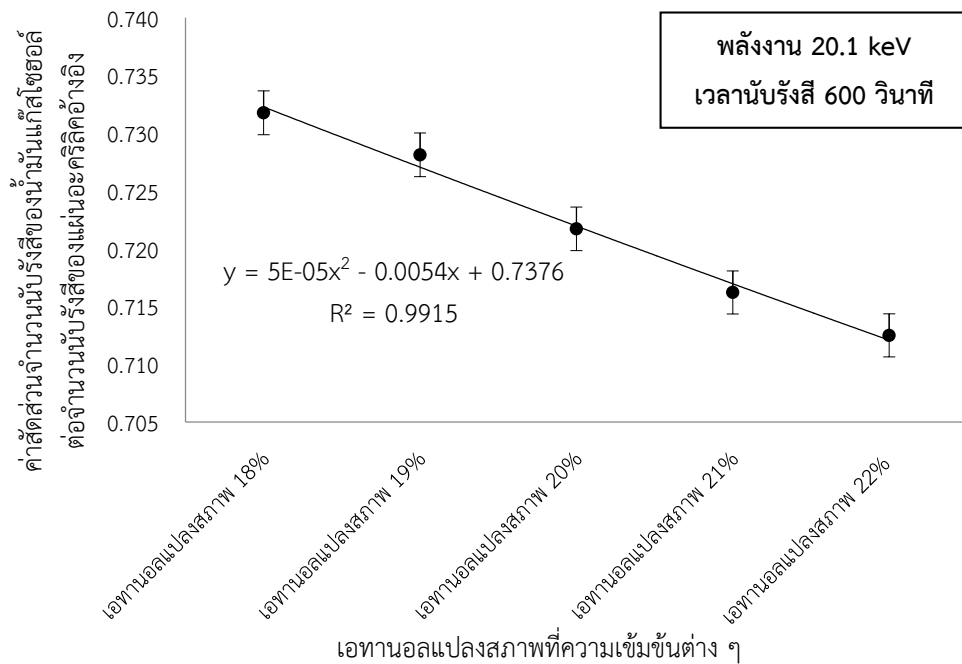
รูปที่ 4.14 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโครมาโตกราฟี 10 ออกเทน 91 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เวลานับรังสี 600 วินาที



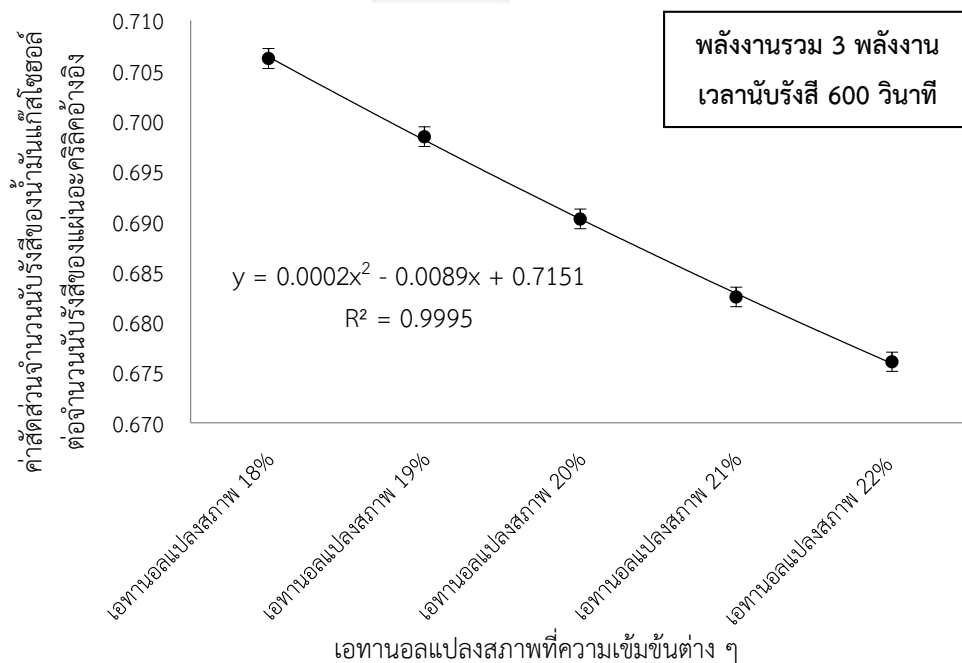
รูปที่ 4.15 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 20 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



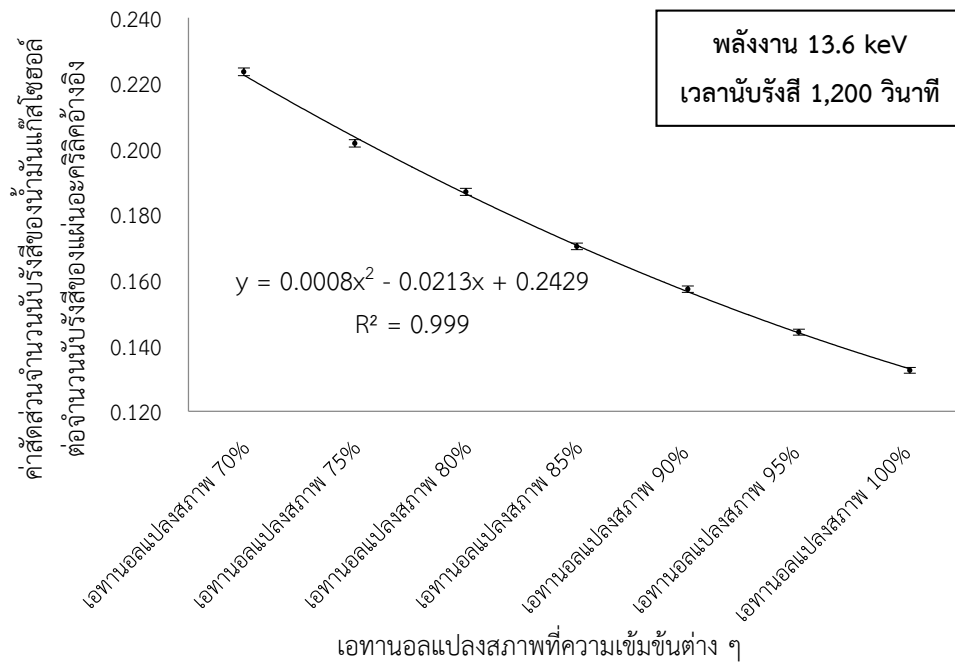
รูปที่ 4.16 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 20 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



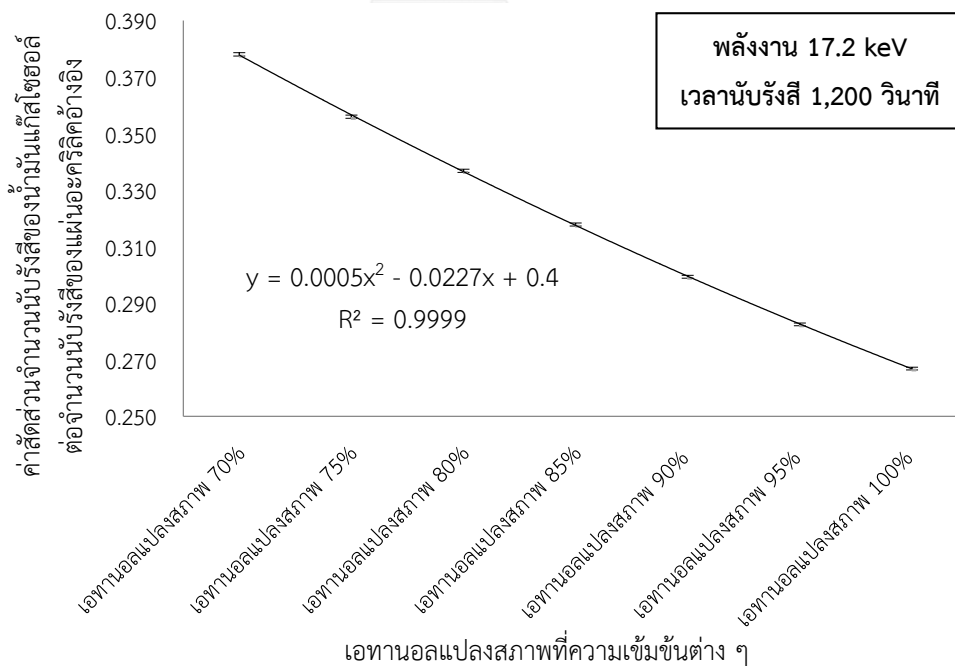
รูปที่ 4.17 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 600 วินาที



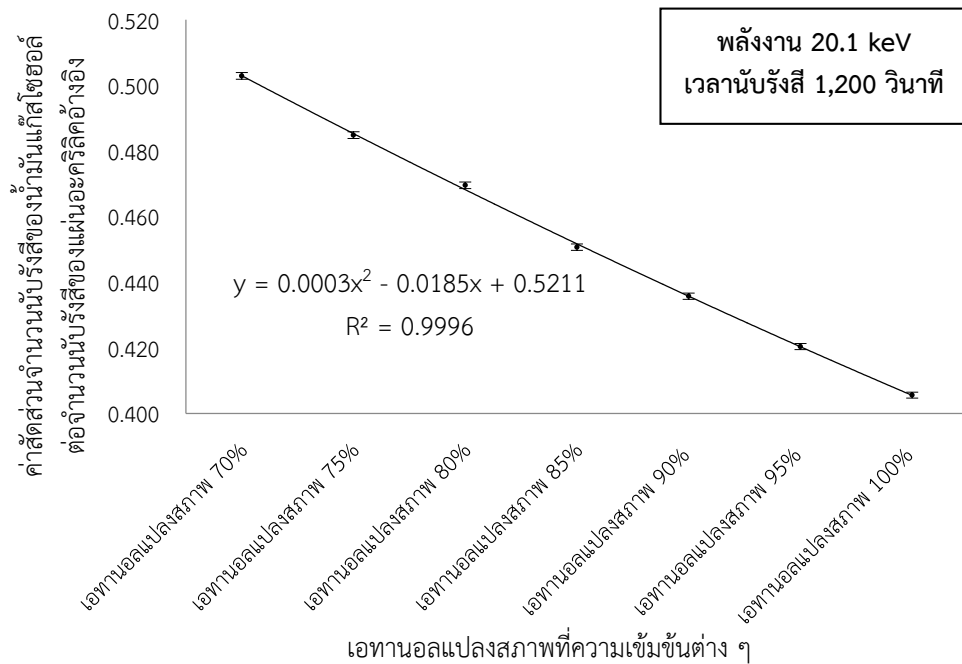
รูปที่ 4.18 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เวลานับรังสี 600 วินาที



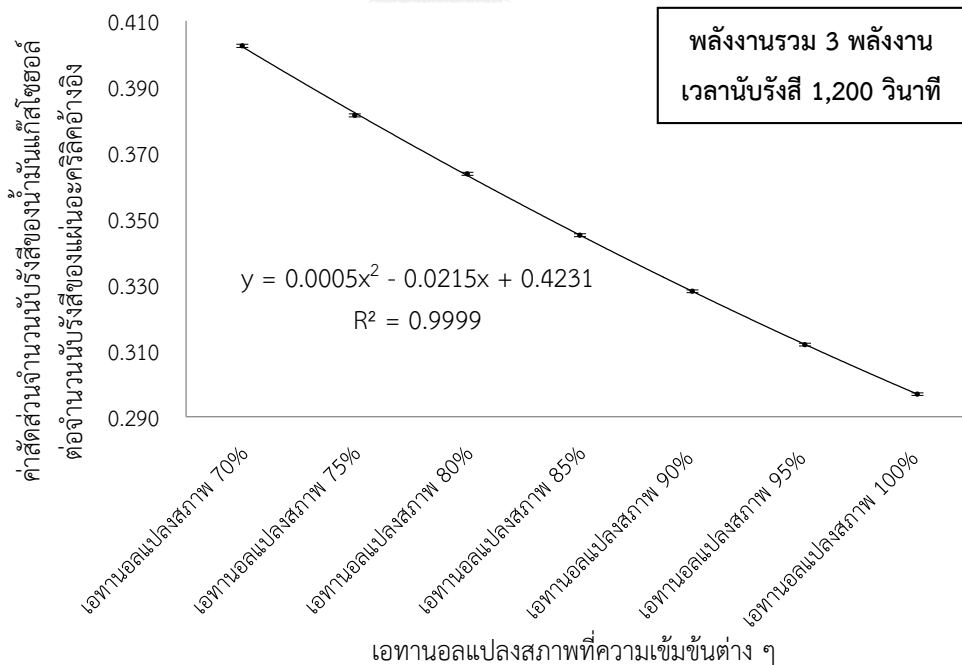
รูปที่ 4.19 สัดส่วนจำนวนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวล่านับรังสี 1,200 วินาที



รูปที่ 4.20 สัดส่วนจำนวนน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวล่านับรังสี 1,200 วินาที



รูปที่ 4.21 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ เวลานับรังสี 1,200 วินาที



รูปที่ 4.22 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เวลานับรังสี 1,200 วินาที



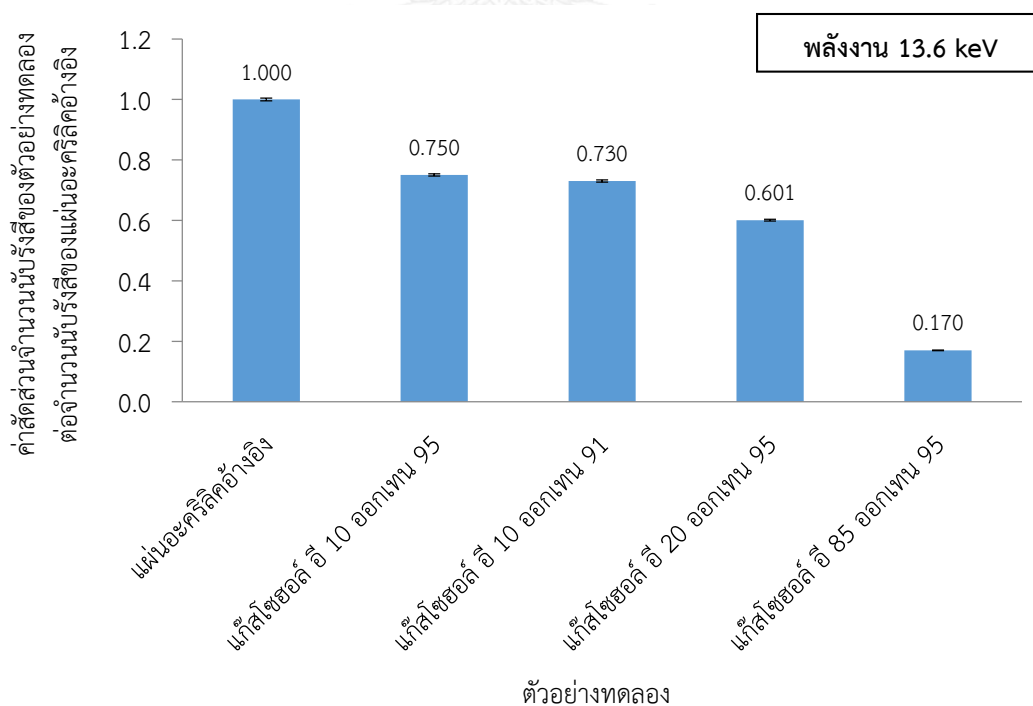
ผลการทดลองพบว่า การทดลองสร้างกราฟความสัมพันธ์ของสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพที่ต่างกันโดยใช้เทคนิครังสีเอกซ์ทะลุผ่านนี้สามารถแยกแยะสัดส่วนของเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ระดับ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรได้

#### 4.4 ผลการทดลองหาระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เหมาะสม

การทดลองหาระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่มีความเข้มข้นของเอทานอลแปลงสภาพที่ต่างกันนั้น พิจารณาเลือกจากตัวแทนสัดส่วนจำนวนนับรังสีในแต่ละชนิดน้ำมันแก๊สโซฮอล์ จากผลการทดลองที่ 4.3

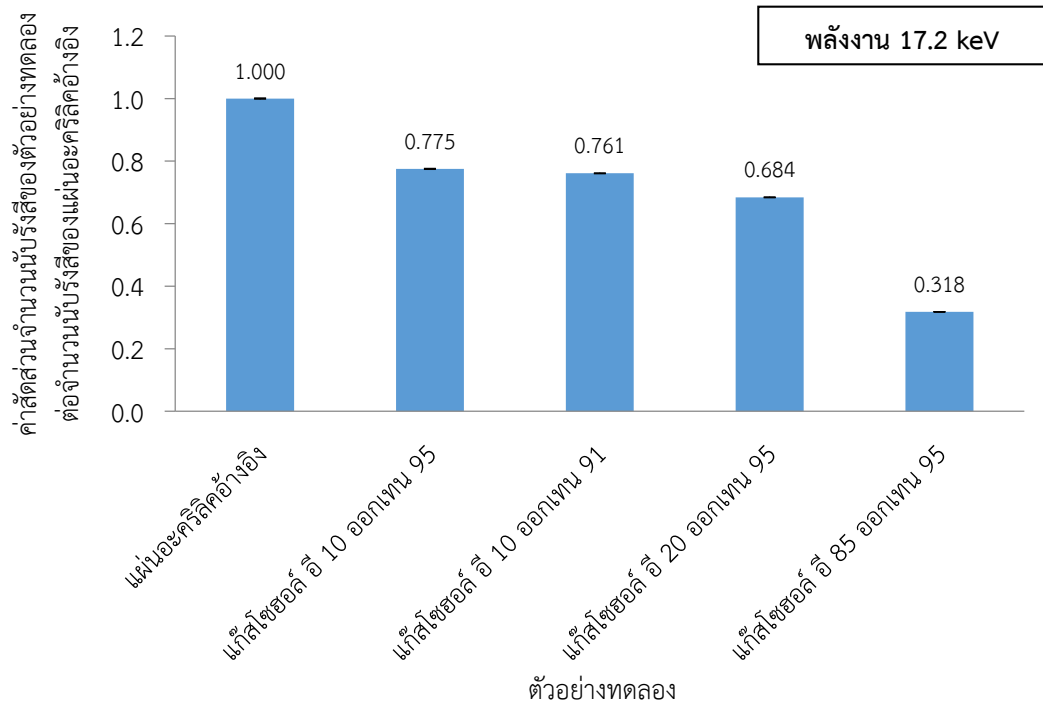
1. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
2. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
3. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร
4. น้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 คัดเลือกจากตัวอย่างเอทานอลแปลงสภาพ 85 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.23-4.26

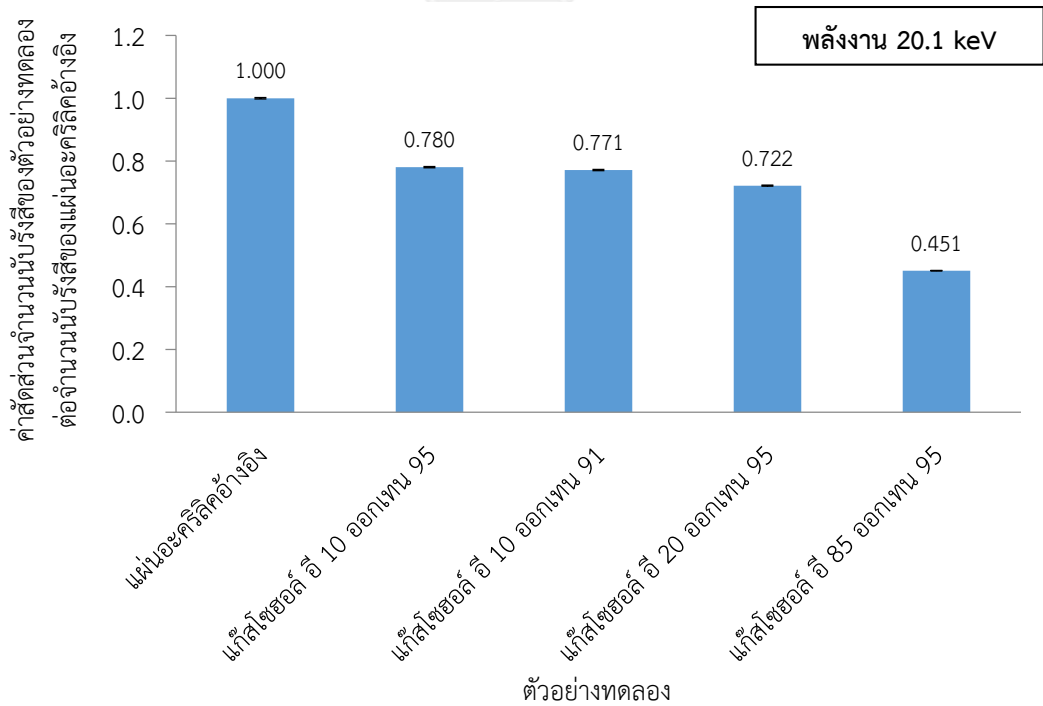


รูปที่ 4.23 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน

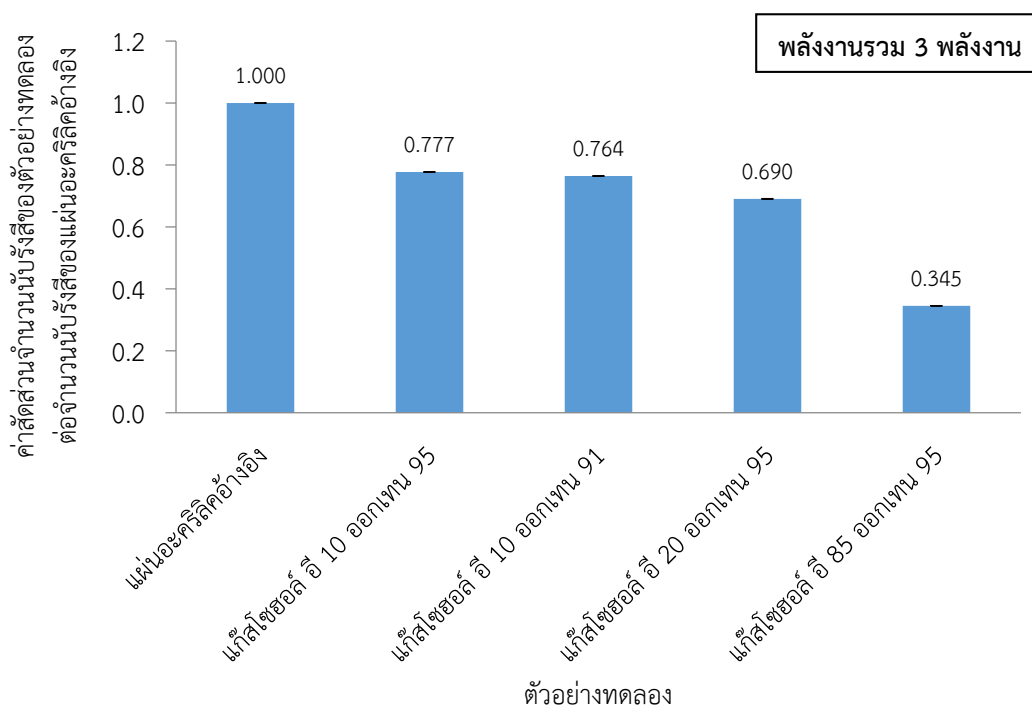
10 พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 4.24 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 4.25 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน  $1\sigma$  พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์



รูปที่ 4.26 สัดส่วนจำนวนน้ำมันที่เหลือของแฉะอะคริลิกหลังจากผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ แสดงแถบความคลาดเคลื่อน

#### 10 พิจารณาพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน

ผลการทดลองพบว่า การใช้รังสีเอกซ์ระดับพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีความเหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระดับพลังงาน 17.2, 20.1 และระดับพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เนื่องจากการใช้รังสีเอกซ์ระดับพลังงานต่ำจะมีความไวในการจำแนกประเภทน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ดีที่สุด

#### 4.5 สัดส่วนจำนวนน้ำมันที่เหลือของน้ำมันแก๊สโซฮอล์จากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

การทดลองหาสัดส่วนค่าน้ำมันที่เหลือของน้ำมันแก๊สโซฮอล์โดยเปิดภาชนะวัด ซึ่งเก็บตัวอย่างจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งมีระยะเวลาเก็บตัวอย่างห่างกัน 8 เดือน พิจารณารังสีเอกซ์ที่ระดับพลังงาน 13.6, 17.2, 20.1 และพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน จากต้นกำเนิดรังสีเอกซ์จากพลูโตเนียม-238 และใช้หัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ กำหนดเวลานับรังสี 600 วินาที สำหรับตัวอย่างทดลองทุกชนิด ยกเว้นน้ำมันแก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95 ซึ่งใช้เวลานับรังสี 1,200 วินาที ดังตารางที่ 4.2-4.5

ตารางที่ 4.2 สัดส่วนจำนวนน้ํารังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ํามันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงาน 13.6 กิโล  
อิเล็กตรอนโวลต์

ชื่อทางการค้า	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91	แก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95
เก็บตัวอย่าง 08/04/2557				
ปตท. (1)	0.800*	0.741*	0.645*	0.198*
	0.780**	0.722**	0.621**	0.190**
ปตท. (2)	0.794*	0.741*	0.640*	0.197*
	0.787**	0.724**	0.621**	0.188**
ปตท. (3)	0.797*	0.742*	0.642*	0.196*
	0.781**	0.725**	0.618**	0.188**
เก็บตัวอย่าง 09-16/08/2556				
ปตท. (1)	0.700*	0.745*	0.559*	0.196*
	0.692**	0.724**	0.546**	0.189**
บางจาก	0.702*	0.744*	0.591*	0.207*
	0.697**	0.729**	0.571**	0.200**
CALTEX	0.697*	0.737*	-	-
	0.680**	0.720**	-	-
SHELL	0.697*	0.749*	-	-
	0.686**	0.727**	-	-
PETRONAS	0.703*	0.742*	-	-
	0.688**	0.727**	-	-
ESSO (1)	0.701*	0.745*	-	-
	0.687**	0.727**	-	-
ESSO (2)	0.703*	0.740*	-	-
	0.695**	0.722**	-	-

\* ทำการทดลองวันที่ 11-15 เมษายน 2557

\*\* ทำการทดลองวันที่ 2-5 มิถุนายน 2557

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนจำนวนน้ํารังสีเอกซ์ทะลุผ่านนํ้ามันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงาน 17.2 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

ชื่อทางการค้า	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91	แก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95
เก็บตัวอย่าง 08/04/2557				
ปตท. (1)	0.802*	0.767*	0.709*	0.347*
	0.796**	0.758**	0.695**	0.340**
ปตท. (2)	0.801*	0.768*	0.708*	0.346*
	0.793**	0.760**	0.697**	0.337**
ปตท. (3)	0.803*	0.770*	0.710*	0.347*
	0.794**	0.760**	0.695**	0.338**
เก็บตัวอย่าง 09-16/08/2556				
ปตท. (1)	0.743*	0.768*	0.653*	0.345*
	0.734**	0.762**	0.642**	0.338**
บางจาก	0.742*	0.768*	0.673*	0.359*
	0.736**	0.762**	0.663**	0.348**
CALTEX	0.739*	0.768*	-	-
	0.729**	0.755**	-	-
SHELL	0.740*	0.771*	-	-
	0.728**	0.759**	-	-
PETRONAS	0.742*	0.769*	-	-
	0.735**	0.760**	-	-
ESSO (1)	0.743*	0.768*	-	-
	0.734**	0.757**	-	-
ESSO (2)	0.743*	0.769*	-	-
	0.735**	0.757**	-	-

\* ทำการทดลองวันที่ 11-15 เมษายน 2557

\*\* ทำการทดลองวันที่ 2-5 มิถุนายน 2557

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนจำนวนน้ํารังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ํามันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงาน 20.1 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์

ชื่อทางการค้า	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91	แก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95
เก็บตัวอย่าง 08/04/2557				
ปตท. (1)	0.797*	0.771*	0.738*	0.477*
	0.790**	0.767**	0.732**	0.469**
ปตท. (2)	0.797*	0.773*	0.739*	0.475*
	0.790**	0.765**	0.730**	0.469**
ปตท. (3)	0.797*	0.775*	0.739*	0.477*
	0.790**	0.767**	0.728**	0.468**
เก็บตัวอย่าง 09-16/08/2556				
ปตท. (1)	0.755*	0.775*	0.700*	0.475*
	0.752**	0.767**	0.693**	0.468**
บางจาก	0.755*	0.770*	0.713*	0.489*
	0.749**	0.768**	0.704**	0.478**
CALTEX	0.752*	0.773*	-	-
	0.746**	0.764**	-	-
SHELL	0.754*	0.776*	-	-
	0.748**	0.767**	-	-
PETRONAS	0.753*	0.770*	-	-
	0.749**	0.766**	-	-
ESSO (1)	0.752*	0.773*	-	-
	0.745**	0.765**		
ESSO (2)	0.754*	0.772*	-	-
	0.749**	0.764**		

\* ทำการทดลองวันที่ 11-15 เมษายน 2557

\*\* ทำการทดลองวันที่ 2-5 มิถุนายน 2557

ตารางที่ 4.5 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พิจารณาพลังงานรวมทั้ง

3 พลังงาน

ชื่อทางการค้า	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 10 ออกเทน 91	แก๊สโซฮอล์อี 20 ออกเทน 95	แก๊สโซฮอล์อี 85 ออกเทน 95
เก็บตัวอย่าง 08/04/2557				
ปตท. (1)	0.804*	0.769*	0.714*	0.373*
	0.796**	0.761**	0.702**	0.366**
ปตท. (2)	0.803*	0.770*	0.714*	0.372*
	0.794**	0.761**	0.702**	0.364**
ปตท. (3)	0.804*	0.772*	0.715*	0.373*
	0.794**	0.762**	0.700**	0.364**
เก็บตัวอย่าง 09-16/08/2556				
ปตท. (1)	0.746*	0.771*	0.661*	0.372*
	0.738**	0.763**	0.651**	0.364**
บางจาก	0.746*	0.770*	0.680*	0.385*
	0.740**	0.763**	0.669**	0.374**
CALTEX	0.742*	0.771*	-	-
	0.732**	0.757**	-	-
SHELL	0.744*	0.774*	-	-
	0.733**	0.761**	-	-
PETRONAS	0.746*	0.771*	-	-
	0.738**	0.762**	-	-
ESSO (1)	0.745*	0.771*	-	-
	0.736**	0.760**	-	-
ESSO (2)	0.746*	0.771*	-	-
	0.738**	0.759**	-	-

\* ทำการทดลองวันที่ 11-15 เมษายน 2557

\*\* ทำการทดลองวันที่ 2-5 มิถุนายน 2557

ผลการทดลองพบว่า สัดส่วนค่าน้ำแข็งของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ทุกประเภทเมื่อทดลองซ้ำจะได้ผลลดลงเนื่องจากน้ำมันพื้นฐานมีความสามารถในการระเหยได้เร็วกว่าเอทานอลแปลงสภาพ ทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของแก๊สโซฮอล์มีมากขึ้น ส่งผลให้รังสีเอกซ์ผ่านได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสัดส่วนจำนวนน้ำแข็งที่ทะลุผ่าน เปรียบเทียบในกรณีปิดภาชนะและเปิดภาชนะ ในการทดลองที่ 4.2 ซึ่งในกรณีเปิดภาชนะ สัดส่วนค่าน้ำแข็งของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้ผลลดลงเช่นกัน





## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

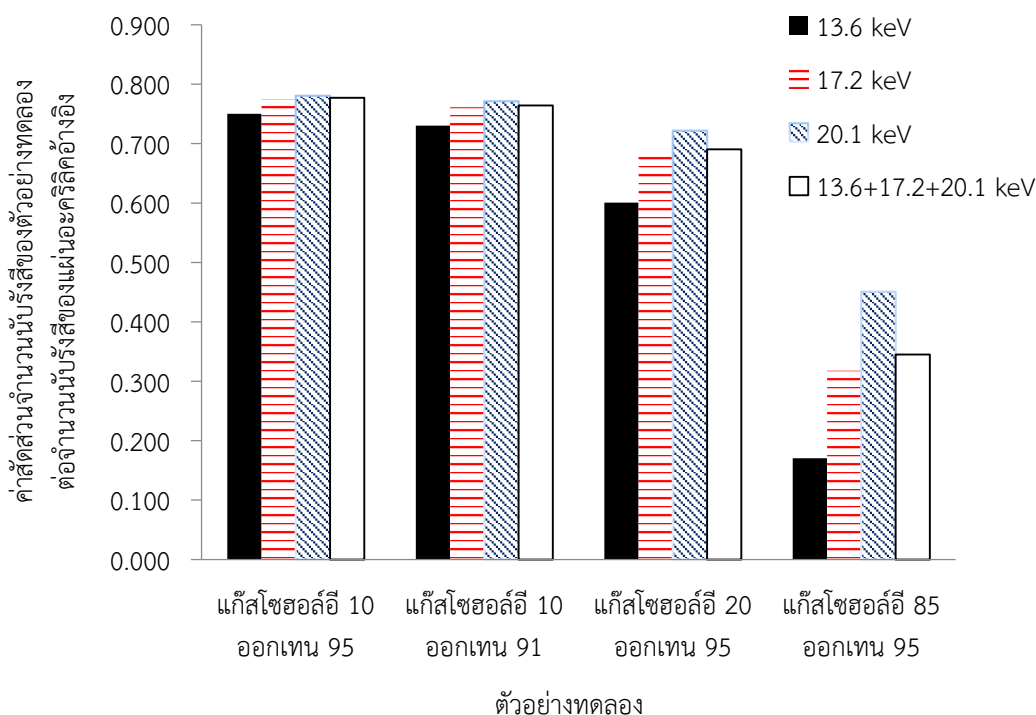
การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ ซึ่งเลือกพิจารณารังสีเอกซ์ที่ระดับพลังงาน 13.6, 17.2, 20.1 และพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน จากต้นกำเนิดรังสีพลูโตเนียม-238 โดยใช้หัววัดรังสีชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์ ซึ่งสามารถสรุปและอภิปรายได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 การทดลองหาสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์นั้น การเปิดภาชนะจะให้ผลการทดลองที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีปิดภาชนะ โดยสัดส่วนค่านับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านในกรณีเปิดภาชนะจะมีแนวโน้มค่อยๆลดลงในระดับที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่น้ำมันพื้นฐานมีความสามารถในการระเหยได้เร็วกว่าเอทานอลแปลงสภาพ ทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของแก๊สโซฮอล์มีมากขึ้น ส่งผลให้รังสีเอกซ์ผ่านได้น้อยลง ส่วนในกรณีปิดภาชนะซึ่งพบว่าไม่เหมาะสมต่อการตรวจวัดนั้น มีสาเหตุมาจากปัญหาความดันไอของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากการปิดภาชนะ เมื่อความดันในภาชนะมีมากขึ้น แก๊สโซฮอล์ในรูปของแก๊สจึงแทรกตัวเข้าไปในน้ำมันทำให้ความหนาแน่นโดยรวมของแก๊สโซฮอล์ลดลง ส่งผลให้สัดส่วนค่านับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และจะลดลงทันทีเมื่อมีการเปิดภาชนะเพื่อระบายความดันของไอน้ำมัน

5.1.2 การใช้เทคนิครังสีเอกซ์ทะลุผ่าน สามารถแยกแยะสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพที่มีเข้มข้นแตกต่างกัน 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ได้

5.1.3 เมื่อใช้ระดับพลังงานของรังสีเอกซ์ลดลง จะสามารถเห็นความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์เอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโซฮอล์ดีขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงเส้นของเอทานอลแปลงสภาพและน้ำมันเบนซินพื้นฐานมีค่าสูงขึ้น

5.1.4 การใช้รังสีเอกซ์ระดับพลังงาน 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีความเหมาะสมที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับระดับพลังงาน 17.2, 20.1 และพลังงานรวมทั้ง 3 พลังงาน เนื่องจากการใช้รังสีเอกซ์ระดับพลังงานต่ำจะมีความไวในการจำแนกประเภทน้ำมันแก๊สโซฮอล์ที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สัดส่วนจำนวนนับรังสีเอกซ์ทะลุผ่านน้ำมันแก๊สโครมาโทกราฟีต่อจำนวนนับรังสีของแผ่นอะคริลิกอ้างอิง

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้วิธีตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโครมาโทกราฟีด้วยเทคนิคการส่งผ่านรังสีเอกซ์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ จะต้องตรวจวัดแบบระบบเปิด และไม่ควรรนำตัวอย่างที่ผ่านการเปิดภาชนะมาวัดซ้ำอีก เนื่องจากสัดส่วนขององค์ประกอบในน้ำมันแก๊สโครมาโทกราฟีได้เปลี่ยนแปลงไปแล้ว สำหรับการตรวจสอบสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโครมาโทกราฟีโดยพิจารณาจากกราฟเปรียบเทียบที่นักวิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้ตรวจสอบนั้นควรใช้การจัดวางระบบตรวจวัดอย่างเดียวกันหรือทดลองในครั้งเดียวกัน เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากการจัดวางระบบตรวจวัด

5.2.2 หากต้องการตรวจวัดสัดส่วนเอทานอลแปลงสภาพในน้ำมันแก๊สโครมาโทกราฟีในช่วงความเข้มข้นที่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร สามารถทดลองใช้ภาชนะที่มีความจุมากขึ้นซึ่งให้ระยะทางของการส่งผ่านรังสีมากขึ้น ประกอบกับการใช้ต้นกำเนิดรังสีที่ให้พลังงานต่ำกว่า 13.6 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ โดยที่รังสียังคงทะลุผ่านได้อยู่ และควรพิจารณาระบบกำบังเพื่อป้องกันอันตรายจากรังสีร่วมด้วย

## รายการอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย. 2557, กรุงเทพมหานคร.
2. กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน, ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ พ.ศ.2557. 2557: ราชกิจจานุเบกษา. p. 26-28.
3. ดวงใจ นาคะปรีชา และคณะ, โครงการชุดเครื่องวัดแก๊สโซฮอล์สยาม: การพัฒนาต้นแบบพร้อมผลผลิตของชุดเครื่องวัดคุณภาพแก๊สโซฮอล์ชนิดเคลื่อนที่และชนิดใช้ในห้องปฏิบัติการ. 2553: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
4. เหมือนฝัน เอี่ยมศิริ, การพัฒนาเทคนิคนิวเคลียร์สำหรับจำแนกประเภทของเหลวในภาชนะปิด. 2553, ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. วราวุธ ดิยพงศ์พัฒนา และคณะ, แก๊สโครมาโทกราฟีสำหรับการควบคุมคุณภาพแก๊สโซฮอล์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 21, 2556. 2: p. 135-147.
6. สุนันทา ศรีท้าว และคณะ, การพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ ปีที่ 6, 2549. 2: p. 79-88.
7. Demir D. and et al., *Determination of photon attenuation coefficient, porosity and field capacity of soil by gamma-ray transmission for 60, 356 and 662 keV gamma rays*. Applied Radiation and Isotopes, 2008. 66: p. 1834-1837.
8. กระทรวงพลังงาน, คู่มือองค์ความรู้ เรื่อง น้ำมันแก๊สโซฮอล์และไบโอดีเซล ประจำปีงบประมาณ 2553. 2553.
9. คณะกรรมการพลังงาน สภาผู้แทนราษฎร, พลังงานทดแทน เอทานอลและไบโอดีเซล. 2545, กรุงเทพมหานคร: บริษัท แพลน พรินต์ติ้ง.
10. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงพลังงาน, รายงานการศึกษาเปรียบเทียบเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลของสหรัฐอเมริกาและไทย. 2551.
11. กรมธุรกิจพลังงาน, ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของเอทานอลแปลงสภาพ พ.ศ. 2548. 2548: ราชกิจจานุเบกษา. p. 8-9.
12. ประเสริฐ เทียนพินิจ และคณะ, ประเภทของน้ำมันเชื้อเพลิงและคุณภาพน้ำมัน. 2544. p. 132-149.
13. ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์ กรมควบคุมมลพิษ, เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (MSDS) เอทานอล.
14. บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน), เอกสารข้อมูลความปลอดภัย (SDS) น้ำมันเบนซินพื้นฐาน.
15. Vapor Pressures of Ethanol/Gasoline Blends, *Volatility Characteristics of Gasoline-Alcohol and Gasoline-Ether Fuel Blends*. SAE International Paper 852116.
16. วิชัย เชี่ยวชาญศิลปะเลิศ และคณะ, การศึกษาการใช้ น้ำมันแก๊สโซฮอล์กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน. สาขาวิศวกรรมยานยนต์ ภาควิชาเครื่องกลและยานยนต์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.

17. สัมพันธ์ วงศ์นาวา, เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์. 2547, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 278.
18. นवलวี รุ่งธนเกียรติ, วิทยาศาสตร์นิวเคลียร์. 2545, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 334.
19. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ, *Nuclear Radiation Detection and Instrument*, เอกสารการสอนวิชา 2111606 2547: นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
20. Technology, N.I.o.S.a., *X-ray mass attenuation coefficient*.
21. Nicholas, T. and L. Sheldon, *Measurement and detection of radiation*. 2011, United States of America: Taylor and Francis Group.
22. Knoll, F., *Radiation Detection and Measurement*. 1999: John Wiley&Sons, Inc.
23. Perry Sprawls, *Statistics of Radiation Events*.



### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ธีศิษฏ์ สองเมือง เกิดวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษา ดังนี้

- พ.ศ. 2549 หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- พ.ศ. 2555 หลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย  
คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
- พ.ศ. 2555 หลักสูตรศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขารัฐศาสตร์การปกครอง  
คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหามกุฏราชวิทยาลัย

#### ประวัติการอบรม

- พ.ศ. 2554 วุฒิบัตรวิศวกรควบคุม สาขาสิ่งแวดล้อม ระดับภาคี สภาวิศวกร
- พ.ศ. 2554 วุฒิบัตรวิศวกรควบคุม สาขาโยธา ระดับภาคี สภาวิศวกร
- พ.ศ. 2554 วุฒิบัตรการทดสอบแบบไม่ทำลาย ในหลักสูตร (RT, MT, UT, PT)  
ระดับ 2 สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยี ไทย-ฝรั่งเศส มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ปัจจุบันรับราชการตำแหน่งวิศวกรปฏิบัติการ สำนักงานพลังงานจังหวัดกระบี่  
สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน กระทรวงพลังงาน