ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ บร
ขว 4

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิง

โดย
นางศิริวรรณ ดิลประดิลสุข
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ผู้ร่วมดำเนินการ
นางสาวกานดา โกมลวัฒนชัย
นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ
สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8 ว

การศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิง

เลขหมู่ วศ มธ
004
เลขทะเบียน 12317
วันที่ 17 / ส.ค. / 47

โดย

นางศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข

นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ผู้ร่วมดำเนินการ

นางสาวกานดา โกมลวัฒนชัย

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
.....วศ.....

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ

สำนักบริหารและรับรองห้องปฏิบัติการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้เป็นการศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้เครื่องมือ Automatic Sulphur Analyzer (ตามวิธี ASTM D 4239 และ ASTM D 1522) เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณ กำมะถันโดยใช้ Bomb Calorimeter (ตามวิธี ASTM D 3177 และ ASTM D 129)

ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ ถ่านหินซึ่งมีปริมาณกำมะถันในช่วงร้อยละ 0.3-2.7 น้ำมันเตาซึ่งมีกำมะถันในช่วงร้อยละ 1.5-2.8 และน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.151 เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาโดยวิธีที่ใช้เครื่อง Automatic Sulphur Analyzer พบว่าให้ผลที่มีค่าสูงกว่าวิธีที่วิเคราะห์โดยเครื่อง Bomb calorimeter แต่เมื่อทำการทดสอบความแม่นด้วยสารมาตรฐานดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.151 พบว่าทั้งสองวิธีให้ความแม่นทั้งคู่ สำหรับตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งมีกำมะถันในช่วงร้อยละ 0.02-0.13 และสารมาตรฐานดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.0496 พบว่าวิธีทั้งสองให้ผลที่ไม่แตกต่างกันและเมื่อทดสอบความแม่นด้วยสารมาตรฐานดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.0496 พบว่าทั้งสองวิธีให้ความแม่นทั้งคู่เช่นกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากการศึกษาพบว่าถ้าตัวอย่างมีปริมาณกำมะถันอยู่ระหว่างร้อยละ 0.3-2.8 พบว่าวิธีวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer จะให้ค่าที่สูงกว่าวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter แต่ถ้าตัวอย่างมีปริมาณกำมะถันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.13 พบว่าวิธีทั้งสองให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อทดสอบความแม่นของวิธีทั้งสองพบว่ามีความแม่นทั้งคู่

เมื่อเปรียบเทียบความเที่ยงระหว่างผลการวิเคราะห์ทั้งสองพบว่าวิธี Automatic Sulphur Analyzer มีความเที่ยงมากกว่าวิธี Bomb calorimeter โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของข้อมูลพบว่าทุกตัวอย่างให้ผลเหมือนกันคือมีการกระจายของข้อมูลน้อยกว่า

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	1
1.2 ปัญหาและที่มา	5
1.3 วัตถุประสงค์	6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	6
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	6
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ	7
2.1 รายละเอียดตัวอย่าง	7
2.2 วัสดุ อุปกรณ์	7
2.3 สารเคมี	7
2.4 วิธีการ	8
บทที่ 3 ผลการทดลอง	15
3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน	15
3.2 ผลการทดสอบการแจกแจงข้อมูล	16
3.3 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธี แบบจับคู่	16
3.4 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธี โดยสุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระ	17
3.5 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันของวิธีต่าง ๆ	18
บทที่ 4 วิจารณ์ผลการทดลอง	30
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	36
กิตติกรรมประกาศ	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ	39
ภาคผนวก ข. การคำนวณข้อมูลทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS	46
ภาคผนวก ค. ตารางค่าวิกฤตของค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน	60

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ค่าสถิติของตัวอย่างถ่านหิน โดยเครื่อง Automatic sulphur analyzer (วิธี ASTM D 4239)	20
ตารางที่ 2	ค่าสถิติของตัวอย่างถ่านหิน โดยเครื่อง Bomb calorimeter (วิธี ASTM D 3177)	21
ตารางที่ 3	ค่าสถิติของตัวอย่างน้ำมันเตา โดยเครื่อง Automatic sulphur analyzer (วิธี ASTM D 1552)	22
ตารางที่ 4	ค่าสถิติของตัวอย่างน้ำมันเตา โดยเครื่อง Bomb calorimeter (วิธี ASTM D 129)	22
ตารางที่ 5	ค่าสถิติของตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเครื่อง Automatic sulphur analyzer (วิธี ASTM D 4239)	23
ตารางที่ 6	ค่าสถิติของตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล โดยเครื่อง Bomb calorimeter (วิธี ASTM D 3177)	24
ตารางที่ 7	ค่าสถิติของ สารมาตรฐานดีเซล AR 2821	25
ตารางที่ 8	ค่าสถิติของ สารมาตรฐานดีเซล AR 2875	25
ตารางที่ 9	การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล	26
ตารางที่ 10	การทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธี แบบจับคู่ (Paired- Samples T Test)	27
ตารางที่ 11	การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 วิธี โดยที่สุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระ (Independent- Samples T Test)	28
ตารางที่ 12	การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันของวิธีต่าง ๆ	29

บทที่ 1
บทนำ

1.1 คำนำ

ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่จะก่อให้เกิดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เมื่อรวมตัวกับออกซิเจนและไอน้ำในอากาศจะกลายเป็นไอกรดกำมะถัน และทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ ที่มีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียง โดยไอกรดกำมะถันจะทำให้เกิดการระคายเคือง และอวัยวะต่าง ๆ เกิดอาการอักเสบ เช่น นัยน์ตา ผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ และระบบประสาทที่เกี่ยวข้อง อาการที่เกิดขึ้นมีทั้งเฉียบพลัน และแบบเรื้อรัง อาการที่เกิด ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแก๊สดังกล่าว และระยะเวลาที่ร่างกายสัมผัส นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อเครื่องจักรอุปกรณ์ต่าง ๆ เพราะไอกรดเมื่อรวมกับฝุ่นละอองทำให้เกิดความสกปรก และเกิดการสึกกร่อน และมีผลกระทบต่อสภาพนิเวศน์วิทยา เนื่องจากแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นอันตรายต่อคุณภาพของดิน และเป็นอันตรายต่อพืช โดยปรกติสารมลพิษจะเข้าสู่ต้นไม้ได้โดยการหายใจเอาอากาศผ่านรูใบ สารเหล่านั้นจะทำลายคลอโรฟิลล์ และมีผลกระทบต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้พืชเสียหาย โดยพืชจะชะงักการเจริญเติบโตและตายในที่สุด อาจกล่าวได้ว่าแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์มีผลกระทบต่อพืชและสัตว์ในบริเวณใกล้เคียง ทำให้ระบบนิเวศน์เปลี่ยนไปหรือเสื่อมไป

1.1.1 ชนิดของกำมะถันในถ่านหิน[6]

ถ่านหินเป็นตัวแทนของทรัพยากรพลังงานประเภทฟอสซิลที่มีมากที่สุดในโลก แต่การนำถ่านหินมาใช้ประโยชน์ถูกจำกัดโดยปริมาณกำมะถันที่มีอยู่ในองค์ประกอบ ถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงเป็นสาเหตุ หลักในการเกิดมลภาวะทางอากาศ (เช่น ฝนกรด) โดยเกิดจากการผลิตกระแสไฟฟ้าและบอยเลอร์ ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ

ถ่านหินที่มีปริมาณกำมะถันสูงมักจะเป็นกำมะถันประเภทแร่ ซึ่งส่วนมากเป็นเหล็กไพไรต์ หรือบางครั้งอาจจะประกอบด้วยโลหะซัลไฟด์และซัลเฟต อื่น ๆ และบางครั้งอาจจะมีธาตุกำมะถันปนอยู่บ้างในปริมาณน้อย กำมะถันในรูปอินทรีย์ก็มีอยู่ในองค์ประกอบของถ่านหินเช่นเดียวกัน แต่ปริมาณนั้นจะขึ้นกับประเภทของถ่านหิน ซึ่งอาจสรุปได้ว่าชนิดของกำมะถันในถ่านหินแบ่งเป็น 2 ประเภท

ก. *กำมะถันอนินทรีย์*

ได้มีการศึกษาองค์ประกอบของกำมะถันอนินทรีย์และองค์ประกอบอนินทรีย์อื่น ๆ ในถ่านหินมาเป็นเวลานานแล้ว แร่ซัลไฟด์ (mineral sulphide) ประกอบด้วย ไพไรต์ (pyrite, FeS_2) ไดมอร์ฟิกมาร์กาไซต์ (dimorphic marcasite, FeS_2) สฟาเลอร์ไรต์ (sphalerite, ZnS) กาลีนา (galena, PbS) ชาลโคไพไรต์ (chalcopyrite, $CuFeS_2$) ไพโรไทต์ (pyrrhotite, $Fe_{1-x}S$) อาร์เซโนไพไรต์ (arsenopyrite, FeAsS) และอื่น ๆ โดยทั่วไปแล้วไพไรต์เป็นกำมะถัน อนินทรีย์กลุ่มหลักในถ่านหิน อยู่ในรูปผลึกที่มีขนาดไมโครเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ถึง 40 ไมโครเมตร และอาจจะรวมกันเป็นก้อนที่มีขนาดเท่าหินก้อนใหญ่ ๆ แร่กำมะถัน (mineral sulphur) นั้นรวมถึง

แบไรต์ (barite, $BaSO_4$) ยิบซัม (gypsum, $CaSO_4.2H_2O$) แอนไฮไดรต์ (anhydrite, $CaSO_4$) พวกเหล็กซัลเฟต และอื่น ๆ

ข. กำมะถันอินทรีย์

การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหินยากกว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบกำมะถันอนินทรีย์ เพราะว่ากำมะถันอินทรีย์เป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างแมคโครโมเลกุลของถ่านหินเอง

ปริมาณกำมะถันอินทรีย์ในถ่านหินมีตั้งแต่ไม่ถึงหนึ่งเปอร์เซ็นต์จนถึงหลาย ๆ เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปปริมาณกำมะถันไพริติก มักจะมีเท่า ๆ กับปริมาณของกำมะถันอินทรีย์ แต่ก็มีถ่านหินที่หายากบางชนิดที่มีปริมาณกำมะถันไพริติกน้อยมากแต่มีปริมาณกำมะถันอินทรีย์สูงมาก ถ่านหินพิเศษประเภทนี้พบในประเทศสเปน โครเอเทีย นิวซีแลนด์ อินเดีย และในบางส่วนของโลก ถ่านหินประเภทนี้มักจะใช้ในการทำวิจัยเพื่อศึกษากำมะถันอินทรีย์เนื่องจากมีการรบกวนจากไพไรต์น้อย

ดังนั้นการทราบปริมาณทั้งหมดของกำมะถันที่มีอยู่ในถ่านหินเป็นสิ่งสำคัญ เพราะกำมะถันในทุกรูป จะเปลี่ยนเป็นกำมะถันไดออกไซด์เมื่อถูกเผาไหม้ และปริมาณของกำมะถันอินทรีย์สามารถคำนวณได้จากการนำปริมาณของกำมะถันในรูป ไพไรติก และซัลเฟต หักออกจากปริมาณกำมะถันทั้งหมด

1.1.2. การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งหมด

วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในตัวอย่างเชื้อเพลิง โดยทั่วไปจะแบ่งตามประเภทของเชื้อเพลิงเช่น ถ่านหิน หรือ น้ำมันเชื้อเพลิงและตามชนิดของเครื่องมือ

1.1.2.1 สำหรับถ่านหินจะใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM D 3177 ซึ่งกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์สองวิธี คือ วิธี Eschkaโดยตัวอย่างจะถูกเผากับส่วนผสมของแมกเนเซียมออกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต แล้ววิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตโดยการตกตะกอนในรูปของแบเรียม ซัลเฟต และวิธี Bomb washing

1.1.2.2 ตัวอย่างประเภทน้ำมันปิโตรเลียมเช่นน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น ใช้วิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 ซึ่งเป็นการหาปริมาณกำมะถันโดยใช้ ออกซิเจนบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ เช่นเดียวกับตัวอย่างถ่านหิน ซึ่งวิธีนี้จะใช้ได้กับตัวอย่างซึ่งมีปริมาณกำมะถันสูงกว่าร้อยละ 0.1

ในการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยวิธี Bomb washing จะใช้ออกซิเจนบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ตัวอย่างจะถูกเผาไหม้ในบอมบ์ ที่อัดออกซิเจนภายใต้ความดันสูง จากนั้นกำมะถันในรูปของซัลเฟตซึ่งอยู่ในสารละลายที่ได้จากการล้างบอมบ์จะนำไปหาปริมาณของกำมะถัน โดยการตกตะกอนกับสารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) ตะกอนที่ได้จะอยู่ในรูปของแบเรียมซัลเฟต แล้วคำนวณเป็นร้อยละของกำมะถันในตัวอย่าง วิธีนี้มีข้อเสียคือไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีปริมาณกำมะถันต่ำกว่าร้อยละ 0.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์แต่ละครั้งใช้เวลานาน และในการตกตะกอนต้องใช้ น้ำโบรมีนอิ่มตัวซึ่งเป็นสารอันตราย แต่การวิเคราะห์กำมะถันด้วยวิธีนี้มีข้อดีคือเป็นผลพลอยได้จากการวิเคราะห์ค่าความร้อน

ต่อมาได้มีการพัฒนาการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยใช้เครื่องมืออัตโนมัติคือเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับตัวอย่างที่เป็นทั้งเชื้อเพลิงแข็งและเชื้อเพลิงเหลว ทั้งนี้ขึ้นกับ

การสร้างกราฟมาตรฐาน ให้เหมาะสมกับช่วงความเข้มข้นของกำมะถันในตัวอย่าง และสามารถวิเคราะห์ได้ครั้งละหลายตัวอย่างในเวลาอันรวดเร็ว แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือเครื่องมือมีราคาแพงและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง ซึ่งแบ่งตามประเภทของเชื้อเพลิงได้ดังนี้

ก. การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินและถ่านโค้กโดยใช้วิธีเผาในเตาเผาแบบท่ออุณหภูมิสูง วิเคราะห์ตาม ASTM D 4239

ในวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยการเผาในเตาเผาแบบท่ออุณหภูมิสูงนี้สามารถคำนวณหาปริมาณกำมะถันได้ 3 วิธี [5] คือ

1. วิธี A (High Temperature Combustion Method with Acid-Base Titration Detection Procedure) เป็นการหาปริมาณกำมะถันโดยการไตเตรตแบบกรด-ด่าง
2. วิธี B (High Temperature Combustion Method with Iodimetric Detection Procedure) เป็นหาปริมาณกำมะถันโดยวิธีไอโอดิเมตริก
3. วิธี C (High Temperature Combustion Method with Infrared Absortion Detection Procedure) เป็นวิธีเผาตัวอย่างด้วยอุณหภูมิสูงแล้ววิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยใช้การดูดกลืนของแสงอินฟราเรด โดยตัวอย่างจะถูกเผาในเตาเผาที่มีลักษณะเป็นท่อที่อุณหภูมิอย่างต่ำ 1350 องศาเซลเซียส และมีแก๊สออกซิเจนช่วยในการออกซิไดซ์กำมะถัน ความชื้นและอนุภาคที่เกิดจากการเผาจะถูกจับด้วยแอนไฮดรัส แมกเนเซียม เปอร์คลอเรต กระแสของแก๊สจะผ่านไปยังเซล ซึ่งปริมาณของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกวัดจากการดูดกลืนแสงอินฟราเรด แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะดูดกลืนพลังงาน IR ที่ความยาวคลื่นเฉพาะภายในแถบแสง IR พลังงานจะถูกดูดกลืนเมื่อแก๊สผ่านตัวเซล ซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยพลังงาน IR ดังนั้นตัวรับ จะรับพลังงานลดลงเมื่อมีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผ่าน พลังงาน IR ที่เหลือทั้งหมดจะถูกกำจัดออกไปเมื่อผ่านไปถึงตัวรับโดยจะมีตัวกรองความยาวคลื่นดักอยู่ ดังนั้นพลังงาน IR ที่ถูกดูดกลืนไว้จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นจะเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ตัวรับ เซลหนึ่งเซลจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวอ้างอิง และหน่วยวัดตัวอย่าง ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในรูปซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกวัดแบบต่อเนื่อง วิธีนี้เป็นวิธีแบบเปรียบเทียบดังนั้นจำเป็นต้องใช้สารอ้างอิงรับรองในการสอบเทียบ

ข. สำหรับตัวอย่างประเภทน้ำมันปิโตรเลียมเช่นน้ำมันเตา น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น จะวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552

วิธีนี้หลังจากการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงแล้วสามารถวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันได้ 2 วิธี [4] คือ

1. วิธี Resistance Furnace-IR Detection

วิธีนี้ตัวอย่างจะถูกชั่งใส่ใน boat กระเบื้องซึ่งจะวางในเตาเผาที่อุณหภูมิ 1371 องศาเซลเซียสในบรรยากาศของออกซิเจน กำมะถันเกือบทั้งหมดในตัวอย่างจะถูกเผาให้อยู่ในรูปของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะถูกวัดด้วยอินฟราเรด ดีเทคเตอร์ หลังจากกำจัดความชื้นและฝุ่นออกไปก่อนด้วยตัวดัก ไมโครโปรเซสเซอร์จะคำนวณปริมาณกำมะถันให้อยู่ในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักจากน้ำหนัก

ตัวอย่างตั้งต้น โดยเทียบระหว่างสัญญาณที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐาน ซึ่งกราฟมาตรฐานนี้จะได้จากการใช้สารอ้างอิงมาตรฐาน

2. วิธีไอโอเดต (Iodate Detection)

หลังจากที่ตัวอย่างถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจนกลายเป็นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แล้ว จะถูกผ่านไปยังแอบซอร์บเบอร์ซึ่งมีสารละลายกรดของโปแตสเซียม ไอโอไดด์ และมีแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานของโปแตสเซียมไอโอเดตลงไปในแอบซอร์บเบอร์สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน เมื่อแก๊สที่เกิดจากการเผาตัวอย่างและผ่านไปยังแอบซอร์บเบอร์จะทำให้สีน้ำเงินจางลงจึงต้องมีการเติมสารละลายมาตรฐานของโปแตสเซียมไอโอเดตเพิ่มลงไปเรื่อย ๆ ดังนั้นปริมาณของไอโอเดตที่เติมลงไปนี้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณกำมะถันในตัวอย่าง

1.1.3 งานวิจัยการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน

ในปี ค.ศ. 1984 Hern[8] ได้ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งหมด ในตัวอย่างพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด หญ้าเบอร์มิวดา ใบฝ้าย เป็นต้นโดยใช้เครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างถ่านหิน ปริมาณกำมะถันที่วิเคราะห์ได้อยู่ระหว่างร้อยละ(โดยน้ำหนัก) 0.15-0.75 ด้วยอัตราการวิเคราะห์ 3 นาทีต่อ 1 ตัวอย่าง

ปี ค.ศ. 1986 Gerzabek และ Schaffer[7] เปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในตัวอย่างดินระหว่าง 2 วิธี คือ 1. การออกซิเดชันกำมะถันทั้งหมดด้วยของผสมระหว่าง $NaNO_3/KNO_3$ แล้ววิเคราะห์ปริมาณ SO_4^{2-}-S โดยวิธี Turbidimetric กับ วิธีที่ 2 วิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งหมดด้วยเครื่องวิเคราะห์อัตโนมัติ (รุ่น SC 132 ยี่ห้อ Leco) ซึ่งใช้หลักการเผาตัวอย่างในบรรยากาศออกซิเจน ให้อยู่ในรูป SO_2 กำจัดความชื้นแล้วหาปริมาณกำมะถันโดยใช้ Infrared spectrometer จากผลการทดลองพบว่าได้ค่าสหสัมพันธ์ ระหว่าง 2 วิธี (Correlation) $r = 0.68$ โดยมีสมการเส้นตรง $y = 50.15 + 0.23x$ ผลการเปรียบเทียบพบว่าค่าที่ได้จากการใช้เครื่องวิเคราะห์กำมะถันอัตโนมัติจะคิดเป็นร้อยละ 40 ของค่าที่ได้จากวิธี Turbidimetric ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาของ Smith[11] ที่ทำในปี 1980 โดยเขาพบว่าผลจากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างพืชซึ่งเผาในเตาเผาแบบ Induction furnace แล้วไตเตรตหาปริมาณกำมะถันด้วยสารละลาย 0.01776 % KIO_3 ไม่แตกต่างจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Turbidimetry และ Gravimetry

ต่อมาในปี ค.ศ. 1987 Abraham และ DeMan[3] ได้ทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างน้ำมัน Canola โดยใช้ออกซิเจนบอมบ์ ซึ่งกำมะถันในรูปต่าง ๆ จะถูกเปลี่ยนเป็นซัลเฟต จากนั้นทำการแยกซัลเฟตออกจากอิออนอื่น ๆ โดยวิธีอิออนโครมาโตรกราฟี และวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันด้วย conductivity detector ซึ่งในการศึกษานี้ได้เตรียมสารมาตรฐานซึ่งมีปริมาณกำมะถันอยู่ในช่วง 9.3 ถึง 143.5 ppm (หรือร้อยละ 0.00093 ถึง 0.0144) จำนวน 11 ตัวอย่าง เมื่อวิเคราะห์โดยวิธีดังกล่าว พบว่าให้ค่า recovery ตั้งแต่ร้อยละ 95.7 ถึง 102.2 และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรผัน (coefficient of variability) อยู่ระหว่างร้อยละ 1.0 ถึง 2.9 นอกจากนั้นยังได้ทำการเปรียบเทียบวิธีดังกล่าวกับวิธีตกตะกอนแบเรียมของตัวอย่างน้ำมันมัสตาดซึ่งมีกำมะถันปริมาณสูงเมื่อ

พลอตกราฟเปรียบเทียบปริมาณกำมะถันของทั้ง 2 วิธี พบว่าให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) เป็น 0.997 และความชันเท่ากับ 1.0

ค.ศ. 1996 Matejovic[9] ประยุกต์วิธีของ Dumas เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณ คาร์บอน ไนโตรเจน และกำมะถัน ในตัวอย่างพืช เช่น เมล็ด และลำต้นของ ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และถั่วเหลือง โดยบดตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ให้มีขนาด 0.05 × 0.05 มิลลิเมตร แช่เย็นที่ 8 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรืออาจจะใช้ทั้งเมล็ด จากนั้นวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง CNS 2000 Analyzer ซึ่งใช้หลักการเผาไหม้ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการใช้เครื่องอัตโนมัติสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่บดละเอียดหรือเมล็ดขนาดเล็กที่ไม่บดได้ดี ประโยชน์ที่ได้จากวิธีนี้คือให้ความเที่ยงสูง (high precision) กับตัวอย่างที่มีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ลดขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่าง ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น และหลีกเลี่ยงการเกิดสารประกอบโลหะ (mineralization) ถ้าหากตัวอย่างมีกรดและโลหะหนักในองค์ประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nagy (ค.ศ. 2000)[10] โดยศึกษาตัวอย่างดินและพืช เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากการใช้เครื่อง CNS Analyzer กับผลจากวิธีอื่น ๆ และจากผลการทดสอบความชำนาญ พบว่าให้ผลที่แม่นและสอดคล้องกัน โดยมีการกำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องมือให้แตกต่างกันในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ต่างกัน เช่นระยะเวลาในการวิเคราะห์จะใช้ตั้งแต่ 4 ถึง 10 นาที ปริมาณตัวอย่างของพืชที่ใช้ทำการวิเคราะห์จะอยู่ระหว่าง 0.005 ถึง 0.05 กรัมส่วนตัวอย่างดินจะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 0.18 กรัม นอกจากนั้นยังมีการกำหนดปริมาณออกซิเจนในการวิเคราะห์ตัวอย่างพืช ให้อยู่ในช่วง 18-27.5 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร/นาที และ 27.5-37.1 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร/นาทีสำหรับตัวอย่างดิน และอุณหภูมิในการเผาไหม้ที่ให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน ไนโตรเจน และกำมะถัน ที่มีความแม่นอยู่ในเกณฑ์การยอมรับคือ 1150 องศาเซลเซียส Nagy สรุปว่าประโยชน์สำหรับวิธีการใช้เครื่องวิเคราะห์อัตโนมัตินี้ที่เห็นได้ชัดคือ ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นและสามารถวิเคราะห์ได้อย่างต่อเนื่อง การเตรียมตัวอย่างทำได้ง่ายและใช้ตัวอย่างน้อย ให้ผลน่าเชื่อถือ แต่ข้อเสียสำหรับวิธีนี้คือราคาสูงเมื่อเทียบกับวิธีอื่น

จากการศึกษางานวิจัยเปรียบเทียบที่มีผู้ศึกษามาก่อนหน้านี้พบว่าส่วนหนึ่งเป็นงานที่ศึกษาจากพืชเมืองหนาวเช่น ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ น้ำมัน Canola หรือตัวอย่างดิน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันอัตโนมัติเทียบกับวิธีอื่น ผลการวิเคราะห์ของแต่ละการศึกษาจะแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยที่ศึกษา เช่นตัวอย่างที่ศึกษา พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และวิธีที่นำมาเปรียบเทียบกัน เป็นต้น

1.2 ปัญหาและที่มา

ปัจจุบันนี้ประเทศไทยมีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว มีความเจริญด้านการคมนาคม และสิ่งอำนวยความสะดวก ซึ่งเป็นผลให้มีการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เชื้อเพลิงที่ใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมรวมทั้งที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล เชื้อเพลิงชีวมวล และเชื้อเพลิงเหล่านี้จะมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง และสมบัติหนึ่งที่กำหนดคุณภาพของเชื้อเพลิงด้วย

และเนื่องจากกลุ่มงานเคมีวิเคราะห์เชิงฟิสิกส์ โครงการเคมีเป็นหน่วยงานหนึ่งที่วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิง โดยใช้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM ซึ่งในมาตรฐาน นี้จะมีวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันหลายวิธีโดยแบ่ง

ออกเป็น 2 รูปแบบคือใช้เครื่องมือ Automatic Sulphur Analyzer และใช้ เครื่องมือ Bomb Calorimeter ดังนั้นผู้ศึกษาจึงต้องการที่จะศึกษาเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ โดยวิธีทั้งสอง

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล และเชื้อเพลิงชีวมวลโดยใช้เครื่องมือ Automatic Sulphur Analyzer เปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยใช้ Bomb Calorimeter เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการเลือกใช้วิธีทดสอบให้เหมาะสมกับปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิงแต่ละชนิด

1.3.2 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณกำมะถันที่วิเคราะห์ ได้จากวิธีทั้งสองในตัวอย่างเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

1.3.3 เพื่อศึกษาความแม่นของวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทั้งสองวิธีในน้ำมันดีเซลมาตรฐาน

1.4. ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิงที่ให้ผลถูกต้องแม่นยำ

1.4.2 สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ว และวิเคราะห์ได้ครั้งละหลายตัวอย่าง

1.4.3 เพิ่มขีดความสามารถในการวิเคราะห์ตัวอย่างประเภทต่าง ๆ ที่มีปริมาณกำมะถันน้อย

1.4.4 นำ ข้อมูลไปใช้ในการศึกษาเพื่อลดมลพิษจากกำมะถันที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิง

1.4.5 เผยแพร่ความรู้จากการศึกษาทดลองนี้ให้แก่ผู้สนใจและผู้เกี่ยวข้อง

1.4.6 เพื่อส่งเสริมการวิจัยภายในประเทศ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

มกราคม ถึง กันยายน 2545 รวม 9 เดือน

บทที่ 2
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

2.1 รายละเอียดตัวอย่าง

เป็นตัวอย่าง ถ่านหิน น้ำมันเตา เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) และ น้ำมันดีเซลมาตรฐาน (Standard diesel) จำนวน 2 ขวด ซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496 และ 0.151

2.2 วัสดุ อุปกรณ์

2.2.1 ตู้อบ (Oven) ช่วงอุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส

2.2.2 เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) พร้อมอุปกรณ์ประกอบดังนี้
บอมบ์แคลอรีมิเตอร์, Jacket, bucket, ถ้วยโลหะสำหรับใส่ตัวอย่าง, ลวดนิกเกิล

2.2.3 เครื่องชั่ง (Analytical Balance) ทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2.2.4 แท่นให้ความร้อน (Hotplate)

2.2.5 ขวดชั่ง (Weighing Bottle)

2.2.6 เดซิกเคเตอร์ (Desiccator)

2.2.7 แร่ง (Sieve) หมายเลข 60

2.2.8 กระดาษกรองหมายเลข 4 และกระดาษกรองใยแก้ว GA/A (glass microfibre paper)

2.2.9 เครื่อง Automatic Sulphure analysis พร้อมอุปกรณ์ประกอบดังนี้
เตาเผาแบบท่อ (Tube furnace), Combustion tube, Sample combustion boats, Boat puller

2.2.10 เครื่องประมวลผล (Computer)

2.3 สารเคมีและวิธีเตรียม

2.3.1 แก๊สออกซิเจน ความบริสุทธิ์ 99.99%

2.3.2 แอร์ซีโร (Air zero)

2.3.3 น้ำกลั่น

2.3.4 โซเดียมคาร์บอเนต AR grade

2.3.5 แบเรียมคลอไรด์ AR grade

2.3.6 โบรมีน AR grade

2.3.7 กรดไฮโดรคลอริก ความถ่วงจำเพาะ 1.19

2.3.8 สารละลายแอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ ความถ่วงจำเพาะ 0.90

2.3.9 เมทธิลเรด Indicator grade

2.3.10 เอทานอล AR grade

2.3.11 สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.0710 นอร์มัล (1 มิลลิลิตร = 1 แคลอรี)

เตรียมโดยละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงปริมาณ 3.76 กรัม ด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตรในขวดปริมาตร

2.3.11 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1:1

เตรียมโดยเทกรดไฮโดรคลอริกที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.19 ปริมาตร 500 มิลลิลิตรลงในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตรซึ่งบรรจุในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร คนให้เข้ากันทิ้งให้เย็นแล้วเก็บในขวดสารเคมี

2.3.12 สารละลายแบเรียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 เตรียมโดยละลาย $BaCl_2.2H_2O$ 100 กรัมด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2.3.13 สารละลายเอทธานอลความเข้มข้นร้อยละ 90

เตรียมโดยปิเปตเอทธานอล 90 มิลลิลิตร ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2.3.15 สารละลายเมทธิลเรดความเข้มข้นร้อยละ 0.1

เตรียมโดยละลายเมทธิลเรด 0.1 กรัมในสารละลายเอทธานอลความเข้มข้นร้อยละ 90 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กรองแล้วเก็บในขวดสีชา

2.3.14 น้ำโบรมีนอิ่มตัว (saturated bromine water)

เตรียมโดยละลายโบรมีนลงในน้ำกลั่นจนกระทั่งอิ่มตัว เก็บในขวดสีชา

2.3.15 แมกนีเซียม เปอร์คลอเรต

2.3.16 สารมาตรฐานอ้างอิง (Standard Reference Material, SRM)

2.4 วิธีการ

2.4.1 ขั้นตอนการศึกษา

2.4.1.1 ศึกษางานวิจัยการเปรียบเทียบวิธีการหาปริมาณกำมะถันของตัวอย่างต่าง ๆ จากเอกสารอ้างอิง

2.4.1.2 กำหนดขั้นตอนการศึกษา

2.4.1.3 ทำการรวบรวมตัวอย่าง ถ่านหิน น้ำมันเตา เชื้อเพลิงชีวมวล และ สารมาตรฐานดีเซล

2.4.1.4 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันของตัวอย่างต่าง ๆ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติและออกซิเจนบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

2.4.1.5 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

2.4.1.6 เปรียบเทียบวิธีทั้งสองของตัวอย่างต่าง ๆ ด้วยวิธีทางสถิติ

2.4.2 วิธีศึกษา

2.4.2.1 การเลือกตัวอย่าง

การรวบรวมตัวอย่าง ถ่านหินจำนวน 12 ตัวอย่างซึ่งมีปริมาณกำมะถันอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.3-2.7 ตัวอย่างน้ำมันเตาจำนวน 5 ตัวอย่างซึ่งมีปริมาณกำมะถันอยู่ในช่วง ร้อยละ1.5-3.2 ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวน 8 ตัวอย่างซึ่งมีปริมาณกำมะถันอยู่ในช่วง ร้อยละ 0.02-0.16 และสาร

มาตรฐานดีเซลจำนวน 2 ขวดซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496 และ 0.151

2.4.2.2 วิเคราะห์หาปริมาณความชื้นของตัวอย่างถ่านหินและตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล ตามมาตรฐาน ASTM D 3173

2.4.2.3 วิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันของตัวอย่างทั้งหมดโดยใช้เครื่องวิเคระห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ (ตัวอย่างถ่านหินและตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล ตามมาตรฐาน ASTM D 4239 ตัวอย่างน้ำมันเตา และ สารมาตรฐานดีเซล ตามมาตรฐาน ASTM D 1552) และเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (ตัวอย่างถ่านหินและตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลตามมาตรฐาน ASTM D 3177 ตัวอย่างน้ำมันเตา และ สารมาตรฐานดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D 129)

- **ความชื้น (ASTM D 3173)**

ความชื้นเป็นการวิเคราะห์น้ำหนักของตัวอย่างส่วนที่หายไปหลังจากอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามวิธี ASTM D 3173 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. อบขวดชั่ง ที่อุณหภูมิ 105 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน เดสิเคเตอร์ จดน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (ชั่งละเอียด ± 0.1 มิลลิกรัม) ใส่ในขวดชั่ง ที่ทราบน้ำหนัก
3. อบตัวอย่างโดยเปิดฝาขวดชั่ง ในเตาอบที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. หลังจากครบกำหนดเวลาเปิดตู้อบ ปิดฝาขวดชั่ง แล้วนำไปไว้ในเดสิเคเตอร์จนตัวอย่างเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนัก และคำนวณค่าความชื้นตามสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ความชื้น, \%} = [(A - B)/A] \times 100$$

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างตั้งต้น, กรัม

B = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ, กรัม

- **ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในตัวอย่างถ่านหินและถ่านโค้ก**

น้ำที่ได้จากการล้างบอมบ์แคลอรีมิเตอร์สามารถหาปริมาณกำมะถันได้โดยตกตะกอนให้อยู่ในรูปของแบเรียมซัลเฟต จากนั้นกรองตะกอนที่ได้ เผาและชั่งน้ำหนัก ตามวิธี ASTM D 3177 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5 กรัม (ชั่งละเอียด 0.0001 กรัม) ลงในถ้วยโลหะที่ใช้เฉพาะสำหรับเครื่องและวางลงบนฐานรองถ้วย
2. ล้างตัวบอมบ์ให้ทั่วด้วยน้ำกลั่น และเติมน้ำกลั่น 1.0 มิลลิลิตร ลงในบอมบ์
3. ประกอบลวดนิเกิลที่ทราบความยาวกับขั้วทั้งสองของบอมบ์
4. ประกอบอุปกรณ์ของบอมบ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน แล้วอัดแก๊สออกซิเจนอย่างช้า ๆ โดยใช้ความดันประมาณ 20 ถึง 30 atm
5. เติมน้ำกลั่น 2000 ± 0.5 มิลลิลิตร ลงใน bucket ของแคลอรีมิเตอร์ โดยอุณหภูมิของน้ำนี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิของ jacket ประมาณ 1-2 องศาเซลเซียส
6. นำ bucket และ บอมบ์ ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ ประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้นตามคู่มือ และเริ่มเปิดเครื่อง

7. ปล่อยให้เครื่องเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยอุณหภูมิของเครื่องคงที่ภายใน 1 นาที หรือต่างกันไม่เกิน ± 0.2 องศาเซลเซียส บันทึกอุณหภูมิ (t_i)
8. จุดขั้ว (fire) ของบอมบ์ พร้อมกับเริ่มสังเกตและบันทึกอุณหภูมิ (t_a) และเวลา (a) เริ่มต้น อ่านอีกสองครั้งที่ 0.5 และ 1 นาที หลังจากการจุด อ่านและบันทึกต่อไปอีกทุก ๆ 1 นาทีจนกระทั่งอุณหภูมิที่อ่านได้คงที่หรือต่างกันไม่เกิน 0.002 องศาเซลเซียส (กำหนดให้อุณหภูมิสุดท้ายที่คงที่เป็น t_c และเวลาเป็น c)
9. เปิดฝา jacket และนำบอมบ์ออกมา ปล่อยแก๊สช้า ๆ ด้วยอัตราคงที่ให้หมดภายในเวลา 1 นาที เปิดฝาบอมบ์และสังเกตภายในบอมบ์ถ้ามีเขม่าหรือส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดให้ทิ้งตัวอย่างนั้นไปเสีย
10. ล้างภายในบอมบ์ด้วยน้ำกลั่นซึ่งผสมเมทธิลเรด จนกระทั่งสารละลายที่ได้หมดสภาพความเป็นกรด จากนั้นเทสารละลายที่ล้างจากบอมบ์ลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตรเพื่อไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียม คาร์บอเนตและใช้เป็นค่าแก้ในกรณีที่วิเคราะห์ค่าความร้อน
11. นำสารละลายจากข้อ 10. มาเติมสารละลาย แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 5 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนจนกระทั่งเดือด แล้วกรองตะกอนผ่านกระดาษกรอง หมายเลข 4 ล้างตะกอนบนกระดาษกรองด้วยน้ำร้อนประมาณ 5 ถึง 6 ครั้ง
12. นำสารละลายที่กรองได้จากข้อ 2. มาเติม HCl (1:1) ประมาณ 10 มิลลิลิตร และสารละลายโบรมีนประมาณ 1 มิลลิลิตร ต้มสารละลายจนกระทั่งใสไม่มีสีจึงเติมสารละลายแบเรียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาณ 10 มิลลิลิตรพร้อมกับคนสารละลายขณะร้อน ทิ้งให้ตกตะกอนบนแท่นให้ความร้อนประมาณ 2 ชั่วโมง หรือทิ้งค้างคืนที่อุณหภูมิห้อง
13. กรองตะกอนผ่านกูซครูซิเบิล ที่ปูด้วยกระดาษกรองใยแก้ว ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง จากนั้นเผาตะกอนที่ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่งโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักตะกอน
14. วิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Sulphur ,\%} = \frac{(A - B) \times 13.738}{C}$$

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$, กรัม

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ หลังจากหัก Blank, กรัม

C = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้, กรัม

- **ปริมาณกำมะถันในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม**

ตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์ด้วยการเผาในบอมบ์ซึ่งมีออกซิเจนภายใต้ความดัน กำมะถันในน้ำล้างบอมบ์ซึ่งอยู่ในรูปซัลเฟตจะถูกวิเคราะห์โดยการตกตะกอนในรูปของแบเรียม ซัลเฟต ตามวิธี ASTM D 129 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำตามวิธี ASTM D 3177 ตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 10

2. ล้างภายในบอมบ์ และถ้วยตัวอย่างด้วยด้วยน้ำกลั่นลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร ถ้ามีตะกอนภายในบอมบ์ให้ใช้ rubber policeman ล้างจนกระทั่งน้ำล้างมีสภาพเป็นกลางโดยใช้เมทธิลเรด เป็นอินดิเคเตอร์ (ปริมาตรที่ล้างได้จะประมาณ 300 มิลลิลิตร)
3. เติมน้ำโบรมีนที่อิ่มตัว 10 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 มิลลิลิตร ต้มบนแท่นให้ความร้อนให้เดือดจนกระทั่งมีสารละลายเหลือในบีกเกอร์ประมาณ 200 มิลลิลิตร
4. ปรับความร้อนให้สารละลายเดือดเบา ๆ และเติมสารละลาย 10% แบเรียมคลอไรด์ 10 มิลลิลิตร และต้มสารละลายให้ค่อย ๆ เดือดต่อไปจนกระทั่งเหลือสารละลายประมาณ 75 มิลลิลิตร จากนั้นนำบีกเกอร์ลงจากแท่นให้ความร้อนทิ้งให้เย็นประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนกรอง
5. กรองสารละลายผ่านกูซครูซิเบิลที่ปูด้วยกระดาษกรองใยแก้ว ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งหมดคลอไรด์ จากนั้นอบตะกอนที่ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักตะกอนแบเรียมซัลเฟตที่ได้ แล้วคำนวณปริมาณกำมะถันตามสมการ

$$\text{Sulphure ,\%} = \frac{(P - B) \times 13.73}{W}$$

เมื่อ P = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$, กรัม

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ จาก blank, กรัม

W = น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้, กรัม

- **การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินและถ่านโค้กโดยใช้วิธีเผาในเตาเผาแบบท่ออุณหภูมิสูง**

ตามวิธี ASTM D 4329 ข้อ C (High Temperature Combustion Method with Infrared Absorption Detection Procedure)

วิธีนี้ตัวอย่างจะถูกเผาด้วยอุณหภูมิสูงแล้ววิเคราะห์ปริมาณกำมะถันโดยใช้การดูดกลืนของแสงอินฟราเรด โดยตัวอย่างจะถูกเผาในเตาเผาที่มีลักษณะเป็นท่อที่อุณหภูมิอย่างต่ำ 1350 องศาเซลเซียสและมีแก๊สออกซิเจนช่วยในการออกซิไดซ์กำมะถัน ความชื้นและอนุภาคที่เกิดจากการเผาจะถูกจับด้วยแอนไฮดรัส แมกนีเซียม เปอร์คลอเรต กระแสของแก๊สจะผ่านไปยังเซล ซึ่งปริมาณของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกวัดจากการดูดกลืนแสงอินฟราเรด แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะดูดกลืนพลังงาน IR ที่ความยาวคลื่นเฉพาะภายในแถบแสง IR พลังงานจะถูกดูดกลืนเมื่อแก๊สผ่านตัวเซล ซึ่งเป็นแหล่งปลดปล่อยพลังงาน IR ดังนั้นตัวรับจะรับพลังงานลดลงเมื่อมีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ผ่าน พลังงาน IR ที่เหลือทั้งหมดจะถูกกำจัดออกไปเมื่อผ่านไปถึงตัวรับโดยจะมีตัวกรองความยาวคลื่นดักอยู่ ดังนั้นพลังงาน IR ที่ถูกดูดกลืนไว้จึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งปริมาณความเข้มข้นจะเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ตัวรับ เซลหนึ่งเซลจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวอ้างอิงและหน่วยวัดตัวอย่าง ปริมาณกำมะถันทั้งหมดในรูปซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกวัดแบบต่อเนื่องวิธีนี้เป็นวิธีแบบเปรียบเทียบดังนั้นจำเป็นต้องใช้ สารอ้างอิงรับรองในการสอบเทียบ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. การสร้างกราฟมาตรฐาน

ชั่ง สารอ้างอิงรับรอง ที่อบแห้ง 5 ตัวอย่างโดยเลือกช่วงน้ำหนักให้ครอบคลุมกับปริมาณกำมะถันที่จะวิเคราะห์ในตัวอย่าง วิเคราะห์โดยทำตามคู่มือของเครื่อง และผลทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ต้องอยู่ในช่วงการยอมรับของสารอ้างอิงมาตรฐานนั้น บันทึกผลและใช้เป็นกราฟมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีองค์ประกอบเหมือนหรือใกล้เคียงกับสารอ้างอิงมาตรฐานนี้

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง
   2.1 เปิดเครื่องมือและตั้งอุณหภูมิที่ 1350 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ทำการสร้างกราฟมาตรฐานตามข้อ 1.
   2.2 ชั่งตัวอย่างให้อยู่ในช่วงเดียวกับกราฟมาตรฐาน และเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายตามความยาวของภาชนะบรรจุ
   2.3 วางตัวอย่างลงบริเวณปากเตาเผาจากนั้นทำตามขั้นตอนที่ระบุในคู่มือเพื่อให้ตัวอย่างถูกเผาที่ในเตาเผาแบบแนวนอนเป็นเวลาอย่างน้อย 2 นาทีจนกระทั่งตัวอย่างถูกเผาอย่างสมบูรณ์ เครื่องจะแสดงผลเมื่อการวิเคราะห์สิ้นสุดลง

- **การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม (วิธีอุณหภูมิสูง)**

ตาม ASTM D 1552 วิธี Resistance Furnace-IR Detection

วิธีนี้ตัวอย่างจะถูกชั่งใส่ในภาชนะบรรจุตัวอย่างที่เป็นกระเบื้องซึ่งจะวางในเตาเผาที่อุณหภูมิ 1370 องศาเซลเซียสใน บรรยากาศของออกซิเจน กำมะถันเกือบทั้งหมดในตัวอย่างจะถูกเผาให้อยู่ในรูปของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งจะถูกวัดด้วยอินฟราเรด ดีเทคเตอร์ หลังจากกำจัดความชื้นและฝุ่นออกไปก่อนด้วยตัวดัก ไมโครโปรเซสเซอร์จะคำนวณปริมาณกำมะถันให้อยู่ในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักจากน้ำหนักตัวอย่างตั้งต้น โดยเทียบระหว่างสัญญาณที่อ่านได้กับกราฟมาตรฐาน ซึ่งกราฟมาตรฐานนี้จะได้จากการใช้สารอ้างอิงรับรอง

ขั้นตอนในการวิเคราะห์สำหรับวิธี Resistance furnace-IR detection มีดังนี้

1. เปิดเครื่องมือเพื่ออุ่นเครื่องและให้อุณหภูมิของเตาเผาขึ้นถึงอุณหภูมิที่กำหนด (1350 องศาเซลเซียส)
2. หลังจากเตรียมตัวอย่างให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้อยู่ในช่วงต่อไปนี้
   ของเหลว: สามารถชั่งได้สูงสุดถึง 0.13 กรัม
   ของแข็ง: สามารถชั่งได้สูงสุดถึง 0.4 กรัม
   ทั้งนี้ขึ้นกับขีดความสามารถของเครื่องมือแต่ละรุ่น (Detection limit)
3. วิเคราะห์ blank และบันทึกผล
4. ใส่ผงแมกนีเซียม ออกไซด์ลงไปในภาชนะบรรจุตัวอย่างประมาณ 1/3 ของความจุทั้งหมด โดยแผ่ให้กระจาย แล้วเซาะตรงกลางให้เป็นร่องเล็กน้อย
5. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างนี้วางบนเครื่องชั่ง และชั่งตัวอย่างใส่ในร่องกลางบันทึกน้ำหนัก
6. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างออกจากเครื่องชั่งและเติมผงแมกเนเซียม ออกไซด์กลบลงบนตัวอย่างจนกระทั่งมีปริมาณประมาณ 2/3 ของความจุทั้งหมด

7. นำตัวอย่างใส่เข้าไปในเตาเผาและเริ่มทำการวิเคราะห์ตามคู่มือการใช้เครื่อง
8. เมื่อการวิเคราะห์สิ้นสุดลง อ่านและบันทึกผลที่ได้จากการประมวลโดยไมโครโปรเซสเซอร์
9. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างที่วิเคราะห์เสร็จแล้วออกจากเตาเผา
10. ทำการวิเคราะห์ซ้ำจนกระทั่งผลที่ได้ 2 ซ้ำแตกต่างกันไม่เกิน repeatability ของวิธีทดสอบนี้

2.4.2.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ซึ่งใช้ในการประมวลผลทางสถิติและทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของวิธีทั้งสองโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คำนวณปริมาณกำมะถันของตัวอย่างถ่านหินและตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล ให้อยู่ในสภาพอบแห้ง (oven dried basis) โดยใช้สมการ

$$P_d = \frac{P_{ar} \times 100}{100 - M_{ar}}$$

เมื่อ P_d = ปริมาณกำมะถันในสภาพตัวอย่างอบแห้ง (oven dried basis), %

P_{ad} = ปริมาณกำมะถันในสภาพตัวอย่างตามที่ได้รับ (as received basis), %

M_{ar} = ความชื้นในสภาพตัวอย่างตามที่ได้รับ (as received basis), %

2. คำนวณค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของตัวอย่างต่างๆ โดยใช้สมการ

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

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2}$$

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

เมื่อ $\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

n = จำนวนข้อมูล

x_i = ข้อมูลดิบ

S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

CV = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

3. เปรียบเทียบวิธีทั้งสองของตัวอย่างต่าง ๆ ด้วยวิธีทางสถิติ 3 แบบ

ก. ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแบบจับคู่ (Paired-sample test) สมมติฐานนี้จะใช้ในกรณีชุดตัวอย่างที่จะเปรียบเทียบวิธีทดสอบมีปริมาณกำมะถันเป็นช่วงร้อยละ ซึ่งในที่นี้ ได้แก่ตัวอย่างถ่านหินมีปริมาณกำมะถันในช่วงร้อยละ 0.3-2.7 ตัวอย่าง น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันในช่วงร้อยละ 1.5-3.2 ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลมีปริมาณกำมะถันในช่วงร้อยละ 0.02-0.16 ทั้งนี้เนื่องจากค่าปริมาณกำมะถันแต่ละค่าไม่เป็นอิสระกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบวิธีทั้งสองจำเป็นต้องจับคู่ร้อยละปริมาณกำมะถันเดียวกัน

ข. การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีโดยสุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระ (Independent –sample t-test) สมมติฐานนี้จะใช้ในกรณีชุดตัวอย่างที่จะเปรียบเทียบวิธีทดสอบที่มีปริมาณกำมะถันเป็นค่าร้อยละเดียวกันทั้งชุด ซึ่งในที่นี้ได้แก่ชุดตัวอย่างสารมาตรฐานดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496 ของวิธีทั้งสองมาเปรียบเทียบกันทั้งนี้เนื่องจากค่าแต่ละค่าเป็นอิสระกัน และการเปรียบเทียบของชุดตัวอย่างสารมาตรฐานดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.151 ก็เช่นเดียวกัน

ค. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันของวิธีต่าง ๆ (One-sample t-test) สมมติฐานนี้จะใช้ทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ กับค่าจริงของวิธีทั้งสองซึ่งในที่นี้จะใช้สารมาตรฐานดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496 และ 0.151

บทที่ 3

ผลการทดลอง

3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน

3.1.1 ตัวอย่างถ่านหิน

3.1.1.1 วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 (C-High Temperature Combustion Method with Infrared Absorption Detection Procedure) จำนวน 12 ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้ง และใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์ ให้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยค่าพิสัย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2590-1.6610

3.1.1.2 วิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 จำนวน 12 ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้ง และใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์ซึ่งให้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.8096-6.3491

3.1.2 ตัวอย่างน้ำมันเตา

3.1.2.1 วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 จำนวน 6 ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้งซึ่งให้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.740-2.168

3.1.2.2 วิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 จำนวน 6 ตัวอย่า โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้งซึ่งให้ผลแสดงใน ตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.193-2.528

3.1.3 ตัวอย่าง เชื้อเพลิงชีวมวล

3.1.3.1 วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 จำนวน 8 ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้ง และใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการ คำนวณผลการวิเคราะห์ซึ่งให้ผลแสดงในตารางที่ 5 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.9013-8.6668

3.1.3.2 วิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 จำนวนตัวอย่าง 8 ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้ง และใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์ซึ่งให้ผลแสดงในตารางที่ 6 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5.2887-9.7651

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

3.1.4 สารมาตรฐานดีเซล (Standard diesel)

3.1.4.1 วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 โดยวิเคราะห์ด้วยสารมาตรฐานดีเซลจำนวน 2 ตัว (AR 2821 ซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.151 และ AR 2875 มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้งซึ่งให้ผลแสดงในตารางที่ 7

3.1.4.2 วิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 โดยวิเคราะห์ด้วยสารมาตรฐานดีเซลจำนวน 2 ตัวอย่าง (AR 2821 ซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.151 และ AR 2875 มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 5 ครั้งซึ่งให้ผลแสดงในตารางที่ 8

3.1.4.3 ผลการวิเคราะห์สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 และ AR 2875 ด้วยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.8456 และ 2.0499 ส่วนผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.4365 และ 7.7394 ตามลำดับ

3.2 ผลการทดสอบการแจกแจงข้อมูล

ตารางที่ 9 เป็นผลการทดสอบข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปรกติหรือไม่ สถิติที่ใช้ทดสอบคือ Kolmogorov-Smirnov ซึ่งประมวลผลด้วย โปรแกรม SPSS โดยมีค่าและความหมายของปริมาณต่าง ๆ ในตารางดังต่อไปนี้

3.2.1 Statistic คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบสมมติฐาน H_o: ประชากรมีแจกแจงแบบปรกติในที่นี้ Statistic ของทุกตัวอย่าง มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤตที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.2.2 Sig คือค่า Significant ของสถิติที่ทดสอบสมมติฐานของ Kolmogorov-Smirnov พบว่าค่า Sig ของทุกตัวอย่างมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.3 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแบบจับคู่

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแบบจับคู่ ของตัวอย่าง ถ่านหิน น้ำมันเตา เชื้อเพลิงชีวมวล โดยมีค่า และความหมายของปริมาณต่าง ๆ ในตารางดังต่อไปนี้

3.3.1 ตัวอย่างถ่านหิน

95 % Confidence Interval of the difference คือผลต่างของปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินเฉลี่ยของวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 และ ASTM D 3177 (μ_d)

$$0.0322 < \mu_d < 0.0754$$

t คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบ $H_o : \mu_d = 0$ ในที่นี้ t = 5.488

df คือองศาอิสระ 12-1 = 11

Sig (2 –tailed) คือค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.000

ค่าวิกฤตของ $t_{0.975,11} = 2.20$

3.3.2 ตัวอย่างน้ำมันเตา

95% Confidence Interval of the difference คือผลต่างของปริมาณกำมะถันในตัวอย่างน้ำมันเตาเฉลี่ยของวิธีมาตรฐาน ASTM D1552 และ ASTM D129 (μ_d)

$$0.0260 < \mu_d < 0.1847$$

t คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบ $H_o : \mu_d = 0$ ในที่นี้ t = 3.413

df คือองศาอิสระ 6-1 = 5

Sig (2 –tailed) คือค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.019

ค่าวิกฤตของ $t_{0.975,5} = 2.57$

3.3.3 ตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล

95% Confidence Interval of the difference คือผลต่างของปริมาณกำมะถันในตัวอย่างในตัวอย่าง เชื้อเพลิงชีวมวล เฉลี่ยของวิธีมาตรฐาน ASTM D4239และ ASTM 3177 (μ_d)

$$-0.0100 < \mu_d < 0.0117$$

t คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบ $H_o : \mu_d = 0$ ในที่นี้ t = 0.183

df คือองศาอิสระ 8-1 = 7

Sig (2 –tailed) คือค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.860

ค่าวิกฤตของ $t_{0.975,7} = 2.36$

3.4 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีโดยสุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระ

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีโดยสุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระของ สารมาตรฐานดีเซลโดยมีค่า และความหมายของปริมาณต่างๆในตารางดังต่อไปนี้

3.4.1 สารมาตรฐานดีเซล AR 2821

95% Confidence Interval of the difference คือผลต่างระหว่างปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในStandard diesel AR 2821 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และ ASTM D 129 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552} - \mu_{ASTM\ D\ 129}$)

$$0.0006 < \mu_{ASTM\ D\ 1552} - \mu_{ASTM\ D\ 129} < 0.0186$$

t คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบ H_o: $\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$ในที่นี้ t = 2.470

df คือองศาอิสระ ของ $t = n_{ASTM\ D\ 1552} + n_{ASTM\ D\ 129} - 2 = 5+5-2 = 8$

Sig (2 –tailed) คือค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.039

ค่าวิกฤตของ $t_{0.975,8} = 2.31$

3.4.2 สารมาตรฐานดีเซล AR 2875

95% Confidence Interval of the difference คือผลต่างระหว่างปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2875 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D1552 และ ASTM D129 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552} - \mu_{ASTM\ D\ 129}$)

$$-0.0056 < \mu_{ASTM\ D\ 1552} - \mu_{ASTM\ D\ 129} < 0.0029$$

t คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบ H_o: $\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$ ในที่นี้ t = -0.729

df คือองศาอิสระ ของ $t = n_{ASTM\ D\ 1552} + n_{ASTM\ D\ 129} - 2 = 5+5-2 = 8$

Sig (2 –tailed) คือค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.487

ค่าวิกฤตของ $t_{0.975,8} = -2.31$

3.5 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันโดยวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันใน สารมาตรฐานดีเซลโดยวิธีต่าง ๆ โดยมีค่า และความหมายของปริมาณต่าง ๆ ในตารางดังต่อไปนี้

3.5.1 สารมาตรฐานดีเซล AR 2821

Test Value คือค่าปริมาณกำมะถัน ที่คาดว่ามีใน Standard diesel AR 2821

$$\mu_{AR\ 2821} = 0.151$$

95% Confidence Interval of the difference คือค่าประมาณแบบช่วงของ μ_{AR2821}-0.151 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ก. วิธีมาตรฐาน ASTM D1552

$0.0049 < \mu_{AR2821} - 0.151 < 0.0097$

หรือ $0.1461 < \mu_{AR2821} < 0.1607$

ข. วิธีมาตรฐาน ASTM D129

$-0.0151 < \mu_{AR2821} - 0.151 < 0.0007$

หรือ $0.1359 < \mu_{AR2821} < 0.1517$

t คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบ H_o: $\mu_{AR2821} = 0.151$ ในที่นี้ค่า t โดยวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 = 0.910 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 = -2.524

df คือองศาอิสระ ของ t = 5-1 = 4

Sig (2 –tailed) คือค่า Significant ของสถิติทดสอบ t โดยวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 = 0.414 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 = 0.065

ค่าวิกฤตของ $t_{0.975,4} = 2.78$

3.5.2 สารมาตรฐานดีเซล AR 2875

Test Value คือค่าปริมาณกำมะถัน ที่คาดว่ามีใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2875

$$\mu_{AR\ 2875} = 0.0496$$

95% Confidence Interval of the difference คือค่าประมาณแบบช่วงของ μ_{AR2875}-0.0496ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ก. วิธีมาตรฐาน ASTM D1552

$-0.0008 < \mu_{AR2875} - 0.0496 < 0.0017$

หรือ $0.0488 < \mu_{AR2875} < 0.0513$

ข. วิธีมาตรฐาน ASTM D 129

$-0.0031 < \mu_{AR2875} - 0.0496 < 0.0067$

หรือ $0.0465 < \mu_{AR2875} < 0.0563$

t คือค่าสถิติทดสอบของการทดสอบ H_o : $\mu_{AR2875} = 0.0496$ในที่นี้ค่า t โดยวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 = 1.002 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 = 1.012

df คือองศาอิสระ ของ t = 5-1 = 4

Sig (2 –tailed) คือค่า Significant ของสถิติทดสอบ t โดยวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 = 0.373 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 = 0.369

ค่าวิกฤตของ $t_{0.975,4} = 2.78$

ตารางที่ 1 ค่าสถิติของตัวอย่างถ่านหิน โดยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ (วิธี ASTM D 4239)

หมายเลขปฏิบัติการ	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
VI690	0.010	1.170	1.180	1.174	0.0055	0.4665
VR488	0.015	0.468	0.483	0.476	0.0066	1.3882
VK467	0.021	0.765	0.786	0.773	0.0079	1.0164
VP568	0.013	0.326	0.339	0.331	0.0055	1.6610
VR746	0.005	0.652	0.657	0.655	0.0022	0.3309
VG456	0.020	1.460	1.480	1.470	0.0071	0.4810
VM213	0.030	2.270	2.300	2.288	0.0110	0.4788
VK677	0.020	2.720	2.740	2.730	0.0071	0.2590
VH440	0.010	1.880	1.890	1.884	0.0055	0.2907
VH441	0.050	2.430	2.480	2.454	0.0195	0.7944
VK673	0.020	0.922	0.942	0.933	0.0079	0.8421
VL398	0.018	0.912	0.930	0.921	0.0067	0.7284

ตารางที่ 2 ค่าสถิติของตัวอย่างถ่านหิน โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (วิธี ASTM D 3177)

หมายเลขปฏิบัติการ	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
VI690	0.050	1.050	1.100	1.074	0.0195	1.8150
VR488	0.021	0.429	0.450	0.438	0.0082	1.8758
VK467	0.028	0.682	0.710	0.698	0.0130	1.8680
VP568	0.038	0.246	0.284	0.260	0.0165	6.3491
VR746	0.029	0.535	0.564	0.555	0.0115	2.0818
VG456	0.050	1.380	1.430	1.396	0.0207	1.4854
VM213	0.080	2.260	2.340	2.306	0.0358	1.5515
VK677	0.100	2.610	2.710	2.678	0.0432	1.6148
VH440	0.040	1.810	1.850	1.832	0.0148	0.8096
VH441	0.100	2.370	2.470	2.426	0.0385	1.5858
VK673	0.048	0.894	0.942	0.913	0.0193	2.1169
VL398	0.048	0.844	0.892	0.868	0.0230	2.6555

ตารางที่ 3 ค่าสถิติของตัวอย่างน้ำมันเตา โดยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ (วิธี ASTM D 1552)

หมายเลขปฏิบัติการ	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
VV78	0.05	2.78	2.83	2.80	0.021	0.740
VV77	0.08	2.79	2.87	2.83	0.038	1.346
VO786	0.06	3.18	3.24	3.21	0.031	0.974
VL638	0.07	1.50	1.57	1.53	0.033	2.168
VW306	0.05	1.62	1.67	1.64	0.023	1.430
VL639	0.05	1.45	1.50	1.48	0.019	1.301

ตารางที่ 4 ค่าสถิติของตัวอย่างน้ำมันเตา โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (วิธี ASTM D 129)

หมายเลขปฏิบัติการ	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
VV78	0.10	2.62	2.72	2.67	0.040	1.483
VV77	0.08	2.69	2.77	2.74	0.033	1.193
VO786	0.12	2.93	3.05	2.98	0.043	1.450
VL638	0.08	1.44	1.52	1.48	0.037	2.528
VW306	0.05	1.59	1.64	1.63	0.022	1.347
VL639	0.08	1.31	1.39	1.36	0.033	2.457

ตารางที่ 5 ค่าสถิติของตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ (วิธี ASTM D 4239)

หมายเลขปฏิบัติการ	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
VR289	0.0040	0.0550	0.0590	0.0579	0.0017	2.9013
VR290	0.0099	0.0566	0.0665	0.0621	0.0037	6.0039
VR522	0.0200	0.1490	0.1690	0.1594	0.0074	4.6441
VR524	0.0130	0.1000	0.1130	0.1064	0.0051	4.7738
VW760	0.0037	0.0170	0.0207	0.0190	0.0017	8.6668
VW761	0.0050	0.0426	0.0476	0.0458	0.0019	4.2430
VW762	0.0025	0.0297	0.0322	0.0311	0.0009	3.0176
VW763	0.0038	0.0203	0.0241	0.0221	0.0016	7.3056

ตารางที่ 6 ค่าสถิติของตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (วิธี ASTM D3177)

หมายเลขปฏิบัติการ	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
VR289	0.0075	0.0538	0.0613	0.0572	0.0032	5.6541
VR290	0.0103	0.0662	0.0765	0.0713	0.0039	5.5063
VR522	0.0207	0.1335	0.1542	0.1408	0.0089	6.2958
VR524	0.0130	0.0836	0.0966	0.0896	0.0047	5.2887
VW760	0.0048	0.0199	0.0247	0.0223	0.0020	9.1462
VW761	0.0079	0.0335	0.0414	0.0368	0.0034	9.1365
VW762	0.0104	0.0429	0.0533	0.0485	0.0047	9.7651
VW763	0.0062	0.0278	0.0340	0.0306	0.0027	8.8187

ตารางที่ 7 ค่าสถิติของสารมาตรฐานดีเซล AR 2821

วิธี	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
ASTM D 1552 (เครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ)	0.0130	0.1480	0.1610	0.1534	0.0059	3.8456
ASTM D 129 (เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์)	0.0160	0.1380	0.1540	0.1438	0.0064	4.4365

ตารางที่ 8 ค่าสถิติของสารมาตรฐานดีเซล AR 2875

วิธี	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน
ASTM D 1552 (เครื่องวิเคราะห์กำมะถันแบบอัตโนมัติ)	0.0025	0.0488	0.0513	0.0501	0.0010	2.0499
ASTM D 129 (เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์)	0.0104	0.0448	0.0552	0.0514	0.0040	7.7394

ตารางที่ 9 การทดสอบการแจกแจงของข้อมูล

ตัวอย่าง	วิธีทดสอบ	Kolmogorov-Smirnov[a]				สรุปผลการทดสอบ
		Statistic	df	Sig	Critical value[b]	
ถ่านหิน	ASTM D 4239 (เครื่อง Automatic sulphur analyzer)	0.192	12	0.200	0.242	การแจกแจงแบบปรกติ
	ASTM D 3177 (เครื่อง Bomb calorimeter)	0.184	12	0.200	0.242	การแจกแจงแบบปรกติ
น้ำมันเตา	ASTM D 1552 (เครื่อง Automatic sulphur analyzer)	0.282	6	0.147	0.319	การแจกแจงแบบปรกติ
	ASTM D 129 (เครื่อง Bomb calorimeter)	0.265	6	0.200	0.319	การแจกแจงแบบปรกติ
เชื้อเพลิงชีวมวล	ASTM D 4239 (เครื่อง Automatic sulphur analyzer)	0.257	8	0.127	0.285	การแจกแจงแบบปรกติ
	ASTM D 3177 (เครื่อง Bomb calorimeter)	0.176	8	0.200	0.285	การแจกแจงแบบปรกติ
สารมาตรฐานดีเซล	ASTM D 1552 (เครื่อง Automatic sulphur analyzer)	0.220	5	0.200	0.337	การแจกแจงแบบปรกติ
AR 2821	ASTM D 129 (เครื่อง Bomb calorimeter)	0.225	5	0.200	0.337	การแจกแจงแบบปรกติ
สารมาตรฐานดีเซล	ASTM D 1552 (เครื่อง Automatic sulphur analyzer)	0.200	5	0.200	0.337	การแจกแจงแบบปรกติ
AR 2875	ASTM D 129 (เครื่อง Bomb calorimeter)	0.270	5	0.200	0.337	การแจกแจงแบบปรกติ

a.Lilliefors Significance Correction

b. 95% Confidence interval

ตารางที่ 10 การทดสอบสมมติฐานผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแบบจับคู่ (Paired-Samples T Test)

ตัวอย่าง	วิธีทดสอบ	Paired difference		t	df	Sig (2-tailed)	$t_{critical}$	สรุปผลการทดสอบ
		95% Confidence interval of the difference						
		Lower	Upper					
ถ่านหิน	ASTM D 4239 & ASTM D 3177 Auto-Bomb	0.0322	0.0754	5.488	11	0.000	2.20	ค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแตกต่างกัน
น้ำมันเตา	ASTM D 1522 & ASTM D 129 Auto-Bomb	0.0260	0.1847	3.413	5	0.019	2.57	ค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแตกต่างกัน
เชื้อเพลิงชีวมวล	ASTM D 4239 & ASTM D 3177 Auto-Bomb	-0.0100	0.0117	0.183	7	0.860	2.36	ค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 11 การทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีโดยที่สุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระ (Independent- Samples T Test)

ตัวอย่าง	วิธีทดสอบ	t-test for equality of mean		t	df	Sig (2-tailed)	$t_{critical}$	สรุปผลการทดสอบ
		95 % Confidence interval of the difference						
		Lower	Upper					
สารมาตรฐานดีเซล AR 2821	ASTM D 1522 & ASTM D 129 Auto-Bomb	0.0006	0.0186	2.470	8	0.039	2.31	ค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแตกต่างกัน
สารมาตรฐานดีเซล AR 2875	ASTM D 1522 & ASTM D 129 Auto-Bomb	-0.0056	0.0029	-0.729	8	0.487	-2.31	ค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 12 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันของวิธีต่าง ๆ

ตัวอย่าง	วิธีทดสอบ	Test Value	95% Confidence interval of the difference		t	df	Sig (2-tailed)	$t_{critical}$	สรุปผลการทดสอบ
			Lower	Upper					
สารมาตรฐานดีเซล AR 2821	ASTM D 1552 (เครื่อง Automatic sulphur analyzer)	0.151	-0.0049	0.0097	0.910	4	0.414	2.78	ปริมาณกำมะถันเฉลี่ยเท่ากับ 0.151
	ASTM D 129 (เครื่อง Bomb calorimeter)		-0.0151	0.0007	-2.524	4	0.065	-2.78	ปริมาณกำมะถันเฉลี่ยเท่ากับ 0.151
สารมาตรฐานดีเซล AR 2875	ASTM D 1552 (เครื่อง Automatic sulphur analyzer)	0.0496	-0.0008	0.0017	1.002	4	0.373	2.78	ปริมาณกำมะถันเฉลี่ยเท่ากับ 0.0496
	ASTM D 129 (เครื่อง Bomb calorimeter)		-0.0031	0.0067	1.012	4	0.369	2.78	ปริมาณกำมะถันเฉลี่ยเท่ากับ 0.0496

บทที่ 4
วิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน

4.1.1 ตารางที่ 1 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 พบว่าวิธีนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันอยู่ระหว่างร้อยละ 0.2590-1.6610 ส่วนผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 (ตารางที่ 2) มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันอยู่ระหว่างร้อยละ 0.8096- 6.3491 แสดงว่าข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer มีการกระจายน้อยกว่าการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter

4.1.2 ตารางที่ 3 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างน้ำมันเตาด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 พบว่าวิธีนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันอยู่ระหว่างร้อยละ 0.740-2.168 ส่วนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 (ตารางที่ 4) มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันอยู่ระหว่างร้อยละ 1.193-2.528 แสดงว่าข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer มีการกระจายน้อยกว่าวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter

4.1.3 ตารางที่ 5 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 พบว่าวิธีนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันอยู่ระหว่างร้อยละ 2.9013-8.6668 ส่วนวิธีที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM D 3177 (ตารางที่ 6) มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน อยู่ระหว่างร้อยละ 5.2887-9.7651 แสดงว่าข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer มีการกระจายน้อยกว่าวิเคราะห์ด้วยเครื่องBomb calorimeter

4.1.4 ตารางที่ 7-8 ผลของการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างสารมาตรฐานดีเซล AR 2821 และ AR 2875 ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามมาตรฐาน ASTM D 1552 พบว่าวิธีนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันอยู่ระหว่างร้อยละ 3.8456 และ 2.0499 ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามมาตรฐาน ASTM D 129 มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันอยู่ระหว่างร้อยละ 4.4365 และ 7.7394 ตามลำดับนั่น แสดงว่าข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer มีการกระจายน้อยกว่าวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter

จากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer กับเครื่อง Bomb calorimeter พบว่าทุกตัวอย่างให้ผลเหมือนกันคือข้อมูลที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer จะมีการกระจายน้อยกว่าวิเคราะห์ด้วย เครื่องBomb calorimeter

4.2 ผลการทดสอบการแจกแจงข้อมูล

ในการทดสอบสมมติฐานที่ใช้พารามิเตอร์ (Parametric Test) จำเป็นต้องทราบลักษณะการแจกแจงของประชากรก่อน คือประชากรต้องมีแจกแจงแบบปรกติจึงสามารถใช้ t หรือ F เป็นสถิติในการทดสอบ เพราะว่าถ้าหากประชากรไม่ได้มีแจกแจงแบบปรกติ และตัวอย่างมีขนาดเล็ก (จำนวนน้อย) แล้วจะไม่สามารถทดสอบโดยการใช้พารามิเตอร์ได้ อาจต้องเปลี่ยนไปใช้การทดสอบแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ (Nonparametric Test) แทน

ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบข้อมูลก่อนว่ามีการแจกแจงแบบปรกติหรือไม่ โดยสถิติที่ใช้ทดสอบคือ Kolmogorov-Smirnov ซึ่งสามารถประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SPSS for window และพิจารณาได้ 2 แบบคือ

4.2.1 ใช้ค่าสถิติทดสอบของการทดสอบสมมติฐาน H_o: ประชากรมีแจกแจงแบบปรกติเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตที่ได้จากตารางที่ 1 (ภาคผนวก ค.) ถ้าค่าสถิติทดสอบน้อยกว่าค่าวิกฤตจะยอมรับ H_o นั่นคือประชากรมีการแจกแจงแบบปรกติ

4.2.2 พิจารณาจากค่า Sig (Significant) ถ้าค่า Significant ของสถิติทดสอบมากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดจะยอมรับ สมมติฐาน H_o: ประชากรมีแจกแจงแบบปรกติ

จากตารางที่ 9 พบว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างทุกประเภทเมื่อนำค่าสถิติทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตที่ได้จากตารางที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จะเห็นว่าค่าสถิติทดสอบน้อยกว่าค่าวิกฤต ดังนั้นสรุปว่ายอมรับ H_o นั่นคือประชากรมีการแจกแจงแบบปรกติ หรือเมื่อพิจารณาจากค่า Sig (Significant) ก็พบว่าค่า Significant ของสถิติทดสอบของ Kolmogorov- Smirnov มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จากผลการทดสอบทั้ง 2 แบบสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปรกติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบปรกติจึงสามารถทำการทดสอบสมมติฐานแบบใช้พารามิเตอร์

4.3 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแบบจับคู่ (Paired-Sample T Test)

ตารางที่ 10 ซึ่งประมวลผลจากโปรแกรม SPSS for window ซึ่งสามารถพิจารณาผลการทดสอบได้ดังนี้

4.3.1 ตัวอย่างถ่านหิน

4.3.1.1 พิจารณาจากค่า t พบว่า ค่า t = 5.4878 ซึ่งมากกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,11}$ ที่เปิดจากตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ 2.20 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_o: $\mu_d = 0$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่างถ่านหิน ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่องAutomatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_d \neq 0$)

4.3.1.2 พิจารณาค่า Sig (2 –tailed) พบว่าค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_o: $\mu_d = 0$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่างถ่านหินของวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_d \neq 0$)

4.3.1.3 พิจารณาจากผลต่างของปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่าง ถ่านหินของวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239และ ASTM D 3177 (μ_d) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมี ค่ามากกว่า 0.0322 แต่น้อยกว่า 0.0754

($0.0322 < \mu_d < 0.0754$) นั่นแสดงว่าปริมาณกำมะถันในตัวอย่าง ถ่านหินตามวิธี มาตรฐาน ASTM D 4239 มากกว่าวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177

4.3.2 ตัวอย่างน้ำมันเตา

4.3.2.1 พิจารณาจากค่า t พบว่า ค่า t = 3.413 ซึ่งมากกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,5}$ ที่เปิดจากตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ 2.57 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน $H_o : \mu_d = 0$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่างน้ำมันเตาซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_d \neq 0$)

4.3.2.2 พิจารณาค่า Sig (2 –tailed) พบว่าค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.019 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐาน $H_o: \mu_d = 0$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่างน้ำมันเตาของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_d \neq 0$)

4.3.2.3 พิจารณาจากผลต่างของปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่างน้ำมันเตาของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และ ASTM D 129 (μ_d) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมี ค่ามากกว่า 0.0260 แต่น้อยกว่า 0.1847 ($0.0260 < \mu_d < 0.1847$)นั่นแสดงว่าปริมาณกำมะถันในตัวอย่างน้ำมันเตาตามวิธี มาตรฐาน ASTM D1552 มากกว่าวิธีมาตรฐาน ASTM D 129

4.3.3 ตัวอย่าง เชื้อเพลิงชีวมวล

4.3.3.1 พิจารณาจากค่า t พบว่า ค่า t = 0.0183 ซึ่งน้อยกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,7}$ ที่เปิดจากตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ2.36 ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน $H_o: \mu_d = 0$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_d \neq 0$)

4.3.3.2 พิจารณาค่า Sig (2 –tailed) พบว่าค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.860 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐาน $H_o: \mu_d = 0$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวล ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_d \neq 0$)

4.3.3.3 พิจารณาจากผลต่างของปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่าง เชื้อเพลิงชีวมวล ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 และ ASTM D 3177 (μ_d) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมี ค่ามากกว่า –0.0100 แต่น้อยกว่า 0.0117 ($-0.0100 < \mu_d < 0.0117$) จะพบว่าค่าต่ำสุดเป็นลบและค่าสูงสุดเป็นบวกซึ่งรวมค่าศูนย์อยู่ด้วยนั่นแสดงว่าปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในตัวอย่าง เชื้อเพลิงชีวมวลของวิธีมาตรฐาน ASTM D 4239 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 3177 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_d = 0$)

จากการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีแบบจับคู่พบว่าตัวอย่างถ่านหินและน้ำมันเตาเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer กับ เครื่อง Bomb calorimeter จะ

ให้ผลที่แตกต่างกันโดยวิธีที่ใช้เครื่อง Automatic Sulphur Analyzer จะให้ผลที่มีค่ามากกว่า ส่วนตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันด้วยวิธีทั้งสองจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.4 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีโดยสุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระ

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีโดยสุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระของสารมาตรฐานดีเซล ซึ่งประมวลผลโดยใช้โปรแกรม SPSS for window และสามารถพิจารณาผลการทดสอบได้ดังนี้

4.4.1 สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 (ซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.151)

4.4.1.1 พิจารณาจากค่า t พบว่า ค่า t = 2.470 ซึ่งมากกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,8}$ ที่เปิดจากตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ 2.31 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_o: $\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2821 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 แตก ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552} \neq \mu_{ASTM\ D\ 129}$)

4.4.1.2 พิจารณาค่า Sig (2 –tailed) พบว่าค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.039 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_o: $\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552} \neq \mu_{ASTM\ D\ 129}$)

4.4.1.3 พิจารณาจากผลต่างระหว่างปริมาณกำมะถันเฉลี่ยใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และ ASTM D 129 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552} - \mu_{ASTM\ D\ 129}$) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีค่ามากกว่า0.0006 แต่น้อยกว่า 0.0186 ($0.0006 < \mu_{ASTM\ D\ 1552} - \mu_{ASTM\ D\ 129} < 0.0186$) นั่น แสดงว่าปริมาณกำมะถันใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 ตามวิธี มาตรฐาน ASTM D 1552 มากกว่าวิธี มาตรฐาน ASTM D 129

4.4.2 สารมาตรฐานดีเซล AR 2875 (ซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496)

4.4.2.1 พิจารณาจากค่า t พบว่าค่า t = -0.729 ซึ่งมากกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,8}$ ที่เปิดจากตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ -2.31 ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_o: $\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2875 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$)

4.4.2.2 พิจารณาค่า Sig (2 –tailed) พบว่าค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.487 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐาน H_o: $\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$ นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2821 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552} = \mu_{ASTM\ D\ 129}$)

4.4.2.3 พิจารณาจากผลต่างระหว่างปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2875 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และ ASTM D 129 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552}$ -$\mu_{ASTM\ D\ 129}$)ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีค่ามากกว่า –0.0056 แต่น้อยกว่า 0.0029 (-0.0056 < $\mu_{ASTM\ D\ 1552}$ -$\mu_{ASTM\ D\ 129}$< .0029) จะพบว่าค่าต่ำสุดเป็นลบและค่าสูงสุดเป็นบวกซึ่งรวมค่าศูนย์อยู่ด้วยนั่นแสดงว่าปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2875 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 และวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\mu_{ASTM\ D\ 1552}$ = $\mu_{ASTM\ D\ 129}$)

จากการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างค่าเฉลี่ยของ 2 วิธีโดยสุ่มตัวอย่างแต่ละวิธีอย่างเป็นอิสระพบว่าเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในสารมาตรฐานดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.151 วิธีที่ใช้เครื่อง Automatic Sulphur Analyzer จะให้ผลที่มีค่ามากกว่า ส่วนในสารมาตรฐานดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496 วิธีทั้งสองให้ผลที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.5 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันของวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันใน สารมาตรฐานดีเซลของวิธีต่าง ๆ ซึ่งประมวลผลได้จากโปรแกรม SPSS for window และสามารถพิจารณาผลการทดสอบได้ดังนี้

4.5.1 สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 (ซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.151)

4.5.1.1 พิจารณาจากค่า t พบว่าเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 ค่า t = 0.910 ซึ่งน้อยกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,4}$ ที่ได้จากการเปิดตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ 2.78 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 ค่า t = -2.524 ซึ่งมากกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,4}$ ที่เปิดจากตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ -2.78 นั้นจึงยอมรับสมมติฐาน H_o: μ_{AR2821} = 0.151 นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2821 วิเคราะห์ด้วยวิธีทั้งสองวิธีจะได้ค่า μ_{AR2821} = 0.151 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5.1.2 พิจารณาค่า Sig (2 –tailed) พบว่าวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 ค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.414 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 ค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.065 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งสองวิธีจึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐาน H_o: μ_{AR2821} =0.151 นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 วิเคราะห์ด้วยวิธีทั้งสองวิธีจะได้ค่า μ_{AR2821} = 0.151 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5.1.3 พิจารณาจากผลต่างระหว่างปริมาณกำมะถันเฉลี่ยใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 ของวิธีมาตร ฐาน ASTM D 1552 กับค่าปริมาณกำมะถันเฉลี่ยที่คาดว่ามีใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2821 คือ 0.151 (μ_{AR2821} - 0.151) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีค่ามากกว่า -0.0049 แต่น้อยกว่า 0.0097 (-0.0049 < μ_{AR2821} -0.151 < 0.0097) และในทำนองเดียวกันวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 จะได้ค่ามากกว่า -0.0151 แต่น้อยกว่า 0.0007 (-0.0151 < μ_{AR2821} -0.151< 0.0007) จะพบว่าทั้งสองวิธี

ให้ค่าต่ำสุดเป็นลบและค่าสูงสุด เป็นบวกซึ่งรวมค่าศูนย์อยู่ด้วย จึงปฏิเสธไม่ได้ว่าปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2821 ของวิธีทั้งสองเท่ากับ 0.151 (μ_{AR2821}=0.151)

4.5.2 สารมาตรฐานดีเซล AR 2875 (ซึ่งมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.0496)

4.5.2.1. พิจารณาจากค่า t พบว่า วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 ค่า t = 1.002 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 ค่า t = 1.012 ซึ่งน้อยกว่าค่าวิกฤต $t_{0.975,4}$ ที่เปิดจากตารางที่ 2 (ภาคผนวก ค.) ซึ่งเท่ากับ 2.78 ดังนั้น จึงยอมรับสมมติฐาน H_o: μ_{AR2875}= 0.0496 นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2875 วิเคราะห์ ด้วยวิธีทั้งสองวิธีจะได้ค่า μ_{AR2821} = 0.0496 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5.2.2 พิจารณาค่า Sig (2 –tailed) พบว่าวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Automatic Sulphur Analyzer ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 ค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.373 และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D129 ค่า Significant ของสถิติทดสอบ t = 0.369 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งสองวิธีจึงสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐาน H_o: μ_{AR2821}=0.151 นั่นคือปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2875 วิเคราะห์ด้วยวิธีทั้งสองจะได้ค่า μ_{AR2821} = 0.0496 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.5.2.3 พิจารณาจากผลต่างระหว่างปริมาณกำมะถันเฉลี่ยในสารมาตรฐานดีเซล AR 2875 ของวิธีมาตรฐาน ASTM D 1552 กับค่าปริมาณกำมะถันเฉลี่ยที่คาดว่ามีในสารมาตรฐานดีเซล AR 2875 คือ 0.0496 (μ_{AR2875} - 0.0496) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งมีค่ามากกว่า –0.0008 แต่น้อยกว่า 0.0017 (-0.0008 < μ_{AR2875} - 0.0496< 0.0017) และในทำนองเดียวกันวิเคราะห์ด้วยเครื่องBomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 129 จะได้ค่ามากกว่า -0.0031 แต่น้อยกว่า 0.0067 (-0.0031 < μ_{AR2875} -0.0496< 0.0067) จะพบว่าทั้งสองวิธีให้ค่าต่ำสุดเป็นลบและค่าสูงสุดเป็นบวกซึ่งรวมค่าศูนย์อยู่ด้วย จึงปฏิเสธไม่ได้ว่าปริมาณกำมะถันเฉลี่ยใน สารมาตรฐานดีเซล AR 2875ของวิธีทั้งสองเท่ากับ 0.0496 (μ_{AR2821} = 0.0496)

จากการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของปริมาณกำมะถันของวิธีต่าง ๆ (One–Sample T Test) พบว่าเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในสารมาตรฐานดีเซลที่มีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.151 และร้อยละ 0.0496 วิธีทั้งสองให้ความแม่น (Accuracy) ทั้งคู่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างถ่านหินซึ่งมีกำมะถันในช่วงร้อยละ 0.3-2.7 น้ำมันเตาซึ่งมีกำมะถันในช่วงร้อยละ 1.5-2.8 และน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.151 วิธีที่ใช้เครื่อง Automatic Sulphur Analyzer จะให้ค่าที่สูงกว่าวิธีที่ใช้ เครื่อง Bomb calorimeter แต่เมื่อทดสอบความแม่นด้วยสารมาตรฐานดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.151 พบว่าทั้งสองวิธีให้ความแม่นทั้งคู่ ส่วนในตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลซึ่งมีกำมะถันในช่วงร้อยละ 0.02-0.13 และสารมาตรฐานดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.0496 พบว่าวิธีทั้งสองให้ผลที่ไม่แตกต่างกันและเมื่อทดสอบความแม่นด้วยสารมาตรฐานดีเซลที่มีกำมะถันร้อยละ 0.0496 พบว่าทั้งสองวิธีให้ความแม่นทั้งคู่เช่นกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อาจกล่าวได้ว่าหากตัวอย่างเชื้อเพลิงมีปริมาณกำมะถันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.3-2.8 ซึ่งเป็นปริมาณที่จัดว่าสูง การเลือกใช้วิธีวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Automatic Sulphur Analyzer น่าจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าเนื่องจากเป็นวิธีที่ตัวอย่างเกิดการเผาไหม้โดยใช้อุณหภูมิสูง ทำให้กำมะถันสามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และถูกตรวจสอบด้วย IR cell อย่างสมบูรณ์กว่าวิธี Bomb calorimeter แต่หากตัวอย่างเชื้อเพลิงมีปริมาณกำมะถันค่อนข้างต่ำ (ร้อยละ 0.02-0.13) สามารถเลือกใช้ได้ทั้งสองวิธีเนื่องจากไม่มีความแตกต่างกัน และมีความแม่นเช่นเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบความเที่ยงของผลการวิเคราะห์ระหว่างวิธีทั้งสองโดยสังเกตจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน พบว่าวิธี Automatic Sulphur Analyzer ให้ค่าน้อยกว่าวิธี Bomb Calorimeter ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี Automatic Sulphur Analyzer มีความเที่ยงมากกว่าวิธี Bomb Calorimeter

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้วิธีใดในการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟอร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกหลายอย่าง เป็นต้นว่า ลักษณะของตัวอย่าง ค่าใช้จ่าย ทักษะของบุคลากร ซึ่งจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์ทั้งสองวิธีมีความแม่นใกล้เคียงกันทั้งในช่วงปริมาณกำมะถันสูงและต่ำ ดังนั้นการจะเลือกใช้วิธีใดจึงขึ้นกับดุลยพินิจและเครื่องมือที่แต่ละห้องปฏิบัติการมีความพร้อม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณ ดร.นิยะดา จิตต์จรัส หัวหน้าภาควิชาจิตวิทยา คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร) ที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล และการใช้โปรแกรม SPSS ในการคำนวณ

เอกสารอ้างอิง

1. กัลยา วานิชย์บัญชา. **การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูล,** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพ: โรงพิมพ์ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซี เค แอนด์ เอส โฟโต้สตูดิโอ, 2543.
2. กัลยา วานิชย์บัญชา. **การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ,** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
3. Abraham, V. and DeMan, JM. Determination of total sulfur in canola oil. **Journal of the American Oil Chemists Society.** 1987, vol. 64, no. 3, p. 384-387.
4. American Society for Testing and Materials. **Annual book of ASTM standards**: petroleum product, lubricants and fossil fuel. Section 5. Vol. 05.01 Washington, DC: ASTM, 2000.
5. American Society for Testing and Materials. **Annual book of ASTM standards**: gaseous fuels, coal and coke. Section 5. Vol. 05.05. Washington, DC: ASTM, 2000.
6. Calkins, WH. The chemical forms of sulfur in coal: a review. **Fuel.** 1994, vol. 73, no. 4, p. 475-484.
7. Gerzabek, MH. Determination of total sulfur in soil - a comparison of methods. **Bodenkultur**. 1986, vol. 37, no. 1, p. 1-6.
8. Hern, JL. Determination of total sulfur in plant materials using an automated sulfur analyzer. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**. 1984, vol.15, no. 12, p. 99-107.
9. Matejovic, I. The application of the Dumas method for determination of carbon, nitrogen and sulfur in plant samples. **Rostlinna Vyroba.** 1996, vol. 42, no. 7, p. 313-316.
10. Nagy, PT. Application of an element analyser for soil and plant analyses (dry combustion method). **Agrokemia Es Talajtan**. 2000, vol. 49, no. 3/4, p. 521-534.
11. Smith, G.P. Rapid determination of total sulfur in plants and solids by combustion sulfur analysis. **Analytical Letters**. 1980, vol. 13, no. A 6, p. 465-471.

ภาคผนวก ก.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ

ภาคผนวก ก. ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันในตัวอย่างประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในตัวอย่างถ่านหินโดยเครื่อง Automatic sulphur analyzer (วิธี ASTM D 4239)

หมายเลขปฏิบัติการ	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 3	ผลการทดลองครั้งที่ 4	ผลการทดลองครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
VI 690	1.170	1.18	1.170	1.170	1.180	1.174
VR 488	0.471	0.477	0.468	0.483	0.482	0.476
VK 674	0.765	0.772	0.771	0.77	0.786	0.773
VP 568	0.330	0.327	0.326	0.335	0.339	0.331
VR 746	0.652	0.657	0.654	0.657	0.656	0.655
VG 456	1.470	1.460	1.480	1.470	1.470	1.470
VM 213	2.290	2.270	2.290	2.300	2.290	2.288
VK 677	2.730	2.730	2.730	2.720	2.740	2.73
VH 440	1.880	1.880	1.890	1.880	1.890	1.884
VH 441	2.440	2.430	2.460	2.480	2.460	2.454
VK 673	0.922	0.942	0.935	0.928	0.937	0.933
VL 398	0.918	0.924	0.921	0.930	0.912	0.921

หมายเหตุ: ใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์นี้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในตัวอย่างถ่านหินโดยเครื่อง Bomb calorimeter (วิธี ASTM D 3177)

หมายเลขปฏิบัติการ	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 3	ผลการทดลองครั้งที่ 4	ผลการทดลองครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
VI 690	1.050	1.100	1.060	1.080	1.080	1.074
VR 488	0.441	0.432	0.438	0.429	0.45	0.438
VK 674	0.708	0.682	0.71	0.704	0.686	0.698
VP 568	0.247	0.253	0.246	0.284	0.27	0.26
VR 746	0.554	0.535	0.564	0.561	0.559	0.555
VG 456	1.380	1.430	1.390	1.400	1.380	1.396
VM 213	2.340	2.280	2.340	2.260	2.310	2.306
VK 677	2.710	2.610	2.660	2.710	2.700	2.678
VH 440	1.810	1.850	1.830	1.830	1.840	1.832
VH 441	2.470	2.450	2.430	2.370	2.410	2.426
VK 673	0.901	0.894	0.906	0.923	0.942	0.913
VL 398	0.844	0.846	0.866	0.892	0.890	0.868

หมายเหตุ: ใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์นี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในตัวอย่างน้ำมันเตาโดยเครื่อง Automatic sulphur analyzer (วิธี ASTM D 1552)

หมายเลขปฏิบัติการ	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 3	ผลการทดลองครั้งที่ 4	ผลการทดลองครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
VV 78	2.82	2.80	2.78	2.79	2.83	2.80
VV 77	2.80	2.79	2.87	2.82	2.87	2.83
VO 786	3.24	3.18	3.18	3.23	3.24	3.21
VL 638	1.50	1.57	1.50	1.56	1.52	1.53
VW 306	1.63	1.62	1.66	1.62	1.67	1.64
VL 639	1.47	1.45	1.48	1.49	1.50	1.48

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในตัวอย่างน้ำมันเตาโดยเครื่อง Bomb calorimeter (วิธี ASTM D 129)

หมายเลขปฏิบัติการ	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 3	ผลการทดลองครั้งที่ 4	ผลการทดลองครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
VV 78	2.72	2.62	2.70	2.67	2.65	2.67
VV 77	2.77	2.76	2.76	2.69	2.73	2.74
VO 786	3.05	2.98	2.93	2.97	2.98	2.98
VL 638	1.44	1.5	1.44	1.5	1.52	1.48
VW 306	1.59	1.64	1.64	1.64	1.62	1.63
VL 639	1.39	1.39	1.31	1.37	1.35	1.36

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่อง Automatic sulphur analyzer (วิธี ASTM D 4239)

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	ผลการทดลอง ครั้งที่ 1	ผลการทดลอง ครั้งที่ 2	ผลการทดลอง ครั้งที่ 3	ผลการทดลอง ครั้งที่ 4	ผลการทดลอง ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
VR 289	กากทะลายปาล์ม	0.0590	0.0550	0.0588	0.0588	0.0577	0.0579
VR 290	เปลือกฝัก	0.0605	0.0566	0.0635	0.0665	0.0633	0.0621
VR 522	เส้นใยปาล์ม	0.1590	0.1490	0.1630	0.1690	0.1570	0.1594
VR 524	ทะลายปาล์ม	0.1000	0.1130	0.1090	0.1070	0.1030	0.1064
VW 760	Starch pulp	0.0170	0.0207	0.0196	0.0176	0.0203	0.0190
VW 761	Starch pulp	0.0426	0.0476	0.0467	0.0467	0.0456	0.0458
VW 762	Starch pulp	0.0322	0.0297	0.0310	0.0311	0.0317	0.0311
VW 763	Tapioca chips	0.0241	0.0208	0.0219	0.0233	0.0203	0.0221

หมายเหตุ: ใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์นี้

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ในตัวอย่างเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเครื่อง Bomb calorimeter (วิธี ASTM D 3177)

หมายเลขปฏิบัติการ	ชื่อตัวอย่าง	ผลการทดลอง ครั้งที่ 1	ผลการทดลอง ครั้งที่ 2	ผลการทดลอง ครั้งที่ 3	ผลการทดลอง ครั้งที่ 4	ผลการทดลอง ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
VR 289	กากทะลายปาล์ม	0.0542	0.0613	0.0575	0.0538	0.0593	0.0572
VR 290	เปลือกฝัก	0.0701	0.0765	0.0737	0.0662	0.0701	0.0713
VR 522	เส้นใยปาล์ม	0.1335	0.1455	0.1342	0.1368	0.1542	0.1408
VR 524	ทะลายปาล์ม	0.0897	0.0905	0.0836	0.0966	0.0876	0.0896
VW 760	Starch pulp	0.0263	0.0207	0.0199	0.0239	0.0339	0.0249
VW 761	Starch pulp	0.0341	0.0335	0.0269	0.0414	0.0581	0.0388
VW 762	Starch pulp	0.0429	0.0513	0.0439	0.0533	0.0558	0.0494
VW 763	Tapioca chips	0.0352	0.0307	0.0278	0.0174	0.0323	0.0287

หมายเหตุ: ใช้สภาพตัวอย่างอบแห้งเป็นเกณฑ์สำหรับการคำนวณผลการวิเคราะห์นี้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันใน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) สารมาตรฐานดีเซล (Standard Diesel) โดยเครื่อง Automatic sulphur analyzer (วิธี ASTM D 1552)

สารมาตรฐานดีเซล	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 3	ผลการทดลองครั้งที่ 4	ผลการทดลองครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
AR 2821	0.161	0.158	0.148	0.148	0.152	0.1534
AR 2875	0.0488	0.0495	0.0513	0.0509	0.0498	0.0501

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ใน สารมาตรฐานดีเซลโดยเครื่อง Bomb calorimeter (วิธี ASTM D 129)

สารมาตรฐานดีเซล	ผลการทดลองครั้งที่ 1	ผลการทดลองครั้งที่ 2	ผลการทดลองครั้งที่ 3	ผลการทดลองครั้งที่ 4	ผลการทดลองครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย
AR 2821	0.138	0.145	0.143	0.139	0.154	0.1438
AR 2875	0.0525	0.0528	0.0529	0.0552	0.0511	0.0529

ภาคผนวก ข.

การคำนวณข้อมูลทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ภาคผนวก ข การคำนวณข้อมูลทางสถิติโดยโปรแกรมสำเร็จรูปSPSS

Descriptives Coal-Automatic sulphure analyser

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std.
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
VI690	5	.010	1.170	1.180	5.870	1.1740	.0024	.0055
VR488	5	.015	.468	.483	2.381	.4762	.0030	.0066
VK467	5	.021	.765	.786	3.864	.7728	.0035	.0079
VP568	5	.013	.326	.339	1.657	.3314	.0025	.0055
VR746	5	.005	.652	.657	3.276	.6552	.0010	.0022
VG456	5	.020	1.460	1.480	7.350	1.4700	.0032	.0071
VM213	5	.030	2.270	2.300	11.440	2.2880	.0049	.0110
VK677	5	.020	2.720	2.740	13.650	2.7300	.0032	.0071
VH440	5	.010	1.880	1.890	9.420	1.8840	.0024	.0055
VH441	5	.050	2.430	2.480	12.270	2.4540	.0087	.0195
VK673	5	.020	.922	.942	4.664	.9328	.0035	.0079
VL398	5	.018	.912	.930	4.605	.9210	.0030	.0067
Valid N (listwise)	5							

Descriptives Coal-Bomb calorimeter

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std.
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
VI690	5	.050	1.050	1.100	5.370	1.0740	.0087	.0195
VR488	5	.021	.429	.450	2.190	.4380	.0037	.0082
VK467	5	.028	.682	.710	3.490	.6980	.0058	.0130
VP568	5	.038	.246	.284	1.300	.2600	.0074	.0165
VR746	5	.029	.535	.564	2.773	.5546	.0052	.0115
VG456	5	.050	1.380	1.430	6.980	1.3960	.0093	.0207
VM213	5	.080	2.260	2.340	11.530	2.3060	.0160	.0358
VK677	5	.100	2.610	2.710	13.390	2.6780	.0193	.0432
VH440	5	.040	1.810	1.850	9.160	1.8320	.0066	.0148
VH441	5	.100	2.370	2.470	12.130	2.4260	.0172	.0385
VK673	5	.048	.894	.942	4.566	.9132	.0086	.0193
VL398	5	.048	.844	.892	4.338	.8676	.0103	.0230
Valid N (listwise)	5							

Descriptives Residual fuel oil-Automatic sulphure analyser

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std.
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
VV78	5	.05	2.78	2.83	14.02	2.8040	.0093	.0207
VV77	5	.08	2.79	2.87	14.15	2.8300	.0170	.0381
VO786	5	.06	3.18	3.24	16.07	3.2140	.0140	.0313
VL638	5	.07	1.50	1.57	7.65	1.5300	.0148	.0332
VW306	5	.05	1.62	1.67	8.20	1.6400	.0105	.0235
VL639	5	.05	1.45	1.50	7.39	1.4780	.0086	.0192
Valid N (listwise)	5							

Descriptives Residual fuel oil-Bomb calorimeter

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std.
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
VV78	5	.10	2.62	2.72	13.36	2.6720	.0177	.0396
VV77	5	.08	2.69	2.77	13.71	2.7420	.0146	.0327
VO786	5	.12	2.93	3.05	14.91	2.9820	.0193	.0432
VL638	5	.08	1.44	1.52	7.40	1.4800	.0167	.0374
VW306	5	.05	1.59	1.64	8.13	1.6260	.0098	.0219
VL639	5	.08	1.31	1.39	6.81	1.3620	.0150	.0335
Valid N (listwise)	5							

Descriptives Biomass-Automatic sulphure analyser

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std.
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
VR289	5	.0040	.0550	.0590	.2893	.0579	.0008	.0017
VR290	5	.0099	.0566	.0665	.3104	.0621	.0017	.0037
VR522	5	.0200	.1490	.1690	.7970	.1594	.0033	.0074
VR524	5	.0130	.1000	.1130	.5320	.1064	.0023	.0051
VW760	5	.0037	.0170	.0207	.0952	.0190	.0007	.0017
VW761	5	.0050	.0426	.0476	.2292	.0458	.0009	.0019
VW762	5	.0025	.0297	.0322	.1557	.0311	.0004	.0009
VW763	5	.0038	.0203	.0241	.1104	.0221	.0007	.0016
Valid N (listwise)	5							

Descriptives Biomass-Bomb calorimeter

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Sum	Mean		Std.
	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Statistic	Std. Error	Statistic
VR289	5	.0075	.0538	.0613	.2861	.0572	.0014	.0032
VR290	5	.0103	.0662	.0765	.3566	.0713	.0018	.0039
VR522	5	.0207	.1335	.1542	.7042	.1408	.0040	.0089
VR524	5	.0130	.0836	.0966	.4480	.0896	.0021	.0047
VW760	5	.0048	.0199	.0247	.1115	.0223	.0009	.0020
VW761	5	.0079	.0335	.0414	.1841	.0368	.0015	.0034
VW762	5	.0104	.0429	.0533	.2424	.0485	.0021	.0047
VW763	5	.0062	.0278	.0340	.1528	.0306	.0012	.0027
Valid N (listwise)	5							

Descriptives Standard deisel AR2821-2875 (Automatic sulphure analyser)

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
AR2821	5	.013	.148	.161	.1534	.0059
AR2875	5	.0025	.0488	.0513	.0501	.0010
Valid N (listwise)	5					

Descriptives Standard deisel AR2821-2875 (Bomb calorimeter)

Descriptive Statistics

	N	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
AR2821	5	.016	.138	.154	.1438	.0064
AR2875	5	.0104	.0448	.0552	.0514	.0040
Valid N (listwise)	5					

Explore Coal (Auto-Bomb)

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Auto	.192	12	.200*	.920	12	.350
Bomb	.184	12	.200*	.914	12	.305

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

T-Test(Coal)

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Auto-Bomb	12	.999	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Auto-Bomb	.0538	.0340	.0098	.0322	.0754	5.488	11	.000

Explore Residual fuel oil(Auto-Bomb)

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Auto	.282	6	.147	.802	6	.068
Bomb	.265	6	.200*	.814	6	.084

*. *This is a lower bound of the true significance.*

a. Lilliefors Significance Correction

T-Test(Residual fuel oil)

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 (Auto-Bomb)	6	.997	.000

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 Auto-Bomb	.1053	.0756	.0309	.0260	.1847	3.413	5	.019

Explore Biomass (Auto-Bomb)

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Auto	.257	8	.127	.859	8	.141
Bomb	.176	8	.200*	.897	8	.329

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

T-Test (Biomass)

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	Auto-Bomb	8	.978	.000

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Auto-Bomb	.0008	.0129	.0046	-.0100	.0117	.183	7	.860

Explore Standard deisel AR2821,AR2875(Auto-Bomb)

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
AR2821Auto	.220	5	.200*	.814	5	.126
AR2821Bomb	.225	5	.200*	.886	5	.364
AR2875Auto	.200	5	.200*	.909	5	.440
AR2875Bomb	.270	5	.200*	.895	5	.395

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

T-Test Standard deisel AR2821 (Auto-Bomb)

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AR2821Auto	5	.1534	.0059	.0026
AR2821Bomb	5	.1438	.0064	.0029

One-Sample Test

	Test Value = 0.151					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
AR2821Auto	.910	4	.414	.0024	-.0049	.0097
AR2821Bomb	-2.524	4	.065	-.0072	-.0151	.0007

T-Test Standard deisel AR2875(Auto-Bomb)

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AR2875Auto	5	.0501	.0010	.0005
AR2875Bomb	5	.0514	.0040	.0018

One-Sample Test

	Test Value = 0.0496					
					95% Confidence Interval of the Difference	
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Lower	Upper
AR2875Auto	1.002	4	.373	.0005	-.0008	.0017
AR2875Bomb	1.012	4	.369	.0018	-.0031	.0067

T-Test Standard deisel AR2821(Auto-Bomb)

Group Statistics

	NO	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT	AR2821Auto	5	.15340	.0059	.0026
	AR2821Bomb	5	.14380	.0064	.0029

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
RESULT	Equal variances assumed	.026	.876	2.470	8	.039	.0096	.0039	.0006	.0186
	Equal variances not assumed			2.470	7.951	.039	.0096	.0039	.0006	.0186

T-Test Standard deisel AR2875 (Auto-Bomb)

Group Statistics

	NO1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
RESULT1	AR2875Auto	5	.0501	.0010	.0005
	AR2875Bomb	5	.0514	.0040	.0018

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
RESULT1	Equal variances assumed	2.863	.129	-.729	8	.487	-.0013	.0018	-.0056	.0029
	Equal variances not assumed			-.729	4.530	.502	-.0013	.0018	-.0062	.0035

ภาคผนวก ค.

ตารางค่าวิกฤตของค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

ตารางที่ 1

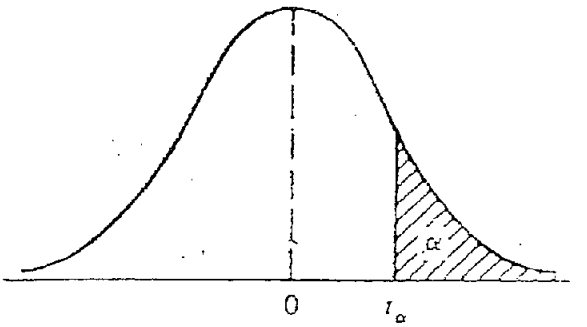
ค่าวิกฤตของ Lilliefors Test

Critical Values of the Lilliefors Test

SAMPLE SIZE n	SIGNIFICANCE LEVEL α				
	.20	.15	.10	.05	.01
4	.300	.319	.352	.381	.417
5	.285	.299	.315	.337	.405
6	.265	.277	.294	.319	.364
7	.247	.258	.276	.300	.348
8	.233	.244	.261	.285	.331
9	.223	.233	.249	.271	.311
10	.215	.224	.239	.258	.294
11	.206	.217	.230	.249	.284
12	.199	.212	.223	.242	.275
13	.190	.202	.214	.234	.268
14	.183	.194	.207	.227	.261
15	.177	.187	.201	.220	.257
16	.173	.182	.195	.213	.250
17	.169	.177	.189	.206	.245
18	.166	.173	.184	.200	.239
19	.163	.169	.179	.195	.235
20	.160	.166	.174	.190	.231
25	.142	.147	.158	.173	.200
30	.131	.136	.144	.161	.187
Over 30	$\frac{.736}{\sqrt{n}}$	$\frac{.768}{\sqrt{n}}$	$\frac{.805}{\sqrt{n}}$	$\frac{.886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.031}{\sqrt{n}}$

SOURCE: From H. W. Lilliefors, "On the Kolmogorov–Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown," *Journal of the American Statistical Association* 62 (1967): 399–402. As adapted by Conover, *Practical Nonparametric Statistics* (New York: John Wiley, 1971), p. 398. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc., and the American Statistical Association.

ตารางที่ 2



ตารางค่าวิกฤตของการแจกแจง t

ν	α				
	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
inf.	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576