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

วศ บร
ชว 11

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7ว

ของ
นางวรรณี อู่ไพบูรณ์
นักวิทยาศาสตร์ 6ว

**เรื่องที่ 2**

# การประมาณค่าอะโรมาติกและค่าจุดวาบไฟจากสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยาล้างลำกล้องปืน

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ
สำนักบริหารจัดการและรับรองห้องปฏิบัติการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7ว

ของ
นางวรรณี อู่ไพบูรณ์
นักวิทยาศาสตร์ 6ว

เลขหมู่ ๒๗ บ๘ ๓๓ ๑๑
เลขทะเบียน 13896
วันที่ ๒๕ ม.ค. ๔๙

**เรื่องที่ 2**

# การประมาณค่าอะโรมาติกและค่าจุดวาบไฟจากสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยาล้างลำกล้องปืน

กลุ่มบริหารจัดการทดสอบความชำนาญ
สำนักบริหารจัดการและรับรองห้องปฏิบัติการ
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

## บทคัดย่อ

งานศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาการประมาณค่าอะโรมาติกจากจุดอะนิลีนและการประมาณค่าจุดวาบไฟจากช่วงการกลั่นของน้ำยาล้างลำกล้องปืน โดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายและแบบพหุคูณ

จากการศึกษาพบว่าค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีนมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่ายโดยให้ค่าอะโรมาติกเป็นตัวแปรตาม (y) และค่าจุดอะนิลีนเป็นตัวแปรอิสระ (x) สมการที่ได้คือ $y = 58.352 - 0.753\ x$ มีช่วงการใช้งานอยู่ที่ค่าจุดอะนิลีนเท่ากับ 47.2 - 66.5 องศาเซลเซียส ส่วนค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่นพบว่ามีความสัมพันธ์กัน สามารถสร้างสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ โดยให้ค่าจุดวาบไฟเป็นตัวแปรตาม (y) และจุดกลั่นแรกเป็นตัวแปรอิสระ ($x_1$) จุดกลั่นสุดท้ายเป็นตัวแปรอิสระ ($x_2$) สมการที่ได้คือ $y = 0.611\ x_1 + 0.115\ x_2 - 75.00$ มีช่วงการใช้งานอยู่ที่ช่วงการกลั่นเท่ากับ 119-332 องศาเซลเซียส

สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | i |
| สารบัญ | ii |
| สารบัญตาราง | iv |
| สารบัญภาพ | v |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ | 3 |
| 1.5 ระยะเวลาดำเนินการ | 3 |
| บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ | 4 |
| 2.1 ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน | 4 |
| 2.2 การวิเคราะห์สมบัติตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน | 4 |
| 2.3 น้ำยาล้างลำกล้องปืน | 7 |
| 2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น(*Regression Analysis*) | 8 |
| 2.5 การพิจารณาความเหมาะสมของสมการการถดถอย | 12 |
| 2.6 การทดสอบสมมติฐาน | 13 |
| บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีดำเนินการ | 15 |
| 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการประมาณค่า | 15 |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์ | 15 |
| 3.3 สารเคมี | 15 |
| 3.4 วิธีวิเคราะห์ | 16 |
| 3.5 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงของน้ำยาล้างลำกล้องปืน | 19 |
| 3.6 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปSPSS ในการคำนวณความถดถอย | 20 |

สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | i |
| สารบัญ | ii |
| สารบัญตาราง | iv |
| สารบัญภาพ | v |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 2 |
| 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ | 3 |
| 1.5 ระยะเวลาดำเนินการ | 3 |
| บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ | 4 |
| 2.1 ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน | 4 |
| 2.2 การวิเคราะห์สมบัติตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน | 4 |
| 2.3 น้ำยาล้างลำกล้องปืน | 7 |
| 2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น(Regression Analysis) | 8 |
| 2.5 การพิจารณาความเหมาะสมของสมการการถดถอย | 12 |
| 2.6 การทดสอบสมมติฐาน | 13 |
| บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีดำเนินการ | 15 |
| 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการประมาณค่า | 15 |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์ | 15 |
| 3.3 สารเคมี | 15 |
| 3.4 วิธีวิเคราะห์ | 16 |
| 3.5 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงของน้ำยาล้างลำกล้องปืน | 19 |
| 3.6 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปSPSS ในการคำนวณความถดถอย | 20 |

บทที่ 4 ผลการทดลอง 23
4.1 วิเคราะห์ความถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายระหว่าง
ค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีน 23
4.2 วิเคราะห์ความถดถอยแบบเส้นตรงแบบพหุคูณระหว่าง
ค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น 23
บทที่ 5 วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง 30
5.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายระหว่าง
ค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีน 30
5.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ
ระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น 31
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 34
6.1 สรุปผลศึกษาการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างสมบัติต่างๆ
ของน้ำยาล้างลำกล้องปืน 34
กิตติกรรมประกาศ 35
เอกสารอ้างอิง 36
ภาคผนวก ก เกณฑ์กำหนดของการซื้อขายน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่
กรมวิทยาศาสตร์บริการได้รับจากลูกค้า 37
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์การถดถอยจากโปรแกรม SPSS 39
ภาคผนวก ข 1 ผลการวิเคราะห์การถดถอยจากโปรแกรม SPSS
ระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีน 40
ภาคผนวก ข 1 ผลการวิเคราะห์การถดถอยจากโปรแกรม SPSS
ระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น 41

# สารบัญตาราง


หน้า

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าอะโรมาติกและค่าจุดอะนิลีน ของตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืน 25

ตารางที่ 4.2 แสดงสมการถดถอยและค่าทางสถิติที่ได้จาก การวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างค่าอะโรมาติกกับจุดอะนิลีน 26

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก การคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองของค่าอะโรมาติก 26

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ช่วงการกลั่นและค่าจุดวาบไฟของ ตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่นำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ 27

ตารางที่ 4.5 แสดงสมการถดถอยและค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ ความถดถอยระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น 28

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าจุดวาบไฟที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากสมการถดถอย 28

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ที่มาของปัญหา

การศึกษาคุณสมบัติหรือแบ่งชั้นคุณภาพของตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน(Petroleum Solvent) จะต้องทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีหลายๆรายการประกอบกัน จึงจะสามารถจัดประเภทหรือแบ่งชั้นคุณภาพของสารได้ สมบัติต่างๆที่ต้องวิเคราะห์เช่นการหาปริมาณกำมะถัน ปริมาณน้ำ ปริมาณอะโรมาติก ความถ่วงจำเพาะ ความหนืด การวิเคราะห์คุณภาพแต่ละรายการนั้นมีความยากง่ายและใช้เวลาในการวิเคราะห์แตกต่างกัน ทำการวิเคราะห์ครบทุกรายการอาจต้องใช้เวลามากและเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ส่วนมากมีราคาแพง ในอุตสาหกรรมนั้นต้องการความรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่าย จึงมีผู้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆที่วิเคราะห์เพื่อที่จะทำนายหรือคำนวณสมบัติหนึ่งจากอีกสมบัติหนึ่ง ถ้าสมบัติที่ใช้วิธีวิเคราะห์ที่รวดเร็วหรือใช้เครื่องมือที่ไม่แพงสามารถทำนายสมบัติที่มีวิธีวิเคราะห์ที่ยุ่งยากใช้เวลานานหรือเครื่องมือมีราคาแพงได้ จะทำให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายลงได้ น้ำยาล้างลำกล้องปืนเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ผลิตจากตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน ต้องมีการวิเคราะห์สมบัติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานหลายรายการเช่นตรวจการกัดกร่อนโลหะโดยวิเคราะห์ปริมาณกำมะถัน ค่าความเป็นกลางของส่วนที่เหลือจากการกลั่น ตรวจวิเคราะห์จุดวาบไฟเพื่อความปลอดภัยในการใช้งานและการเก็บรักษา ถ้าสามารถหาความสัมพันธ์ของสมบัติต่างๆได้อาจนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพขั้นต้นได้โดยไม่ต้องทำการทดสอบทุกรายการ การหาความสัมพันธ์นิยมใช้วิธีทางสถิติที่เรียกว่าการวิเคราะห์การถดถอย ซึ่งในปัจจุบันทำได้ง่ายมากเพราะมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่สามารถคำนวณค่าทางสถิติได้รวดเร็วและมีความถูกต้องสูง

งานวิเคราะห์เคมีเชิงฟิสิกส์ (เดิม) มีหน้าที่วิเคราะห์เชื้อเพลิงสารหล่อลื่นและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดหนึ่งที่มีลูกค้าทั้งภาครัฐและภาคเอกชนส่งมาวิเคราะห์คุณภาพอยู่เป็นประจำ เพื่อใช้ในการซื้อขาย ประมูลและควบคุมคุณภาพ ตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์เช่นทินเนอร์ สารทำความสะอาดคราบสกปรกเช่นน้ำมันชะล้าง น้ำยาทำความสะอาดอาวุธปืน รายการที่ต้องการวิเคราะห์คือค่าจุดวาบไฟ การกลั่น จุดอะนิลีน ปริมาณอะโรมาติก ปริมาณกำมะถัน ความเป็นกลาง ปัญหาอุปสรรคในการวิเคราะห์คือการทดลองการหาจุดวาบไฟต้องมี

การประมาณค่าจุดวาบไฟ (expect flash point) ถ้าประมาณผิดจะต้องทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง การหาโดยใช้เครื่องอัตโนมัติก็เช่นกันต้องมีการประมาณค่าจุดวาบไฟเพื่อป้อนข้อมูลใส่ลงในเครื่อง ถ้าการประมาณค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริงมากกว่า 5 องศาเซลเซียส ต้องทำการทดลองใหม่ ซึ่งทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองในการที่ต้องวิเคราะห์หลายครั้ง ค่าจุดวาบไฟและค่าจุดเดือดต่างก็มีความสัมพันธ์กับค่าความดันไอคือถ้าความดันไอสูงค่าจุดวาบไฟและค่าจุดเดือดจะต่ำ เพราะฉะนั้นจุดวาบไฟและจุดเดือดน่าจะมีความสัมพันธ์กันด้วยเช่นกัน ตัวอย่างน้ำมันทำความสะอาดอาวุธปืนที่ส่งมาวิเคราะห์นั้นมีรายการวิเคราะห์ความเป็นกลางซึ่งต้องมีการกลั่นตัวอย่างอยู่แล้ว จึงน่าที่จะนำค่าช่วงการกลั่นที่ได้ไปใช้หาความสัมพันธ์กับจุดวาบไฟเพื่อใช้ในการประมาณค่าจุดวาบไฟให้แม่นยำยิ่งขึ้น ส่วนค่าอะโรมาติกมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับค่าจุดอะนิลีนคือสารชนิดเดียวกัน ถ้ามีปริมาณอะโรมาติกมากจะมีค่าจุดอะนิลีนต่ำ ถ้ามีปริมาณอะโรมาติกน้อยจะมีค่าจุดอะนิลีนสูง ถ้าสามารถหาความสัมพันธ์ได้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตที่ต้องวิเคราะห์ค่านี้อยู่เป็นประจำ สามารถใช้ค่าจุดอะนิลีนทำนายค่าอะโรมาติกได้ เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะหาความสัมพันธ์ของค่าจุดวาบไฟกับค่าการกลั่นและจุดอะนิลีนกับค่าอะโรมาติกของน้ำยาล้างลำกล้องปืน เพื่อนำไปใช้เป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหรือเผยแพร่แก่ผู้สนใจนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 หาความสัมพันธ์และสมการถดถอยที่ใช้ในการคำนวณระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีนของน้ำยาล้างลำกล้องปืนโดยใช้โปรแกรม SPSS

1.2.2 หาความสัมพันธ์และสมการถดถอยที่ใช้ในการคำนวณระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่นของน้ำยาล้างลำกล้องปืนโดยใช้โปรแกรม SPSS

## 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.3.1 สามารถทำนายค่าอะโรมาติกจากค่าจุดอะนิลีนของน้ำยาล้างลำกล้องปืนได้

1.3.2 สามารถประมาณค่าจุดวาบไฟเพื่อป้อนให้เครื่องหาจุดวาบไฟแบบอัตโนมัติ ทำให้ประหยัดเวลา ประหยัดค่าใช้จ่ายและลดปริมาณของเสียจากการทำการทดลองซ้ำหลายครั้ง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

1.4.1 รวบรวมข้อมูลน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่ส่งมาวิเคราะห์

1.4.2 ศึกษาสถิติต่างๆที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 นำข้อมูลหาความสัมพันธ์

1.4.4 นำข้อมูลวิเคราะห์การถดถอยโดยใช้โปรแกรม SPSS

1.4.5 สร้างสมการถดถอย

1.4.6 แทนค่าในสมการเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณ

1.4.7 หาค่าเฉลี่ยของความแตกต่างและค่าความแตกต่างต่ำสุด – มากสุด

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

กรกฎาคม - ธันวาคม 2546

# บทที่ 2

# วารสารปริทัศน์

## 2.1 ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน [3]

ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน เป็นของเหลวที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม นำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิดเช่นอุตสาหกรรมสี หมึกพิมพ์ กาว สารทำความสะอาด ซักแห้ง เครื่องหนัง ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการผลิตก้าวหน้าไปมากสามารถผลิตตัวทำละลายคุณภาพสูง ครอบคลุมกับความต้องการของอุตสาหกรรมต่างๆ ในการเลือกใช้จำเป็นต้องมีศึกษาสมบัติต่างๆของตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนก่อนจึงจะเลือกนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม ตัวทำละลายต่างๆที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งประเภทอย่างกว้างๆโดยใช้จุดเดือดได้ดังนี้

1. Special boiling point spirits (SBP) มีช่วงการกลั่นอยู่ที่ 30-165 องศาเซลเซียส
2. Pure aromatic เช่น เบนซิน (Benzene) โทลูอีน (Toluene) ไซลีน (Xylene)
3. ไวท์สปิริต (White spirits) และมิเนอรัลสปิริต (mineral spirit) แนพธา (naphtha) มีช่วงการกลั่นอยู่ที่ 150-210 องศาเซลเซียส
4. High boiling petroleum fraction มีช่วงการกลั่นอยู่ที่ 160-325 องศาเซลเซียส

สมบัติที่สำคัญของตัวทำละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมคือ ความสามารถในการทำละลาย (solvency) การระเหย (volatility) จุดวาบไฟ (Flash point) เสถียรภาพทางเคมี (chemical stability) สี (Color) และกลิ่น (Odor) การกัดกร่อน (Corrosion) ความเป็นพิษ (Hazardous) และราคา (cost) การวิเคราะห์คุณภาพนั้นจำเป็นต้องใช้วิธีวิเคราะห์ทดสอบที่เหมาะสม เป็นไปตามมาตรฐานสากลจึงจะสามารถนำค่าที่ได้นั้นมาเปรียบเทียบหรือแบ่งชั้นคุณภาพได้ มาตรฐานสากลที่ใช้และเป็นที่ยอมรับเช่น IP (The Institute of petroleum), ASTM (American Standard Testing Material) ในมาตรฐานจะกำหนดเครื่องมือ การเก็บตัวอย่าง วิธีวิเคราะห์การคำนวณไว้อย่างครบถ้วน

## 2.2 การวิเคราะห์สมบัติตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน [3]

2.2.1 การเก็บตัวอย่าง (Sampling) การเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ต้องเก็บอย่างถูกวิธีเพราะการเก็บที่ผิดวิธีหรือมีสิ่งปลอมปนจะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้ การเก็บตัวอย่างทำตาม

ASTM D4057 (Manual Sampling of Petroleum/Petroleum Products) ต้องแน่ใจว่าภาชนะที่ใช้ใส่ต้องสะอาดและแห้ง ไม่มีกลิ่น ป้องกันการระเหยได้ ถ้าเป็นตัวทำละลายที่เบามากอาจจำเป็นต้องแช่เย็น ในระหว่างเก็บเพื่อรอการตรวจวิเคราะห์ ต้องเก็บในที่แห้ง มืดและเย็น เพื่อป้องกันการเปลี่ยนสีและการเกิดกลิ่น

2.2.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เป็นวิธีที่รวดเร็วบอกถึงชั้นคุณภาพได้อย่างคร่าวๆ ถ้าต้องการทราบความบริสุทธิ์หรือคุณภาพของสารต้องนำมาใช้ร่วมกับวิธีอื่น การหาความถ่วงจำเพาะของ liquid petroleum วิเคราะห์ตาม ASTM D1298 (Density, Relative Density (Specific Gravity) or API (Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method) ซึ่งเป็นวิธีวัดโดยใช้หลักการของไฮดรอมิเตอร์ (hydrometer) การวัดจะต้องวัดอุณหภูมิด้วย เพื่อใช้ในการปรับค่าเป็นอุณหภูมิมาตรฐาน ค่าที่ได้สามารถนำมาใช้ในการเปลี่ยนจากปริมาตรเป็นน้ำหนักที่อุณหภูมิอ้างอิงมาตรฐาน เพื่อประโยชน์ในการซื้อขายโดยใช้ตาราง Petroleum Measurement Tables

2.2.3 ช่วงการกลั่น (Distillation range) วิเคราะห์ตาม ASTM D86 (Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure) เนื่องจากตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนส่วนมากเป็นของผสมจึงไม่รายงานเป็นจุดเดือด แต่จะรายงานเป็นช่วงจุดเดือดคือตั้งแต่อุณหภูมิต่ำสุดที่ของเหลวเดือดจนกลายเป็นไอกลั่นตัวออกมาเรียกว่าจุดกลั่นแรก (Initial boiling point) กลั่นตัวต่อไปจนถึงอุณหภูมิสูงสุดเรียกว่าจุดกลั่นสุดท้าย (Final boiling point) ช่วงการกลั่นจะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลและการระเหยคือสารที่มีช่วงการกลั่นต่ำจะเป็นตัวทำละลายที่มีน้ำหนักเบาและระเหยได้ง่าย

2.2.4 จุดวาบไฟเป็นค่าที่แสดงถึงอุณหภูมิต่ำสุดของตัวอย่างที่ได้รับความร้อนในสภาวะที่ควบคุมเกิดไอน้ำมันในปริมาณมาก เมื่อสัมผัสกับเปลวไฟสามารถติดไฟได้ทันทีเป็นค่าที่แปรผกผันกับการระเหยคือสารที่ระเหยได้ดีจะมีค่าจุดวาบไฟต่ำ วิธีวิเคราะห์ตาม ASTM D56 (Flash Point by Tag Closed Tester) ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่มีค่าจุดวาบไฟต่ำกว่า 90 องศาเซลเซียส วิธีวิเคราะห์ตาม ASTM D93 (Flash Point by Pensky Martens Closed Tester) ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่มีจุดวาบไฟอยู่ในช่วง 40–340 องศาเซลเซียส ค่าจุดวาบไฟเป็นค่าที่ใช้ประโยชน์ในเรื่องของความปลอดภัยจากการเกิดอัคคีภัย ในการเก็บรักษาและการขนถ่ายสินค้า

2.2.5 การวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถัน (Sulfur Content) ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีช่วงการกลั่น 0-325 องศาเซลเซียส มีโอกาสที่จะมีสารประกอบกำมะถันปนเปื้อนออกมาได้

ซึ่งสารนี้เมื่อรวมกับออกซิเจนในอากาศแล้วทำให้เกิดสารที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้และยังอาจทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอีกด้วย อุตสาหกรรมบางประเภทปริมาณกำมะถันมีความสำคัญมาก เช่นอุตสาหกรรมการเคลือบโลหะ ซักแห้ง น้ำหอม ทินเนอร์ โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมสี กำมะถันอาจทำปฏิกิริยากับผงสีทำให้สีเปลี่ยนแปลงได้ การวิเคราะห์ปริมาณกำมะถันทำตาม ASTM D129 (Sulfur in Petroleum Products) หรือจะทดสอบการกัดกร่อนโดยตรงสามารถใช้วิธีวัดการกัดกร่อนแผ่นทองแดงตามวิธี ASTM D130 (Copper strip corrosion) หรือใช้วิธีที่เรียกว่าดอกเตอร์เทส (Doctor test) ตามวิธี ASTM D4952 เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกำมะถันที่อยู่ในรูปของเมอร์แคปแทน (Mercaptan: RSH) หรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$)

2.2.6 ค่าความเป็นกรด (Acidity test) เป็นค่าที่บอกถึงความไม่บริสุทธิ์ของสาร กรดโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

- ชนิดอนินทรีย์คือชนิดที่ละลายได้ดีในน้ำ กรดชนิดนี้เป็นชนิดที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม วิเคราะห์โดยการไทเทรตกับด่างโดยใช้เมทิลออเร้นท์เป็นอินดิเคเตอร์ วิธีวิเคราะห์ตาม ASTM D1093 (Acidity of Hydrocarbon Liquids and Their Distillation Residues)
- ชนิดอินทรีย์หรือชนิดที่ไม่ละลายน้ำ กรดชนิดนี้ธรรมดาจะมีปริมาณน้อยในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ปริมาณที่มีจะขึ้นกับแหล่งของวัตถุดิบและเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต วิเคราะห์ตามวิธี ASTM D664 (Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration) โดยละลายตัวอย่างในตัวทำละลายที่เหมาะสม ไทเทรตด้วยสารละลายด่างใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย หาจุดยุติโดยวัดความต่างศักย์ทางไฟฟ้า

ปริมาณกรดมีความสำคัญมากกับตัวทำละลายที่ใช้ในงานเตรียมชิ้นส่วนงานก่อนนำไปเคลือบผิวต้องแน่ใจว่าปราศจากสิ่งที่จะทำปฏิกิริยาต่อผิวหน้าของงาน

2.2.7 สารอะโรมาติก (Aromatic) คือสารที่มีลักษณะทางเคมีคล้ายเบนซีน (Benzene) คือมีวงแหวนอะโรมาติกอยู่ในโมเลกุล สารอะโรมาติกจะเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดรองลงมาคือสารโอลิฟินและตัวทำละลายชนิดพาราฟินตามลำดับ แต่ตัวทำละลายอะโรมาติกมีข้อเสียคือมีความเป็นพิษสูง โดยเฉพาะเบนซินและไวต่อปฏิกิริยาทำให้เปลี่ยนสีได้ง่าย ทำให้ตัวทำละลายมีสีเหลือง จะหาปริมาณสารพาราฟิน สารโอลิฟิน สารอะโรมาติกในตัวทำละลายได้ตามวิธี ASTM D1319 (Hydrocarbon Types in Liquid Petroleum Products by Fluorescent Indicator Adsorption)

2.2.8 จุดอะนิลีน (Aniline point) คืออุณหภูมิต่ำสุดที่อะนิลีนและตัวทำละลายที่มีปริมาตรเท่ากันอยู่รวมกันได้เป็นเนื้อเดียวกัน หาตามวิธี ASTM D611 (Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products and Hydrocarbon solvents) การหาจุดอะนิลีนใช้กันมากในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมเพราะเป็นวิธีวัดปริมาณของสารอะโรมาติกได้อย่างคร่าวๆ

2.3 น้ำยาล้างลำกล้องปืน[5]

อาวุธปืนเมื่อใช้งานสิ่งสกปรกที่เกิดเป็นพวกคราบสกปรก ไขของสารหล่อลื่น คราบเขม่าดินปืน สนิม โลหะเช่น ทองแดง ตะกั่ว น้ำยาทำความสะอาดจะต้องสามารถกำจัดสิ่งสกปรกเหล่านี้ได้โดยไม่ทำความเสียหายต่อชิ้นส่วนของอาวุธเพราะมีผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการใช้

2.3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญในน้ำยาล้างลำกล้องปืนคือ

- สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในการทำความสะอาด หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการทำความสะอาดคือโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะจับกับพวกคราบไขมัน น้ำมัน ไอออนโลหะและสิ่งสกปรกให้หลุดออกมาอยู่ในตัวทำละลาย
- สารยับยั้งการกัดกร่อน (Corrosion inhibitor) เป็นสารเคมีที่ป้องกันการกัดกร่อน โดยการเคลือบอยู่บนผิวโลหะของอาวุธปืนด้วยกลไกทางเคมี ฟิสิกส์หรือทางอิเล็กทรอนิกส์ ป้องกันผิวโลหะจากน้ำ อากาศ ทำให้การกัดกร่อนลดลง.
- Chelating agent จะไปรวมตัวกับไอออนของโลหะ ถูกชะออกมากับน้ำยาทำความสะอาดได้ และมีส่วนช่วยเสริมในการทำงานของสารลดแรงตึงผิวให้ทำความสะอาดได้ดีขึ้น
- ตัวทำละลาย (Solvent) ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน มีข้อดีคือแห้งเร็ว แต่มีข้อเสียเรื่องกลิ่นฉุน ความเป็นพิษ ปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมและความไวไฟ โดยทั่วไปที่นิยมใช้มิเนอรัลสปิริตเพราะมีกลิ่นไม่ค่อยฉุน สามารถกำจัดพวกคราบไขมันได้ดี หรือใช้สารพวกไกคอน (glycol) อีเธอร์ (ether) เป็นตัวทำละลายที่ไม่เป็นพิษ มีจุดเดือดสูง มีกลิ่นน้อย ลดปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมและความไวไฟ เพราะสามารถย่อยสลายได้เองในธรรมชาติและไม่ติดไฟ

2.3.2 เกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์

เกณฑ์กำหนดของผลิตภัณฑ์น้ำยาล้างลำกล้องปืนไม่มีการกำหนดเป็นมาตรฐาน การซื้อขายจะขึ้นกับผู้ใช้ตั้งขึ้นเช่นเกณฑ์กำหนดของการซื้อขายที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้รับจากลูกค้าซึ่งเป็นหน่วยราชการแห่งหนึ่ง (ภาคผนวก ก) เป็นน้ำยาล้างลำกล้องปืนชนิดตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะให้ความสำคัญกับสมบัติตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีผลต่อการกัดกร่อน ความปลอดภัย และการเก็บรักษา เช่นค่าความเป็นกรด ค่าอะโรมาติก ค่าจุดวาบไฟ เป็นต้น

2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Regression Analysis)[1-2]

วิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นวิธีทางสถิติที่ที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เพื่อประโยชน์ในการพยากรณ์ค่าตัวแปรหนึ่งหรือเรียกว่าตัวแปรตาม (Dependent Variable: นิยมใช้สัญลักษณ์ y) โดยใช้ค่าของตัวแปรอื่นๆหรือเรียกว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variable: นิยมใช้สัญลักษณ์ x) ค่าความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ตัวแปรเรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ซึ่งความสัมพันธ์อาจเป็นเส้นตรงหรือไม่ก็ได้ การพิจารณาข้อมูลที่มีอยู่มีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยนำข้อมูลของตัวแปรทั้ง 2 ประเภทมาเขียนกราฟแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ว่าเป็นเส้นตรง เส้นโค้งหรือเป็นแบบอื่น เพื่อที่จะเลือกใช้วิธีหาความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้อง ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการถดถอยชนิดเชิงเส้นเท่านั้น

การถดถอยเชิงเส้นสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.4.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

2.4.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ (Multiple Linear Regression)

2.4.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่าย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงอย่างง่ายเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น แสดงได้ดังสมการ 1.1 ถึง 1.3

สมการในรูปของประชากร $Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$ ---------- 2.1

สมการในรูปของตัวอย่าง $y = a + bx + e$ ---------- 2.2

สมการประมาณค่า $\hat{y} = a + b\,x$ ---------- 2.3

- Y คือค่าของตัวแปรตามและใช้สัญลักษณ์ y (ตัวพิมพ์เล็ก) สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่างและ ใช้ $\hat{y}$ (y hat ) สำหรับค่าประมาณหรือค่าทำนาย
- X คือค่าตัวแปรอิสระและใช้สัญลักษณ์ x (ตัวพิมพ์เล็ก) สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง
- $\alpha$ คือค่าคงที่ของสมการถดถอยและจะใช้สัญลักษณ์ a สำหรับสมการถดถอยในรูปของสมการตัวอย่าง โดยที่ $\alpha$ หรือ a จะเป็นจุดตัด (Intercept) ของสมการถดถอย
- $\beta$ คือสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระ X และใช้ b สำหรับในรูปของสมการตัวอย่าง ซึ่งค่า $\beta$ หรือ b ค่าจะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า x ต่อค่า y ดังนี้คือถ้าค่า x เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำให้ค่า y เปลี่ยนไป b หน่วย
- $\varepsilon$ คือค่าความแตกต่างหรือค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual) ระหว่างค่าจริง y และค่าที่ได้จากสมการ $\hat{y}$ และใช้สัญลักษณ์ e สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากตัวอย่างคือ

$$e = y_i - \hat{y}$$

<u>การหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวประมาณ a และ b</u>

วิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่า a, b มากที่สุดคือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) เป็นวิธีการที่พยายามทำให้ผลต่างกำลังสองของค่าตัวแปรตาม y ที่ได้จากการสังเกตและค่าประมาณ $\hat{y}$ มีค่าน้อยที่สุดหรือที่เรียกว่าการ minimize ค่าของ $y_i - \hat{y}$ หรือ e และด้วยสมการคณิตศาสตร์สามารถสร้างสมการที่เรียกว่าสมการปกติ (Normal Equation) ดังนี้

$$y = a + bx + e$$

$$\sum y = na + b\sum x$$

$$\sum xy = a\sum x + b\sum x^2$$

สมการปกติที่ได้นี้จะนำไปสู่การคำนวณหาค่า a และ b ตลอดจนค่าต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม y ดังนี้

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \qquad = \frac{\sum xy - \sum x \sum y}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x\sum y}{n(\sum x)^2 - (\sum x)^2} = \frac{\sum (x-\overline{x})(y-\overline{y})}{\sum (x-\overline{x})^2} = \frac{SS_{xy}}{SS_{xx}}$$

โดยที่

$$SS_{xx} = \sum (x-\overline{x})^2 = n\sum x^2 - (\sum x)^2$$

$$SS_{xy} = \sum (x-\overline{x})(y-\overline{y}) = n\sum xy - \sum x\sum y$$

$$SS_{yy} = \sum (y-\overline{y})^2 = n\sum y^2 - [\sum y]^2$$

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}-\overline{y})^2}{\sum (\overline{y}-y)^2} = r^2$$

n = จำนวนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการคำนวณ

$S_{y,x}$ = ค่าความคลาดเคลื่อนของ y ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของ x (Standard Error of Estimation y on x)

r = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ x ที่ นำมาใช้พยากรณ์ และตัวแปรตาม y ที่ถูกพยากรณ์ ถ้าค่าเข้าใกล้ –1 หรือ +1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง ถ้าค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง

$\overline{R}^2$ = ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

ถ้าจำนวนข้อมูลของตัวอย่างที่นำมาพิจารณามีจำนวนน้อย (n < 30) จะใช้ค่าที่ปรับแก้แล้วคือค่า $\overline{R}^2$ (adjusted $R^2$)

$$\overline{R}^2 = \frac{(n-1)}{(n-2)}\left[\frac{\sum (y-\hat{y})^2}{\sum (\overline{y}-y)^2}\right]$$

2.4.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ ( Multiple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ เป็นการวิเคราะห์การถดถอยเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามด้วยตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป รูปแบบสมการคือ

สมการในรูปของประชากร $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k + \varepsilon$ ---------- 2.4

สมการในรูปของตัวอย่าง $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots + b_k x_k + e$ ---------- 2.5

สมการประมาณค่า $\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots + b_k x_k$ ---------- 2.6

- k คือ จำนวนตัวแปรอิสระที่ใช้ในสมการถดถอย
- Y คือ ค่าของตัวแปรตามและใช้สัญลักษณ์ y (ตัวพิมพ์เล็ก) สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และใช้ $\hat{y}$ (y hat ) สำหรับค่าประมาณหรือค่าทำนาย
- X คือค่าตัวแปรอิสระและใช้สัญลักษณ์ x (ตัวพิมพ์เล็ก) สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง
- $\beta_0$ คือ ค่าคงที่ของสมการถดถอยและจะใช้สัญลักษณ์ $b_0$ สำหรับค่าคงที่ของสมการถดถอยในรูปของสมการตัวอย่าง
- $\beta_i$ คือสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระตัวที่ i ($X_i$) และใช้สัญลักษณ์ $b_i$ สำหรับสัมประสิทธิ์คงที่ในรูปของสมการตัวอย่างสำหรับตัวแปรอิสระที่ i ($X_i$) ซึ่งค่า $\beta_i$ หรือ $b_i$ นี้จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า x ต่อค่า y ดังนี้คือถ้าค่า X ตัวที่ i ต่อค่า Y ตัวที่ i ดังนี้คือถ้าค่า X ตัวที่ i เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำให้ค่า Y ตัวที่ i เปลี่ยนไป $b_i$ หน่วยโดยคำนึงถึงว่าตัวแปรอิสระตัวอื่นๆนอกเหนือจากตัวที่ i มีค่าคงที่
- $\varepsilon$ คือค่าความแตกต่างหรือค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual) ระหว่างค่าจริง y และค่าที่ได้จากสมการ $\hat{y}$ และใช้สัญลักษณ์ e สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากตัวอย่าง คือ

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

<u>การหาค่าสัมประสิทธิ์ของตัวประมาณ $b_i$</u>

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ $b_i$ ยังคงใช้วิธีการที่เรียกว่าวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งวิธีคำนวณหาค่า $b_i$ จะมีความยุ่งยากมากขึ้นตามจำนวนตัวแปรอิสระที่ใช้ การพิจารณาความเหมาะสมของสมการถดถอยพิจารณาจากค่า $S_{y.x}$ , $R^2$ มีสูตรดังนี้

$$S_{y,x} = \sqrt{\sum (\bar{y} - y)^2 / n - (k+1)}$$

$$R^2 = \frac{\sum(\bar{y} - y)^2}{\sum(\bar{y} - y)^2} = r^2$$

$$\bar{R}^2 = 1 - \left[\frac{n-1}{n-k-1}\right] \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (\bar{y} - y)^2}$$

การวิเคราะห์การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ เป็นการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน มักอาศัยการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และมีโปรแกรมสำเร็จรูปหลายโปรแกรมเช่น SPSS, SAS, STATPACK, BMDP เป็นต้น

2.5 การพิจารณาความเหมาะสมของสมการการถดถอย

การพิจารณาว่าสมการถดถอยที่ได้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามด้วยตัวแปรอิสระได้ดีเพียงใดโดยพิจารณาจากค่าต่อไปนี้

2.5.1 พิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อน $S_{y,x}$

- ถ้า $S_{y,x}$ มีค่าน้อย แสดงว่าสมการมีความเหมาะสมมาก
- ถ้า $S_{y,x}$ มีค่ามาก แสดงว่าสมการมีความเหมาะสมน้อยมาก
- ถ้า $S_{y,x}$ มีค่าศูนย์ แสดงว่าค่า y อยู่บนเส้นถดถอยพอดี สมการมีความเหมาะสมดีมาก

2.5.2 พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2$

- ถ้าค่า $R^2$ มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเปอร์เซนต์ที่ x สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ y มีค่ามากหรือ x และ y มีความสัมพันธ์กันมาก ลักษณะของความสัมพันธ์มีแนวโน้มเกือบเป็นเส้นตรงหรือเส้นถดถอยพอที่จะใช้เป็นตัวแทนข้อมูลตัวอย่างได้
- ถ้า $R^2 = 1$ แสดงว่าค่า y อยู่บนเส้นถดถอยทุกจุด โดยไม่มีความคลาดเคลื่อนเลย เส้นถดถอยที่ได้สามารถแทนข้อมูลได้อย่าง 100 เปอร์เซ็นต์

- ถ้า $R^2$ มีค่าน้อยหรือใกล้เคียง 0 ค่า y จะอยู่ห่างจากเส้นถดถอยมากไม่ควรใช้ในการพยากรณ์
- ถ้า $R^2 = 0$ ค่า y จะอยู่ห่างจากเส้นถดถอยมากค่ากระจายหาความแน่นอนไม่ได้ ไม่สามารถใช้ในการพยากรณ์ได้เลย
- ถ้าจำนวนข้อมูลของตัวอย่างที่นำมาพิจารณามีจำนวนน้อย ($n < 30$) จะใช้ค่าที่ปรับแก้แล้ว คือค่า $\overline{R}^2$ (Adjusted $R^2$)

2.6 การทดสอบสมมติฐาน

เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า X และ Y ว่าอยู่ในรูปมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นหรือไม่โดยการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยหรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียวหรือทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังนี้

$H_0 : \beta = 0$ หรือ $H_0 : y = \alpha+\beta X+\varepsilon$

$H_0 : \beta \neq 0$ หรือ $H_0 : y \neq \alpha+\beta x+\varepsilon$

2.6.1 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

สถิติที่ใช้ทดสอบ $t = b/S_b$

ปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $|t| > t_{1-\alpha/2;n-2}$ หรือถ้าเป็นผลลัพธ์จาก SPSS จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า Sig T $< \alpha$

2.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

สถิติทดสอบ $F = \frac{MSR}{MSE}$

ปฏิเสธ $H_0$ ถ้า $F > F_{1-\alpha;n-2}$ หรือถ้าเป็นผลลัพธ์จาก SPSS

จะปฏิเสธ $H_0$ ถ้า Sig F $< \alpha$

2.6.3 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สถิติทดสอบ $t = \frac{r}{\sqrt{(1-r_2)/(n-2)}}$

ไม่ว่าจะทดสอบสมมติฐานด้วยวิธีใดดังกล่าวข้างต้นก็ตาม ผลการทดสอบจะต้องเหมือนกัน นั่นคือ

- ปฏิเสธสมมติฐาน $H_0$ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น สามารถใช้สมการ $\hat{y} = a + bx$ ในการประมาณค่า Y โดยที่ X ต้องอยู่ในช่วงของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์
- ยอมรับสมมติฐาน $H_0$ แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นจึงไม่สามารถใช้สมการ $\hat{y} = a + bx$ ในการประมาณค่า Y ได้

# บทที่ 3

## วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและวิธีดำเนินการ

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการประมาณค่า

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาการประมาณค่าอะโรมาติกและจุดวาบไฟนั้น เป็นข้อมูลที่ได้จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่มีผู้ส่งมาวิเคราะห์ที่ห้องวิเคราะห์เคมีเชิงฟิสิกส์ (เดิม) แบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุด แบ่งตามรายการที่ศึกษาคือ

3.1.1 ข้อมูลที่นำมาศึกษาการประมาณค่าอะโรมาติกจากค่าจุดอะนิลีนมีจำนวนทั้งสิ้น 21 ข้อมูล เป็นของตัวอย่างหมายเลขปฏิบัติการดังตารางที่ 4.1

3.1.2 ข้อมูลที่นำมาศึกษาการประมาณค่าจุดวาบไฟจากค่าการกลั่นมีจำนวนทั้งสิ้น 16 ข้อมูล เป็นของตัวอย่างหมายเลขปฏิบัติการดังตารางที่ 4.4

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิเคราะห์

3.2.1 เครื่องหาจุดวาบไฟแบบอัตโนมัติชนิดถ้วยปิด (Flash point Tester HFP 360 Pensky-Marten)

3.2.2 เครื่องหาจุดอะนิลีนแบบอัตโนมัติ (Analis AAP-3)

3.2.3 เครื่องกลั่นแบบอัตโนมัติ (Distillation MC-625)

3.2.4 เครื่องหาองค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอน

3.2.5 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) ความละเอียด 0.02 องศาเซลเซียส

3.2.6 เข็มฉีดยา

3.2.7 กระบอกตวง

3.2.8 ปิเปตต์ 10 มิลลิลิตร

3.3 สารเคมีที่ใช้

3.3.1 อะนิลีน (Analytical grade)

3.3.2 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Commercial grade)

3.3.3 อะซิโทน (Commercial grade)

3.3.4 ซิลิกาเจล (Analytical grade)

3.3.5 ไอโซโพรพรานอน (Analytical grade)

3.3.6 ก๊าซไนโตรเจนความบริสุทธิ์ 99 %



วิทยาศาสตร์บริการ

3.3.7 โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Analytical grade)

3.3.8 *เฮกเซน* (Analytical grade)

3.4 วิธีวิเคราะห์ [4]

3.4.1 วิธีหาค่าจุดวาบไฟแบบอัตโนมัติชนิดถ้วยปิด (Pensky Marten Closed Tester : ASTM D93)

3.4.1.1 ตั้งโปรแกรมการทำงานของเครื่อง ตามที่กำหนดใน ASTM D93 คืออัตราการเพิ่มอุณหภูมิเท่ากับ 5 – 6 องศาเซลเซียสต่อนาที กวนตัวอย่างด้วยอัตราเร็ว 80-120 รอบต่อนาที ให้เริ่มผ่านเปลวไฟทดลอง (test flame) เมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดวาบไฟที่คาดไว้ 23 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส ผ่านเปลวไฟทดลองเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 องศาเซลเซียส

3.4.1.2 นำถ้วยมาทำความสะอาดและทำให้แห้งโดยปราศจากตัวทำละลายที่ใช้ล้างใส่ตัวอย่างลงในถ้วยให้ถึงขีดที่กำหนดไว้ (ประมาณ 75 มิลลิลิตร)

3.4.1.3 ปิดฝาและนำไปใส่ในที่ใส่ตัวอย่างประกอบอุปกรณ์และเทอร์โมมิเตอร์ให้เข้าที่และล็อคให้ดี

3.4.1.4 อุณหภูมิที่ถือเป็นจุดวาบไฟคืออุณหภูมิที่เมื่อผ่านเปลวไฟทดลองลงไปในถ้วยและทำให้เกิดวาบไฟ

3.4.1.5 ถ้าในการจ่อเปลวไฟทดลอง (test flame) ครั้งแรกพบจุดวาบไฟให้ยกเลิกการทดสอบนั้นและทดสอบใหม่ โดยตั้งค่าจุดวาบไฟที่คาดไว้ (expect flash point) ต่ำลงมา

3.4.1.6 ถ้าค่าจุดวาบไฟที่ได้ไม่อยู่ในช่วงของค่าจุดวาบไฟที่คาดไว้ $\pm$ 5.0 องศาเซลเซียส ให้ทำการทดสอบใหม่

3.4.1.7 รายงานละเอียด 0.5 องศาเซลเซียส

3.4.2 วิธีวิเคราะห์จุดอะนิลีน (Aniline Point and Mixed Aniline Point of Petroleum Products and Hydrocarbon solvents: ASTM D611)

3.4.2.1. เตรียมสารอะนิลีนที่มีความบริสุทธิ์โดยการกลั่น ก่อนกลั่นเติมโปแตสเซียม-ไฮดรอกไซด์มากเกินพอ เพื่อดูดความชื้นก่อนและเทแต่เฉพาะส่วนของอะนิลีนไป

กลั่น ทิ้งส่วนกลั่นแรกและส่วนกลั่นสุดท้ายประมาณอย่างละ 5 % ของปริมาตรเริ่มต้น

3.4.2.2 ตั้งระดับความเข้มแสงของดีเทคเตอร์โดยปิเปตต์อะนิลีนที่กลั่นได้ในข้อ 1 และเฮกเซนอย่างละ 10 มิลลิลิตรใส่ในที่ใส่ตัวอย่างใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้ปลายกระเปราะอยู่ในระดับเดียวกับลำแสงของดีเทคเตอร์

3.4.2.3 ให้ความร้อนในอัตรา 1-3 องศาเซลเซียสต่อนาที ปรับอัตราเร็วของการกวนให้ตัวอย่างผสมกันได้ดี

3.4.2.4 ปรับตั้งดีเทคเตอร์โดยปรับความเข้มแสงพอดีที่จะแยกความขุ่นใสของตัวอย่าง

3.4.2.5 จุดอะนิลีนคือจุดที่สารละลายเริ่มใส สัญญาณไฟของตัวให้ความร้อนจะติด - ดับภายใน 1-3 วินาที อุณหภูมิจะอยู่ที่ 69.3 ± 0.2 องศาเซลเซียส (คงความเข้มแสงของดีเทคเตอร์ระดับนี้เอาไว้ใช้กับตัวอย่าง)

3.4.2.6 หาจุดอะนิลีนของตัวอย่างโดยปิเปตอะนิลีนที่กลั่นเสร็จใหม่ๆ 10 มิลลิลิตร ปิเปตต์ตัวอย่าง 10 มิลลิลิตร ใส่ในที่ใส่ตัวอย่าง

3.4.2.7 ให้ความร้อนในอัตรา 1-3 องศาเซลเซียสต่อนาที ปรับอัตราเร็วของการกวนให้ตัวอย่างผสมกันได้ดี

3.4.2.8 เมื่อสัญญาณไฟของตัวให้ความร้อนจะติด-ดับ ภายใน 1-3 วินาที คือจุดอะนิลีน อ่านอุณหภูมิ

3.4.3 วิธีวิเคราะห์หาชนิดของสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Types in Liquid Petroleum Products by Fluorescent Indicator Adsorption: ASTM D1319)

3.4.3.1 นำซิลิกาเจลที่จะใช้ไปกระตุ้นด้วยความร้อน โดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิกเคเตอร์ตู้ควบคุมความชื้นแล้วใส่ในแคปิลารีคอลัมน์ตามระดับที่กำหนดและบรรจุสีฟลูออเรสเซนซ์สูงประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วกลบด้วย ซิลิกาเจลอีกชั้นหนึ่ง

3.4.3.2 นำตัวอย่างที่แช่เย็นที่อุณหภูมิ 2-4 องศาเซลเซียส ใช้เข็มฉีดยาดูดตัวอย่าง 0.75 มิลลิลิตร ใส่ในคอลัมน์ให้ต่ำกว่าผิวหน้าซิลิกาเจลประมาณ 30 มิลลิเมตร ไล่ตัวอย่างด้วยไอโซโพพานอน ปิดฝาคอลัมน์ไล่ก๊าซไนโตรเจนด้วยความดัน 14 กิโลพาสคัล ประมาณ 2.5 นาที เพิ่มความดันเป็น 34 กิโลพาสคัล ประมาณ 2.5 นาที ปรับความดันให้เหมาะสมให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 1 ชั่วโมง ความดันที่ใช้ประมาณ 28 - 69 กิโลพาสคัล

3.4.3.3 หลังจากที่สีแดงของอินดิเคเตอร์เคลื่อนที่ไปได้ 350 มิลลิเมตร ทำการวัดแถบสีที่ปรากฏขึ้นโดยส่องด้วยแสงแสงฟลูออเรสเซนต์ แถบสีแรกที่ถัดจากสีแดงของอินดิเคเตอร์คือแถบสีน้ำเงินเป็นส่วนของสารอะโรมาติก ส่วนสีเหลืองเป็นส่วนของสารโอลิฟิน ส่วนที่ไม่เรืองแสงฟลูออเรสเซนซ์เป็นส่วนของสารอิ่มตัว

3.4.3.4 หลังจากสีแดงของอินดิเคเตอร์เคลื่อนที่ไปได้อีก 50 มิลลิเมตร ทำการวัดแถบสีต่างๆซ้ำอีกครั้งหนึ่ง

3.4.3.5 หาอัตราส่วนของส่วนประกอบทั้งหมดจากสูตร

ปริมาณอะโรมาติก (% โดยปริมาตร) = $(L_a/L) \times 100$

ปริมาณโอลิฟิน (% โดยปริมาตร) = $(L_o/L) \times 100$

ปริมาณไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (% โดยปริมาตร) = $(L_s/L) \times 100$

เมื่อ

$L_a$ = ความยาวของส่วนที่เป็นอะโรมาติก มม.

$L_o$ = ความยาวของส่วนที่เป็นโอลิฟิน มม.

$L_s$ = ความยาวของส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว มม.

$L$ = ผลรวมของ $L_a + L_o + L_s$

3.4.3.6 เฉลี่ยผลการทดลองในข้อ 3.4.3.3 – 3.4.3.4

3.4.4 วิธีวิเคราะห์ช่วงการกลั่น (Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure: ASTM D86)

3.4.4.1 เปิดสวิตช์เครื่องกลั่น เครื่องทำความเย็น ตั้งอุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียส

3.4.4.2 ป้อนโปรแกรมการกลั่นให้เครื่องดังนี้

- ประเภทของตัวอย่างคือกลุ่มที่ 0 (Group 0)
- ตั้งอัตราให้ความร้อนให้ได้จุดกลั่นแรกภายใน 5-10 นาที และอัตราเร็วในการกลั่นให้ได้ตามข้อกำหนดของ ASTM
- ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการให้เครื่องบันทึกปริมาตรที่กลั่นได้

3.4.4.3 ตวงตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกตวงเทใส่ขวดกลั่นขนาด 125 มิลลิลิตร

3.4.4.4 นำเข้าเครื่องกลั่นต่อขวดกลั่นเข้ากับคอนเดนเซอร์และเทอร์โมมิเตอร์

3.4.4.5 รองรับของเหลวที่กลั่นได้ด้วยกระบอกตวงใบเดิมที่ใช้ตวงตัวอย่าง

3.4.4.6 กดปุ่มเริ่มทำงาน

3.4.4.7 เมื่อกลั่นเสร็จเครื่องจะพิมพ์ข้อมูลเกี่ยวกับจุดเดือดแรกและจุดเดือดสุดท้าย ปริมาตรที่กลั่นได้ทุกๆ 10 มิลลิลิตร ปริมาตรที่กลั่นได้ทั้งหมด

3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงของน้ำยาล้างลำกล้องปืน

3.5.1 วิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีน

3.5.1.1 รวบรวมข้อมูลของตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่วิเคราะห์ค่าอะโรมาติกและค่าจุดอะนิลีน

3.5.1.2 นำข้อมูลตัวอย่างมาเขียนแผนภาพการกระจาย

3.5.1.3 หาความสัมพันธ์และสมการถดถอยโดยใช้โปรแกรม SPSS ตามข้อ 3.6 โดยให้ค่าอะโรมาติกเป็นตัวแปรตาม (dependent variable, y) และให้ค่าจุดอะนิลีนเป็นตัวแปรอิสระ (independent variable, x) ค่าสถิติที่พิจารณาคือ

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r)
- สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, $R^2$)
- ใช้สถิติทดสอบ F วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ x นำมาใช้พยากรณ์ตัวแปรตาม y ภายใต้ตัวแบบที่กำหนดได้หรือไม่ (ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

3.5.1.4 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองว่ามีความแตกต่างกันเป็นร้อยละเท่าไร จากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ยของผลต่างและร้อยละของผลต่างสูงสุด

3.5.1.5 เขียนกราฟเปรียบเทียบค่าอะโรมาติกที่ได้จากทดลองและจากการคำนวณ

3.5.2 วิเคราะห์ความถดถอยแบบเส้นตรงแบบพหุคูณระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น

3.5.2.1 รวบรวมข้อมูลของตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่วิเคราะห์ค่าจุดวาบไฟและช่วงการกลั่น

3.5.2.2 หาความสัมพันธ์และสมการถดถอยโดยใช้โปรแกรม SPSS ตามข้อ 3.6 ให้ค่าจุดวาบไฟเป็นตัวแปรตาม (dependent variable, y) และให้ค่าที่ได้จากการกลั่นเป็นตัวแปรอิสระ (independent variable, x) ค่าสถิติที่พิจารณาคือ

- สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r)
- สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, $R^2$)

- ใช้สถิติทดสอบ F วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว ตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ x นำมาใช้พยากรณ์ตัวแปรตาม y ภายใต้ตัวแบบที่กำหนดได้หรือไม่ (ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

3.5.2.3 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองว่ามีความแตกต่างกันเป็นร้อยละเท่าไรจากนั้นคำนวณหาค่าเฉลี่ยของผลต่างและร้อยละของผลต่างสูงสุด

3.5.2.4 เขียนกราฟเปรียบเทียบค่าจุดวาบไฟที่ได้จากทดลองและจากการคำนวณ

3.6 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ในการคำนวณความถดถอย

3.6.1 กำหนดตัวแปรตาม y (dependent variable)

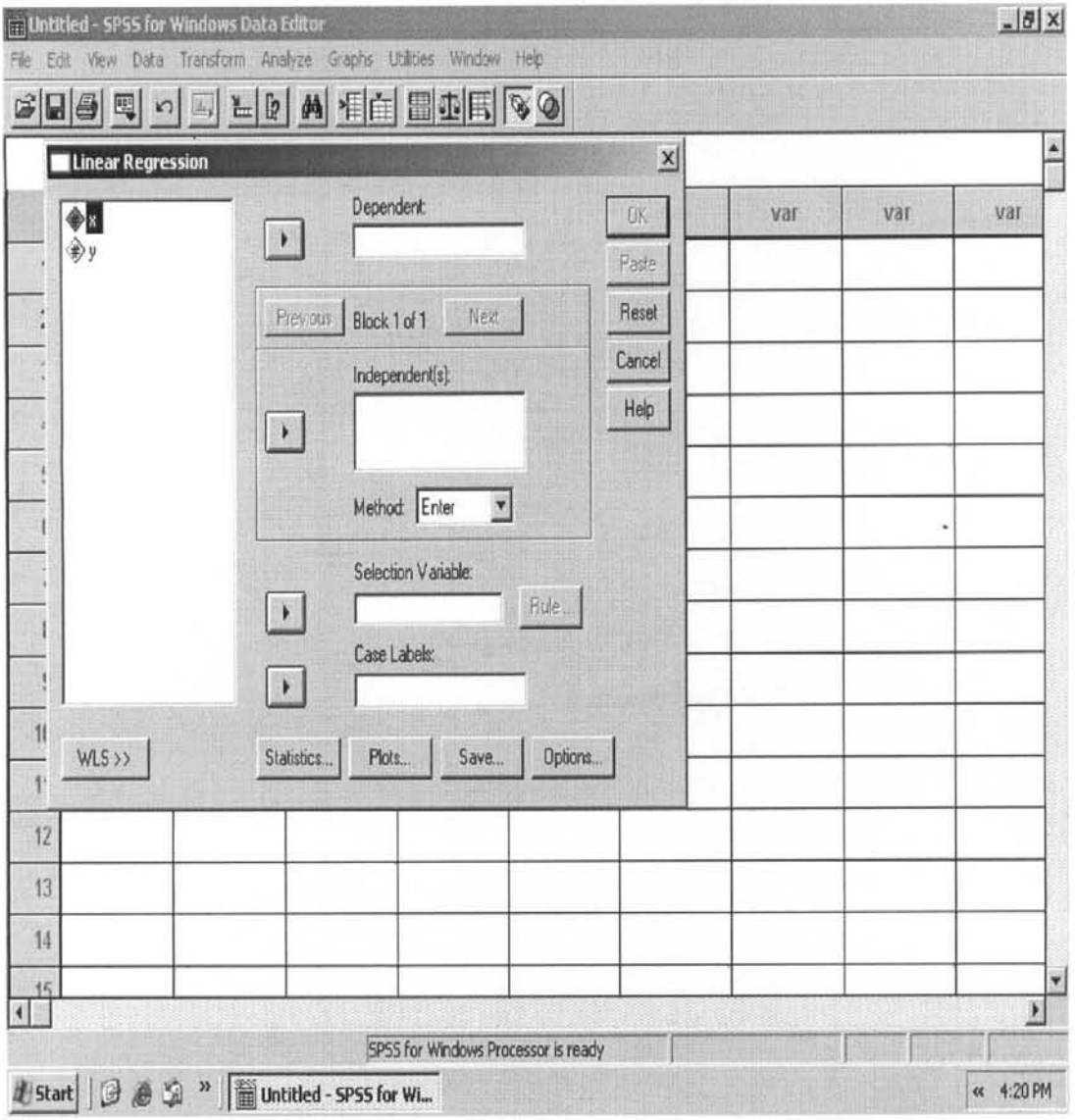
3.6.2 กำหนดตัวแปรอิสระ $x_1, x_2, \ldots x_k$ (independent variable)

3.6.3 เตรียมตารางบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ

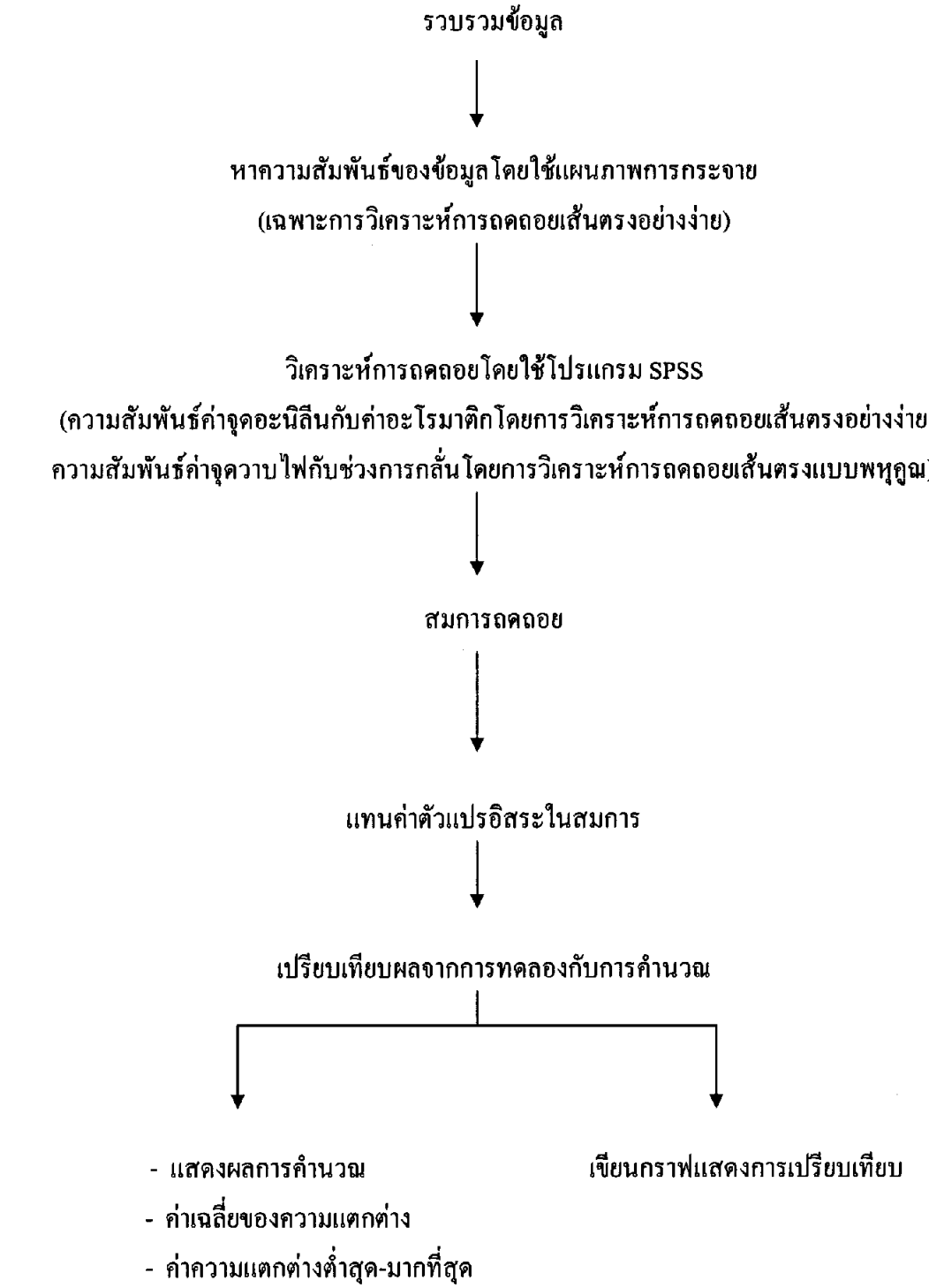
3.6.4 เรียกโปรแกรม SPSS บันทึกข้อมูลเข้าไปในโปรแกรม

3.6.5 เลือกเมนูตามคำสั่งตามลำดับต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 Analyze ⟹ Regression ⟹ Linear
จะปรากฏวินโดวส์ของ Linear Regression ดังรูปที่ 3.1
ขั้นที่ 2 เลือกตัวแปรตามมาไว้ที่บ๊อกซ์ของ Dependent
ขั้นที่ 3 เลือกตัวแปรอิสระมาไว้ที่ บ๊อกซ์ของ Independent
ขั้นที่ 4 คลิกปุ่ม OK จะปรากฏผลลัพธ์ในวินโดวส์ Output




รูปที่ 3.1 แสดงหน้าวินโดวส์ของโปรแกรม SPSS




รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์การถดถอยของน้ำยาล้างลำกล้องปืน

# บทที่ 4

## ผลการทดลอง

4.1 วิเคราะห์ความถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีน

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าอะโรมาติกและค่าจุดอะนิลีนของตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่นำมาวิเคราะห์การถดถอยจำนวนทั้งสิ้น 21 ตัวอย่าง แสดงในตารางที่ 4.1

4.1.2 แผนภาพการกระจายระหว่างค่าอะโรมาติกและค่าจุดอะนิลีนของข้อมูลในข้อ 4.1.1 แสดงในรูปที่ 4.1

4.1.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยที่ได้จากโปรแกรม SPSS แสดงในภาคผนวก ข.1

4.1.4 สมการถดถอยและค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีนแสดงในตารางที่ 4.2

4.1.5 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองของค่าอะโรมาติกแสดงในตารางที่ 4.3

4.1.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองของค่าอะโรมาติกแสดงในรูปที่ 4.2

4.2 วิเคราะห์ความถดถอยแบบเส้นตรงแบบพหุคูณระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น

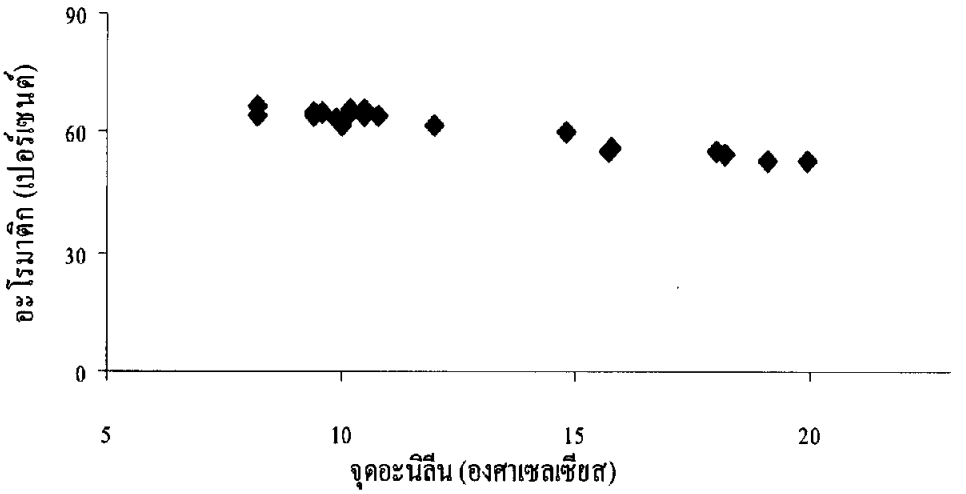
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ช่วงการกลั่นและค่าจุดวาบไฟของตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่นำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงแบบพหุคูณจำนวนทั้งสิ้น 16 ตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.4

4.2.2 ผลการวิเคราะห์การถดถอยที่ได้จากโปรแกรม SPSS แสดงในภาคผนวก ข.2

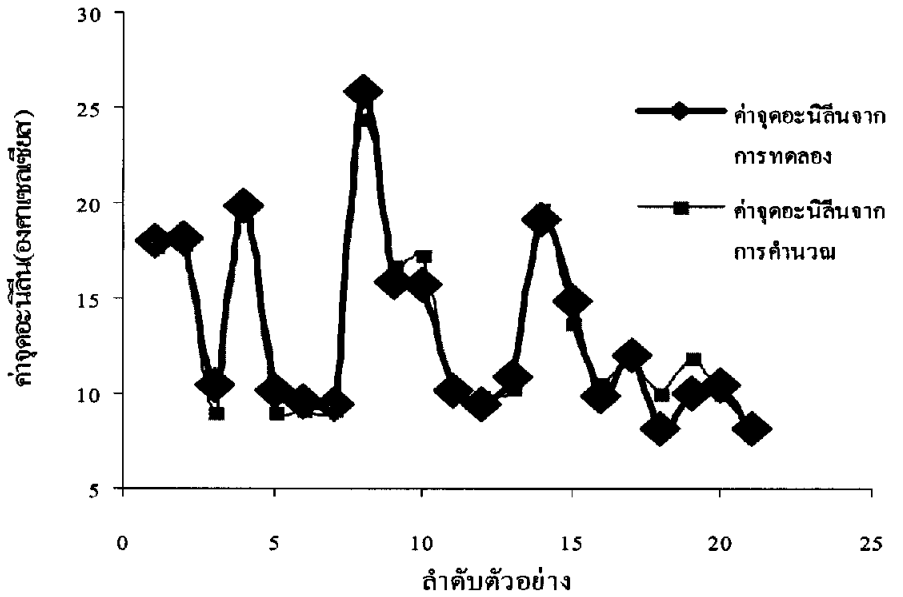
4.2.3 สมการถดถอยและค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างช่วงการกลั่นและค่าจุดวาบไฟแสดงในตารางที่ 4.5

4.2.4 ผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองของค่าจุดวาบไฟแสดงในตารางที่ 4.6

4.2.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองของค่าจุดวาบไฟแสดงในรูปที่ 4.3




รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอะโรมาติกและค่าจุดอะนิลีน




รูปที่4.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าอะโรมาติกที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าอะโรมาติกและค่าจุดอะนิลีนของตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืน

| หมายเลขปฏิบัติการ | ค่าจุดอะนิลีน (องศาเซลเซียส) | ค่าอะโรมาติกจากการทดลอง (%) |
|---|---|---|
| 1. SU449 | 55.2 | 18.0 |
| 2. SU920 | 55.0 | 18.2 |
| 3. VC752 | 65.6 | 10.5 |
| 4. VT466 | 53.0 | 19.9 |
| 5. WA64 | 65.5 | 10.2 |
| 6. WD234 | 65.4 | 9.6 |
| 7. WD235 | 65.4 | 9.4 |
| 8. WD999 | 47.2 | 25.8 |
| 9. WD1000 | 56.4 | 15.8 |
| 10. WE1 | 55.8 | 15.7 |
| 11. WG118 | 64.4 | 10.1 |
| 12. WJ75 | 64.5 | 9.4 |
| 13. WJ76 | 64.0 | 10.8 |
| 14. WR467 | 52.9 | 19.1 |
| 15. WR617 | 59.9 | 14.8 |
| 16. WR877 | 63.6 | 9.9 |
| 17. WS307 | 62.2 | 12.0 |
| 18. WT99 | 64.3 | 8.2 |
| 19. WT100 | 62.1 | 10.0 |
| 20. WT504 | 64.4 | 10.5 |
| 21. WU162 | 66.5 | 8.2 |

ตารางที่ 4.2 แสดงสมการถดถอยและค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีน

| สมการการถดถอย | สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) | สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($\overline{R}^2$) | ค่าการกระจายของความคลาดเคลื่อน(s) | ค่าผลต่างเฉลี่ย (%) | ค่าผลต่างสูงสุด(%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Y = 64.373 - 0.845 x | 0.979 | 95.6 | 1.0009 | 0.01 | 1.90 |

x = ค่าจุดอะนิลีน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองของค่าอะโรมาติก

| หมายเลขปฏิบัติการ | ค่าจุดอะนิลีน (°C) | ค่าอะโรมาติกจากการทดลอง (%) | ค่าอะโรมาติกจากการคำนวณ (%) | ค่าความแตกต่างของค่าอะโรมาติก (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1. SU449 | 55.2 | 18.0 | 17.73 | 0.27 |
| 2. SU920 | 55.0 | 18.2 | 17.90 | 0.30 |
| 3. VC752 | 65.6 | 10.5 | 8.94 | 1.56 |
| 4. VT466 | 53.0 | 19.9 | 19.59 | 0.31 |
| 5. WA64 | 65.5 | 10.2 | 9.03 | 1.17 |
| 6. WD234 | 65.4 | 9.6 | 9.11 | 0.49 |
| 7. WD235 | 65.4 | 9.4 | 9.11 | 0.29 |
| 8. WD999 | 47.2 | 25.8 | 24.49 | 1.31 |
| 9. WD1000 | 56.4 | 15.8 | 16.72 | -0.92 |
| 10. WE1 | 55.8 | 15.7 | 17.22 | -1.52 |
| 11. WG118 | 64.4 | 10.1 | 9.96 | 0.15 |
| 12. WJ75 | 64.5 | 9.4 | 9.87 | -0.47 |
| 13. WJ76 | 64.0 | 10.8 | 10.29 | 0.51 |
| 14. WR467 | 52.9 | 19.1 | 19.67 | -0.57 |
| 15. WR617 | 59.9 | 14.8 | 13.76 | 1.04 |
| 16. WR877 | 63.6 | 9.9 | 10.63 | -0.73 |
| 17. WS307 | 62.2 | 12.0 | 11.81 | 0.19 |
| 18. WT99 | 64.3 | 8.2 | 10.04 | -1.84 |
| 19. WT100 | 62.1 | 10.0 | 11.90 | -1.90 |
| 20. WT504 | 64.4 | 10.5 | 9.96 | 0.55 |
| 21. WU162 | 66.5 | 8.2 | 8.18 | 0.02 |

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ช่วงการกลั่นและค่าจุดวาบไฟของตัวอย่างน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่นำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงแบบพหุคูณ

| หมายเลขปฏิบัติการ | จุดเริ่มต้นการกลั่น (°C) | จุดสุดท้ายของการกลั่น (°C) | ค่าจุดวาบไฟ (°C) |
|---|---|---|---|
| 1. SU438 | 153.3 | 199.8 | 41.50 |
| 2. SU439 | 119.0 | 332.0 | 35.50 |
| 3. SU449 | 151.8 | 204.0 | 41.50 |
| 4. SU920 | 148.8 | 198.0 | 38.00 |
| 5. VC752 | 160.0 | 243.0 | 51.00 |
| 6. WA64 | 160.3 | 245.0 | 50.00 |
| 7. WD999 | 160.1 | 199.0 | 46.00 |
| 8. WD1000 | 156.9 | 195.0 | 44.00 |
| 9. WE1 | 156.9 | 201.9 | 45.00 |
| 10. WR467 | 159.6 | 196.4 | 44.00 |
| 11. WR504 | 158.9 | 243.1 | 50.50 |
| 12. WR782 | 158.0 | 194.6 | 43.00 |
| 13. WR877 | 159.8 | 241.4 | 50.00 |
| 14. WS307 | 157.2 | 241.3 | 49.00 |
| 15. WT99 | 149.0 | 244.7 | 45.00 |
| 16. WT100 | 146.5 | 243.3 | 43.00 |

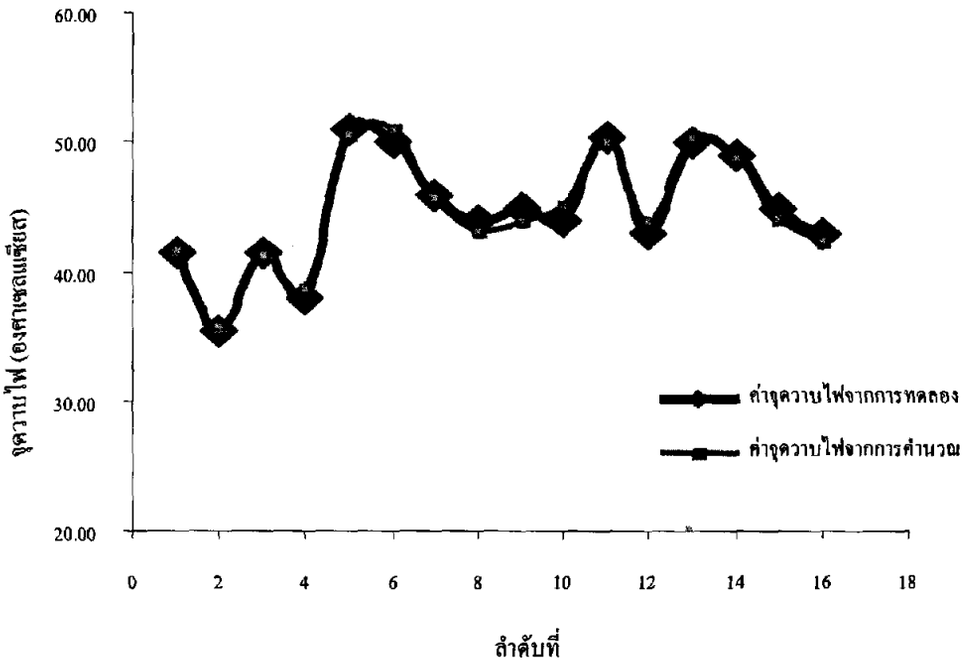
ตารางที่ 4.5 แสดงสมการถดถอยและค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอยระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น

| สมการถดถอย* | สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) | สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($\overline{R}^2$) | ค่าการกระจายของความคลาดเคลื่อน(s) | ค่าผลต่างเฉลี่ย (%) | ค่าผลต่างสูงสุด (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| $y = 0.611 (x_1) + 0.115 (x_2) - 75.00$ | 0.989 | 97.40 | 0.7276 | 0.01 | 1.12 |

* → $x_1$ = จุดกลั่นแรก $x_2$= จุดสุดท้ายการกลั่น

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าจุดวาบไฟที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากสมการถดถอย

| หมายเลขปฏิบัติการ | จุดเริ่มต้นการกลั่น (°C) | จุดสุดท้ายของการกลั่น (°C) | ค่าจุดวาบไฟจากการทดลอง (°C) | ค่าจุดวาบไฟจากการคำนวณ (°C) | ค่าความแตกต่างของจุดวาบไฟ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. SU438 | 41.50 | 153.3 | 199.8 | 41.64 | -0.14 |
| 2. SU439 | 35.50 | 119.0 | 332.0 | 35.89 | -0.39 |
| 3. SU449 | 41.50 | 151.8 | 204.0 | 41.21 | 0.29 |
| 4. SU920 | 38.00 | 148.8 | 198.0 | 38.68 | -0.68 |
| 5. VC752 | 51.00 | 160.0 | 243.0 | 50.70 | 0.30 |
| 6. WA64 | 50.00 | 160.3 | 245.0 | 51.12 | -1.12 |
| 7. WD999 | 46.00 | 160.1 | 199.0 | 45.70 | 0.30 |
| 8. WD1000 | 44.00 | 156.9 | 195.0 | 43.29 | 0.71 |
| 9. WE1 | 45.00 | 156.9 | 201.9 | 44.08 | 0.92 |
| 10. WR467 | 44.00 | 159.6 | 196.4 | 45.10 | -1.10 |
| 11. WR504 | 50.50 | 158.9 | 243.1 | 50.04 | 0.46 |
| 12. WR782 | 43.00 | 158.0 | 194.6 | 43.91 | -0.92 |
| 13. WR877 | 50.00 | 159.8 | 241.4 | 50.40 | -0.40 |
| 14. WS307 | 49.00 | 157.2 | 241.3 | 48.80 | 0.20 |
| 15. WT99 | 45.00 | 149.0 | 244.7 | 44.18 | 0.82 |
| 16. WT100 | 43.00 | 146.5 | 243.3 | 42.49 | 0.51 |




รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าจุดวาบไฟที่ได้จากการทดลองและจากการคำนวณ

# บทที่ 5

## วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

5.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีน

5.1.1 จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีนของน้ำยาล้างลำกล้องปืน จำนวนทั้งสิ้น 21 ตัวอย่างจากตารางที่ 4.1 โดยใช้แผนภาพการกระจายดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 พบว่าความสัมพันธ์ค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีนอยู่ในรูปเส้นตรงสามารถนำไปหาสมการถดถอยได้

5.1.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายระหว่างค่าอะโรมาติกกับค่าจุดอะนิลีนแสดงในภาคผนวก ก.1 มีความหมายดังนี้คือ

5.1.2.1 จากตาราง Variables Entered/Removed

- Variables Entered เป็นส่วนแสดงรายชื่อตัวแปรอิสระที่เข้าไปอยู่ในตัวแบบคือ อะนิลีน (Aniline)

5.1.2.2 จากตาราง Model Summary

- R หมายถึงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แสดงถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามคือค่าจุดอะนิลีนและค่าอะโรมาติกตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.976 ซึ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสามารถใช้ค่าจุดอะนิลีนพยากรณ์ค่าอะโรมาติก
- Adjust R Square (ใช้แทนค่า R Square เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ศึกษาไม่ถึง 30 ข้อมูล) หมายถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0.95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าค่าจุดอะนิลีนสามารถทำนายค่าอะโรมาติกได้ถึง 95.0 เปอร์เซ็นต์
- Std. Error of the Estimate (s) เป็นค่าวัดการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนรอบๆเส้นถดถอย มีค่าเท่ากับ 1.03 เปอร์เซ็นต์

5.1.2.3 จากตาราง ANOVA

- Sig. เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในตัวแบบสามารถใช้ได้ทุกตัวแปรหรือไม่ภายใต้สมมติฐานทางสถิติดังนี้

$H_0$: ตัวแปรอิสระทุกตัวไม่สามารถใช้พยากรณ์ได้

$H_1$: ตัวแปรอิสระบางตัวสามารถใช้พยากรณ์ได้

ผลการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้ แสดงว่าปฏิเสธ $H_0$ หมายความว่าตัวแปรอิสระทุกตัวสามารถใช้พยากรณ์ได้

5.1.2.4 จากตาราง Coefficients

- Unstandardized Coefficients ค่า B เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ(อะนิลีน) นำมาสร้างสมการถดถอยได้ดังนี้

$$y = 64.373 - 0.845x$$

โดยที่ y = ค่าอะโรมาติก

x = ค่าจุดอะนิลีน

ผลสรุปทางสถิติและสมการการถดถอยที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SPSS แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

5.1.3 สมการถดถอยที่ได้มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นลบคือมีค่าเท่ากับ -0.845 ทำให้ทราบว่าตัวแปรทั้ง2นั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกันคือเมื่อมีค่าจุดอะนิลีนสูงขึ้นค่าอะโรมาติกจะต่ำลง

5.1.4 เมื่อแทนค่าตัวแปรอิสระ (ค่าอะนิลีน) ลงในสมการที่ได้ เพื่อหาค่าอะโรมาติกและนำไปเปรียบเทียบกับค่าอะโรมาติกที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3 เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณพบว่าร้อยละของผลต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 0.83 และร้อยละของผลต่างสูงสุดอยู่ที่ 1.9

5.1.5 จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการทดลองของค่าอะโรมาติกแสดงในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าเส้นกราฟมีความใกล้เคียงกันมากเป็นการยืนยันว่าสมการถดถอยที่ได้นั้นมีความแม่นยำสูงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

5.1.6 ข้อจำกัดในการประมาณค่าอะโรมาติกจากจากสมการถดถอยที่ได้นี้คือค่าจุดอะนิลีนที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าต้องอยู่ในช่วงเดียวกับค่าจุดอะนิลีนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยคือมีค่าอยู่ในช่วง 47.20 - 66.50 องศาเซลเซียส

5.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น

5.2.1 จากข้อมูลค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่นของน้ำยาล้างลำกล้องปืนจำนวนทั้งสิ้น 16 ตัวอย่างในตารางที่ 4.4 นั้นนำมาวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณโดยใช้โปรแกรม SPSS

5.2.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม SPSS สำหรับการวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นตรงแบบเส้นตรงพหุคูณระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่นแสดงในภาคผนวก ก. 2 มีความหมายดังนี้คือ

5.2.2.1 จากตาราง Variables Entered/Removed

- Variables Entered เป็นส่วนแสดงรายชื่อตัวแปรอิสระที่เข้าไปอยู่ในตัวแบบคือจุดกลั่นแรก (initial boiling point) และจุดกลั่นสุดท้าย (final boiling point)

5.2.2.2 จากตาราง Model Summary

- R หมายถึงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แสดงถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวอิสระคือค่าจุดกลั่นแรกและจุดกลั่นสุดท้ายของการกลั่นกับตัวแปรตามคือค่าจุดวาบไฟตามลำดับ มีค่าเท่ากับ 0.976 ซึ่งเข้าใกล้ 1 แสดงว่าสามารถใช้ค่าช่วงการกลั่นพยากรณ์ค่าจุดวาบไฟได้
- Adjust R Square (ใช้แทนค่า R Square เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ศึกษาไม่ถึง 30 ข้อมูล) หมายถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0.974 แสดงว่าค่าจุดอะนิลีนสามารถทำนายค่าอะโรมาติกได้ถึง 97.40 เปอร์เซ็นต์
- Std. Error of the Estimate เป็นค่าวัดการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนรอบๆ เส้นถดถอย มีค่าเท่ากับ 1.12 เปอร์เซ็นต์

5.2.2.3 จากตาราง ANOVA

- Sig. เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในตัวแบบสามารถใช้ได้ทุกตัวแปรหรือไม่ภายใต้สมมติฐานทางสถิติดังนี้

  $H_0$: ตัวแปรอิสระทุกตัวไม่สามารถใช้พยากรณ์ได้

  $H_1$: ตัวแปรอิสระบางตัวสามารถใช้พยากรณ์ได้

ผลการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าค่า Sig. มีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ตั้งไว้ แสดงว่าปฏิเสธ $H_0$ หมายความว่าตัวแปรอิสระทุกตัวสามารถใช้พยากรณ์ได้

5.2.2.4 จากตาราง Coefficients

- Unstandardized Coefficients ค่า B เป็นค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ (จุดกลั่นแรกและจุดกลั่นสุดท้าย) นำมาสร้างสมการถดถอยได้ดังนี้

$$y = 0.611\,(x_1) + 0.115\,(x_2) - 75.00$$

โดยที่ y = ค่าจุดวาบไฟ

$x_1$ = จุดกลั่นแรก

$x_2$ = จุดสุดท้ายของการกลั่น

ผลสรุปทางสถิติและสมการการถดถอยที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SPSS แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

5.2.3 เมื่อแทนค่าตัวแปรอิสระ ลงในสมการที่ได้ เพื่อคำนวณค่าจุดวาบไฟ และนำไปเปรียบเทียบกับค่าจุดวาบไฟที่ได้จากการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าที่ได้จากการทดลองกับการคำนวณ พบว่าร้อยละของผลต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 0.14 และร้อยละของผลต่างสูงสุดอยู่ที่ 1.12 ซึ่งอยู่ในช่วงการตั้งค่าที่เครื่องวิเคราะห์หาจุดวาบไฟยอมรับได้ (ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องอยู่ที่ 5 องศาเซลเซียส)

5.2.4 ข้อจำกัดในการประมาณค่าอะโรมาติกจากจากสมการถดถอยที่ได้นี้คือช่วงการกลั่นที่จะนำมาใช้ในการประมาณค่าต้องอยู่ในช่วงเดียวกับช่วงการกลั่นที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยคือมีค่าอยู่ในช่วง 119 – 332 องศาเซลเซียส

# บทที่ 6

## สรุปผลการทดลอง

6.1 สรุปผลศึกษาการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างสมบัติต่างๆของน้ำยาล้างลำกล้องปืน

6.1.1 ค่าจุดอะนิลีนกับค่าอะโรมาติกมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง สามารถสร้างสมการถดถอยแบบเส้นตรงอย่างง่ายโดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

ดังนี้

$$y = 64.373 - 0.845x$$

โดยที่ y = ค่าอะโรมาติก

x = ค่าจุดอะนิลีน

ค่าจุดอะนิลีนที่จะนำมาประมาณค่าอยู่ที่ช่วงเท่ากับ 47.2-66.5 องศาเซลเซียส

6.1.2 ค่าจุดวาบไฟมีความสัมพันธ์กับช่วงการกลั่น สามารถสร้างสมการถดถอยแบบเส้นตรงพหุคูณ

โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$y = 0.611\,x_1 + 0.115\,x_2 - 75.00$$

โดยที่ $y$ = ค่าจุดวาบไฟ

$x_1$ = จุดกลั่นแรก

$x_2$ = จุดกลั่นสุดท้าย

ตัวอย่างที่จะนำมาประมาณจุดวาบไฟค่ามีช่วงการกลั่นอยู่ที่ 119-332 องศาเซลเซียส

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านคณะกรรมการผู้ตรวจประเมิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจประเมินให้คำแนะนำแก้ไขให้งานลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณคุณศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข นักวิทยาศาสตร์ 7ว ให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการและคุณกานดา โกมลวัฒนชัย นักวิทยาศาสตร์ 6ว ผู้ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง


1. กัลยา วานิชย์บัญชา. **การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544. หน้า 287-332.
2. ศิริชัย พงษ์วิชัย. **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543. หน้า 332-370.
3. Allinson, P J,. . **Criteria for Quality of Petroleum Products.** Applied Science Publishers Ltd. 1975. p. 47-53.
4. American Society for Testing and Materials. **Annual book of ASTM Standard: petroleum products, lubricants and fossil fuel**. Section5. vol. 05.01. Washington, DC: ASTM, 1997
5. M - Pro7. gun cleaner. 2004. [Online]. เข้าถึงได้จาก: **http//www.Surplusifle.com/reviews/mpro7/index.asp**

# ภาคผนวก ก

## เกณฑ์กำหนดของการซื้อขายน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่กรมวิทยาศาสตร์บริการได้รับจากลูกค้า

**ภาคผนวก ก. เกณฑ์กำหนดของการซื้อขายน้ำยาล้างลำกล้องปืนที่ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้รับจากลูกค้า)**

- ผลิตจากสารปิโตรเลียมที่มีความหนาแน่นไม่เกิน 0.8 ที่ Relative density @ 60/60 องศาฟาร์เรนไฮต์
- มีคุณสมบัติชำระล้างคราบน้ำมัน เขม่าดินปืนและสนิมเหล็ก โดยมีสารอะโรมาติก 9-12 % โดยปริมาตร และค่าจุดอะนิลีนที่ 60-67 องศาเซลเซียส
- ไม่มีส่วนผสมของสารที่ทำอันตรายต่อผิวหนังและสีของอาวุธปืน ไม่มีความเป็นกรดหรือด่างแต่เป็นกลาง (Neutral)
- มีคุณสมบัติสามารถระเหยตัวได้เร็วมีจุดวาบไฟระหว่าง 45-50 องศาเซลเซียส
- มีกำมะถัน (sulphur) ไม่เกิน 0.05 %

# ภาคผนวก ข

## ผลการวิเคราะห์การถดถอยจากโปรแกรม SPSS

ภาคผนวก ข.1 ผลการวิเคราะห์การถดถอยจากโปรแกรม SPSS **ระหว่างค่าอะโรมาติกกับจุดอะนิลีน**

**Regression**

**Variables Entered/Removed[b]**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|---|---|---|---|
| 1 | ANILINE[a] | . | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: AROMATIC

**Model Summary[b]**

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate | Durbin-Watson |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | .979[a] | .958 | .956 | 1.0009 | 2.288 |

a. Predictors: (Constant), ANILINE

b. Dependent Variable: AROMATIC

**ANOVA[b]**

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Regression | 436.337 | 1 | 436.337 | 435.536 | .000[a] |
| | Residual | 19.035 | 19 | 1.002 | | |
| | Total | 455.372 | 20 | | | |

a. Predictors: (Constant), ANILINE

b. Dependent Variable: AROMATIC

**Coefficients[a]**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | 64.373 | 2.464 | | 26.123 | .000 |
| | ANILINE | -.845 | .040 | -.979 | -20.870 | .000 |

a. Dependent Variable: AROMATIC

ภาคผนวก ข.1 ผลการวิเคราะห์การถดถอยจากโปรแกรม SPSS ระหว่างค่าจุดวาบไฟกับช่วงการกลั่น

**Regression**

**Variables Entered/Removed[b]**

| Model | Variables Entered | Variables Removed | Method |
|---|---|---|---|
| 1 | final boiling pt, int boiling pt[a] | . | Enter |

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable: flash pt#

**Model Summary**

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|---|---|---|---|---|
| 1 | .989[a] | .978 | .974 | .7276 |

a. Predictors: (Constant), final boiling pt, int boiling pt

**ANOVA[b]**

| Model | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Regression | 299.555 | 2 | 149.778 | 282.925 | .000[a] |
| | Residual | 6.882 | 13 | .529 | | |
| | Total | 306.438 | 15 | | | |

a. Predictors: (Constant), final boiling pt, int boiling pt

b. Dependent Variable: flash pt#

**Coefficients[a]**

| Model | | Unstandardized Coefficients | | Standardized Coefficients | t | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | Std. Error | Beta | | |
| 1 | (Constant) | -75.002 | 5.259 | | -14.263 | .000 |
| | int boiling pt | .611 | .026 | 1.387 | 23.741 | .000 |
| | final boiling pt | .115 | .007 | .914 | 15.636 | .000 |

a. Dependent Variable: flash pt#