วศกม
ว 41

เอกสารเสนอผลงานให้ประเมิน
เพื่อดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ของ

นางสาวจิรสา กรงกรด
นักวิทยาศาสตร์ 5

การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

กลุ่มงานอินทรีย์เคมีวิเคราะห์
กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารเสนอผลงานให้ประเมิน
เพื่อดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 6 ว

ของ

นางสาวจิรสา กรงกรด
นักวิทยาศาสตร์ 5

เลขหมู่ วส กม
จ 41
เลขทะเบียน 11254
วันที่ 9 ก.ย. 46

การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
จิรสา กรงกรด

กลุ่มงานอินทรีย์เคมีวิเคราะห์
กองเคมี กรมวิทยาศาสตร์บริการ

สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรภาพของสารตัวอย่าง เป็นสิ่งสำคัญสำหรับกิจกรรมการทดสอบความชำนาญระหว่างห้องปฏิบัติการทดสอบ ทั้งนี้เพื่อให้ผลทดสอบนั้นไม่มีสาเหตุความผิดพลาดจากความแตกต่างหรือการเสื่อมสภาพของตัวอย่าง

การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของตัวอย่าง ตรวจสอบได้โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation : C.V.) และการหาค่าความแปรปรวนโดยวิธี ONE-WAY ANOVA ซึ่งวิธี ONE-WAY ANOVA นี้สามารถคำนวณได้จากสูตรทางสถิติ หรือโปรแกรม EXCEL จากการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตรพบว่ามีความเป็นเนื้อเดียวกันเชิงสถิติ

การทดสอบความเสถียรภาพระยะสั้น (5 สัปดาห์) และระยะยาว (5 เดือน) ตรวจสอบโดยวิธีทางสถิติ t – test พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1.0 และ 0.4 โมลต่อลิตร มีความเสถียรภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ส่วนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร มีความเสถียรภาพในระยะสั้น แต่ความเสถียรภาพระยะยาวสามารถคงสภาพได้จนกระทั่งเดือนที่ 2 หลังจากนั้นไม่มีความเสถียรภาพเชิงสถิติ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iii
สารบัญภาพ	vii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ปัญหาและที่มาของการทดลอง	1
1.2 วารสารปริทัศน์	2
1.3 วัตถุประสงค์	8
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	8
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	8
บทที่ 2 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	
2.1 ตัวอย่างและวิธีเตรียม	9
2.2 วัสดุ อุปกรณ์	9
2.3 สารเคมี	9
2.4 วิธีดำเนินการ	9
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์	12
บทที่ 4 วิจารณ์ผล	21
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	23
กิตติกรรมประกาศ	24
เอกสารอ้างอิง	25
ภาคผนวก	26

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 1-1	การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว	5
ตาราง 1-2	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว	5
ตาราง 1	ค่า Coefficient of Variation ของ within-bottles และ between-bottles ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร	12
ตาราง 2	ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	12
ตาราง 3	ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน	13
ตาราง 4	พารามิเตอร์ทางสถิติจาก ANOVAในการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวด	13
ตาราง 5	ผลการศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้นโดยใช้ t-test	15
ตาราง 6	ผลการศึกษาความเสถียรภาพระยะยาวโดยใช้ t-test	18
ตาราง A-1	ตารางข้อมูลแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร	27
ตาราง A-2	การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดย coefficient of variation (C.V.)	28
ตาราง A-3	การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร	29
ตาราง A-3-1	การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร (ต่อ)	30
ตาราง A-3-2	ตารางสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร	30
ตาราง A-4	การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรในระยะเวลา 5 สัปดาห์	31
ตาราง A-5	การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์	31
ตาราง A-6	การศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้น โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นเริ่มต้น	31
ตาราง A-7	การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรในระยะเวลา 5 เดือน	32

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง A-8 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน 32

ตาราง A-9 การศึกษาความเสถียรภาพระยะยาว โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือนกับความเข้มข้นเริ่มต้น 32

ตาราง A-10 การคำนวณการแจกแจงแบบปกติของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรโดยวิธี Lilliefors test 33

ตาราง A-11 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test 34

ตาราง A-11-1 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test (ต่อ) 35

ตาราง A-11-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความเท่ากันของความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรโดยวิธี Levene's test 35

ตาราง B-1 ตารางข้อมูลแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร 36

ตาราง B-2 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดย coefficient of variation (C.V.) 37

ตาราง B-3 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร 38

ตาราง B-3-1 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร (ต่อ) 39

ตาราง B-3-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร 39

ตาราง B-4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์ 40

ตาราง B-5 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์ 40

ตาราง B-6 การศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้น โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นเริ่มต้น 40

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง B-7 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน 41

ตาราง B-8 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน 41

ตาราง B-9 การศึกษาความเสถียรภาพระยะยาว โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือนกับความเข้มข้นเริ่มต้น 41

ตาราง B-10 การคำนวณการแจกแจงแบบปกติของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตรโดยวิธี Lilliefors test 42

ตาราง B-11 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test 43

ตาราง B-11-1การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test (ต่อ) 44

ตาราง B-11-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความเท่ากันของความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตรโดยวิธี Levene's test 44

ตาราง C-1 ตารางข้อมูลแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร 45

ตาราง C-2 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดย coefficient of variation (C.V.) 46

ตาราง C-3 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร 47

ตาราง C-3-1 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร (ต่อ) 48

ตาราง C-3-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร 48

ตาราง C-4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์ 49

ตาราง C-5 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์ 49

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตาราง C-6 การศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้น โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นเริ่มต้น 49

ตาราง C-7 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน 50

ตาราง C-8 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน 50

ตาราง C-9 การศึกษาความเสถียรภาพระยะยาว โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือนกับความเข้มข้นเริ่มต้น 50

ตาราง C-10 การคำนวณการแจกแจงแบบปกติของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตรโดยวิธี Lilliefors test 51

ตาราง C-11 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test 52

ตาราง C-11-1การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test (ต่อ) 53

ตาราง C-11-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความเท่ากันของความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตรโดยวิธี Levene's test 53

ตาราง D-1 F(z), the standard normal cumulative distribution function 54

ตาราง D-2 The *t*-distribution 57

ตาราง D-3 Critical values of *F* for a one-tailed test ($P = 0.05$) 58

ตาราง D-4 Critical values of *F* for a two-tailed test ($P = 0.05$) 59

ตาราง D-5 ค่าวิกฤตของ Lilliefors Test 60

สารบัญภาพ

		หน้า
กราฟรูป S-1	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรในช่วงเวลา 5 สัปดาห์ กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร เริ่มต้น	16
กราฟรูป S-2	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์ กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร เริ่มต้น	16
กราฟรูป S-3	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์ กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร เริ่มต้น	17
กราฟรูป S-4	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือน กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร เริ่มต้น	19
กราฟรูป S-5	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือน กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร เริ่มต้น	20
กราฟรูป S-6	แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือน กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร เริ่มต้น	20

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการทดลอง

การประกันและการควบคุมคุณภาพการวิเคราะห์นั้น นับเป็นสิ่งสำคัญในการวิเคราะห์ทดสอบ เพื่อต้องการตรวจสอบความถูกต้อง แม่นยำ และความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ ให้ได้ข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับทั้งในประเทศและต่างประเทศ

การทดสอบความชำนาญระหว่างห้องปฏิบัติการ(Laboratory Proficiency Testing) เป็นรูปแบบหนึ่งของการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ ซึ่งในปัจจุบันห้องปฏิบัติการที่ต้องการการรับรองคุณภาพห้องปฏิบัติการตาม ISO/IEC 17025 ควรจะต้องมีการเข้าร่วมทำการทดสอบความชำนาญระหว่างห้องปฏิบัติการด้วย

การทดสอบความชำนาญระหว่างห้องปฏิบัติการ โดยการเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ จะใช้ตัวอย่างหรือชุดตัวอย่างเดียวกัน ส่งไปยังห้องปฏิบัติการต่างๆ ที่เข้าร่วมกิจกรรมการทดสอบความชำนาญฯ โดยดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่ได้ตกลงกันไว้ และผู้ดำเนินการจะประเมินผลการวิเคราะห์ทดสอบห้องปฏิบัติการที่เข้าร่วมโครงการ ดังนั้นจึงต้องแน่ใจว่าตัวอย่างหรือชุดตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างห้องปฏิบัติการนั้นมีความเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสม่ำเสมอ(Homogeneity) และมีความเสถียรภาพ(Stability) ตลอดช่วงเวลาของกิจกรรม เพื่อที่ให้แน่ใจว่า ผลการประเมินของห้องปฏิบัติการที่เบี่ยงเบนไปนั้น ไม่ได้เกิดจากความแตกต่างหรือเสื่อมสภาพของตัวอย่าง

การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและเสถียรภาพของสารก่อนที่จะทำการส่งตัวอย่างหรือชุดตัวอย่างให้กับห้องปฏิบัติการต่างๆจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพราะถ้าตัวอย่างหรือชุดตัวอย่างไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและไม่มีความเสถียรภาพแล้ว ตัวอย่างหรือชุดตัวอย่างนั้นก็จะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับเปรียบเทียบผลระหว่างห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้การศึกษาต่อเนื่องไปถึงความเสถียรภาพระยะยาวของสาร จะเป็นข้อมูลในการศึกษาคุณสมบัติของสารว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างใด เพราะเมื่อเวลาผ่านไปอาจเกิดจากการสลายตัวของสาร ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักและความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ นอกจากนี้การแพร่ของสารต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบสู่ผิวภาชนะ สามารถทำให้ความเข้มข้นลดลงได้

สำหรับการเลือกใช้วิธีการทางสถิติเพื่อตรวจสอบความเป็นเนื้อเดียวกันและความมีเสถียรภาพของตัวอย่างหรือชุดตัวอย่างก็เป็นสิ่งสำคัญ เพื่อข้อมูลที่ได้ จะมีความถูกต้อง แม่นยำ และเป็นที่น่าเชื่อถือ

1.2 วารสารปริทัศน์

ความเป็นเนื้อเดียวกัน(Homogeneity)[4] เป็นสภาวะที่ลักษณะหรือส่วนประกอบของสมบัติต่างๆ มีความเหมือนกัน ซึ่งหาโดยการทดสอบสารนั้นจากขวดที่พร้อมใช้ในห้องปฏิบัติการ และผลการทดสอบอยู่ในช่วงความไม่แน่นอนที่กำหนดไว้ สารที่นำมาทดสอบอาจมาจากหลายๆหน่วย เช่นในขวดหรือห่อ หรือมาจากหน่วยเดียวกันก็ได้

ความมีเสถียรภาพ (Stability)[4] เป็นลักษณะสมบัติของสาร ซึ่งเมื่อเก็บไว้ในสภาวะหนึ่ง และยังคงรักษาไว้ซึ่งสมบัติที่กำหนดไว้ในช่วงเวลาหนึ่ง

ในการคำนวณหาว่าสารมีความเป็นเนื้อเดียวกันหรือมีความเสถียรภาพหรือไม่นั้น ต้องอาศัยสถิติมาใช้ในการประเมินข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ทดสอบ การนำข้อมูลของการทดลองมาวิเคราะห์ค่าความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรภาพนั้นมีอยู่ 2 ขั้นตอนคือ

- การวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้น เป็นการสรุปลักษณะขั้นต้นของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ การวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้นอาจพิจารณาในรูปแบบการแจกแจงความถี่ การหาค่าเฉลี่ย การหาค่ามัธยฐาน เป็นต้น

- การวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง ได้แก่ การประมาณค่า การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นต้น

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้นแล้วจึงนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้นนี้ไปทำการวิเคราะห์ขั้นสูงต่อไป เพื่อนำผลจากการวิเคราะห์ขั้นสูงไปช่วยให้การตัดสินใจถูกต้องยิ่งขึ้น การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในที่นี้จะขอกล่าวถึงการคำนวณค่า ความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรภาพโดยรวม

1.2.1 <u>การหาค่าความเป็นเนื้อเดียวกัน</u>[1,5]

การหาค่าความเป็นเนื้อเดียวกันหรือการหาค่าความแปรปรวนของข้อมูล เป็นวิธีทดสอบค่าการกระจายของข้อมูลว่า มีมากน้อยเพียงใด การใช้สถิติทดสอบว่าตัวอย่างที่สนใจมีความเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่นั้นสามารถตรวจสอบได้จากการคำนวณสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation : C.V.) และการตรวจสอบทางสถิติ Analysis of Variance (ANOVA) แบบ ONE-WAY

1.2.1.1 สัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation : C.V.)

สัมประสิทธิ์ความแปรผัน เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายของข้อมูลที่ไม่มีหน่วย ซึ่งต่างจากค่าสถิติตัวอื่นๆที่ใช้วัดการกระจายซึ่งมีหน่วยเป็นหน่วยเดียวกับหน่วยของข้อมูล ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation ; SD) หารด้วยค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เนื่องจากหน่วยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดหนึ่งจะเป็นหน่วยเดียวกัน จึงทำให้ C.V. ไม่มีหน่วย

$$\text{C.V. ของตัวอย่าง} = SD \,/\, \bar{X}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \qquad ; \ i = 1,2,3,\ldots,n$$

ส่วนมากจะคำนวณค่า C.V. ในรูปเปอร์เซ็นต์ ดังนั้น C.V. = $(SD / \bar{X})$ X 100

1.2.1.2 การหาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน เป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง โดยเราต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวนเสียก่อน ซึ่งตัวอย่างที่จะสามารถวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนได้นั้น ต้อง

1. เป็นอิสระจากกัน ขึ้นอยู่กับการออกแบบการทดลองหรือการเก็บข้อมูล

2 . มีการแจกแจงแบบปกติ การที่จะทราบว่าตัวอย่างมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้นในที่นี้จะใช้วิธี Lilliefors test ทดสอบ โดยในขั้นตอนแรกจะทำการตรวจสอบว่าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ จะตั้งสมมติฐานว่า

H_0 : ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ประชากรไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติทดสอบ $D = \max \left| F(x)-S(x) \right|$

โดยที่ S(x) เป็นความน่าจะเป็นสะสมของตัวอย่าง

F(x) เป็นความน่าจะเป็นสะสมภายใต้สมมติฐานว่างH_0

โดย $F(x) = P(X \leq x) = P\left(Z \leq \left(\frac{x-\bar{x}}{s}\right)\right)$

เมื่อ x = ค่าของข้อมูลตัวอย่าง , $\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตัวอย่าง และ s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

และ ค่า Z สามารถ ดูได้จากตารางความน่าจะเป็นแบบปกติ (ตาราง D-1)

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า D > ค่าวิกฤตที่ได้จากตาราง Lilliefors Test (ตาราง D-5)

<u>หมายเหตุ</u> ข้อมูลที่นำมาหาค่าการแจกแจงแบบปกติโดยวิธี Lilliefors Test ต้องมีการเรียงข้อมูลจากน้อยไปมาก ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผล

3. ค่าแปรปรวนของแต่ละประชากรต้องเท่ากัน หรือต้องการทดสอบ $\sigma_1^2=\sigma_2^2=\ldots=\sigma_k^2$ ในการใช้สถิติทดสอบหาค่าความเท่ากันของค่าแปรปรวนโดยมีตัวอย่างเท่ากับ k ประชากร ($k \geq 3$) จะใช้สถิติทดสอบของ Levene's Test ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ในการทดสอบสมมติฐาน $H_0 : \sigma_1^2=\sigma_2^2=\ldots=\sigma_k^2$ ของ Levene's Test จะใช้สถิติทดสอบ F โดยการสร้างตารางการวิเคราะห์ค่าแปรปรวนแบบ ONE-WAY ANOVA (ซึ่งจะได้อธิบายอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป) แต่ใช้ข้อมูล $Y_{ij}= \left| X_{ij}-X_i \right|$ ในการสร้าง ONE-WAY ANOVA

สมมติฐานเพื่อการทดสอบ $H_0 : \sigma_1^2=\sigma_2^2=\sigma_3^2=\sigma_4^2$

H_1 : มี $\sigma_i^2 \neq \sigma_j^2$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$; i,j =1,2,3,4

สถิติทดสอบ F=MSTrt / MSE

เขตปฏิเสธ H_0 จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $F > F_{1-\alpha}$ ที่องศาอิสระ k-1 และ n-k ตามลำดับ

และ $MSTrt = \frac{SSTrt}{k-1}$ โดยที่ $SSTrt = \sum \frac{T_i^2}{n_i} - CM$ หรือสูตรเดียวกับ ANOVA แต่แทนที่จะใช้ข้อมูล X_{ij} จะใช้ Y_{ij} โดยที่ $Y_{ij} = | X_{ij} - \overline{X_i} |$

เมื่อผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความเท่ากันของค่าแปรปรวนแล้ว ก็ทำการวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน สำหรับตัวแปรหรือปัจจัยที่ทำให้ข้อมูลมีค่าแตกต่างกันอาจมีเพียงปัจจัยเดียวหรือหลายปัจจัย ในที่นี้เป็นการวิเคราะห์แบบมีปัจจัยเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Single-Factor Analysis of Variance : Factor ANOVA หรือ ONE-WAY ANOVA) เป็นการจำแนกข้อมูลด้วยตัวแปรหรือปัจจัยเพียงตัวเดียว นั่นคือ วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลโดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลเพียงปัจจัยเดียว ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียวคือ เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประชากรตั้งแต่ 3 ประชากรขึ้นไป โดยถือว่าหน่วยที่ได้รับปัจจัยระดับเดียวกันเป็นประชากรหนึ่งๆ และหน่วยที่ได้รับปัจจัยคนละระดับเป็นคนละประชากร

สมมติฐานการทดลองจะเป็น

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_k$

$H_1 :$ มี $\mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ ; $i \neq j$

โดย H_0 เป็นสมมติฐานว่าง(Null Hypothesis)

H_1 เป็นสมมติฐานแย้ง(Alternative Hypothesis)

สมมติฐาน H_0 และ H_1 จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามเสมอ

ถ้าสมมติฐานยอมรับ H_0 หมายถึงข้อมูลไม่มีความแปรปรวน หรือค่าเฉลี่ยประชากรที่ต้องการทดสอบไม่แตกต่างกันนั่นคือมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ถ้าผลของการทดสอบคือปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ($\mu_i \neq \mu_j$) คือมีค่าเฉลี่ยประชากร อย่างน้อย 1 ประชากร ที่แตกต่างจากประชากรอื่น แสดงว่าตัวอย่างนั้นไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันนั่นเอง

หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ทดสอบสมมติฐานคือ การแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกัน นั่นคือ แยกความแปรปรวนของข้อมูลออกเป็น

1. ความผันแปรหรือความแตกต่างระหว่างประชากร (Between-Groups Variability)
2. ความผันแปรหรือความแตกต่างภายในประชากรเดียวกัน (Within-Groups Variability)

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างประชากร + ความผันแปรภายในประชากรเดียวกัน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบความแตกต่างของข้อมูลที่ได้รับปัจจัยที่ต่างระดับกัน จะทำโดยการสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance Table) ซึ่งเรียกย่อๆว่า ANOVA เพื่อทดสอบความแตกต่างดังกล่าว ตารางจะมีรูปแบบดังนี้

ตาราง 1-1 การสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

		จำนวน	รวม	Mean
Sample 1	X_{11} X_{12} X_{13} ... X_{1n1}	n_1	T_1	$\bar{X}_1$
Sample 2	X_{21} X_{22} X_{23} ... X_{2n2}	n_2	T_2	$\bar{X}_2$
Sample 3	X_{31} X_{32} X_{33} ... X_{3n3}	n_3	T_3	$\bar{X}_3$
.....	... ...	...	...	...
.....	... ...	...	...	...
.....	... ...	...	...	...
Sample k	X_{k1} X_{k2} X_{k3} ... X_{knk}	n_k	T_k	$\bar{X}_k$
โดยที่ X_{ij} = ข้อมูลของหน่วยทดลองที่ j จาก sample i ; i = 1,2,3,...k j=1,2,3,.....n_i				

จำนวนหน่วยตัวอย่างหรือหน่วยทดลองทั้งหมด = $n = n_1 + n_2 + ... + n_k$

ผลรวมของข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด = $\Sigma\Sigma X_{ij}$

ค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด = $\bar{X} = \Sigma\Sigma X_{ij} / n$

ผลรวมของข้อมูลตัวอย่างชุดที่ i = $T_i = \Sigma X_{ij}$

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างทรีทเม้นต์+ความผันแปรภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน

SST (Total Sum Square) = SSTrt (Between-Groups Sum Square) +SSE (Within-Groups Sum Square)

สถิติทดสอบ F = MSTrt / MSE ซึ่งมีการแจกแจงแบบ F ด้วยองศาอิสระ k-1,n-k

ตาราง 1-2 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว

แหล่งแปรปรวนหรือ แหล่งความแปรผัน	องศาอิสระ DF	ผลบวกกำลังสอง SS	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง MS = SS/DF	F
Between-Groups	k-1	SSTrt	MSTrt	MSTrt/MSE
Within-Groups	n-k	SSE	MSE	
Total	n-1	SST		

สูตรการคำนวณของตาราง

$CM = (\Sigma T_i)^2 / n$ $SST = \Sigma\Sigma X_{ij}^2 - CM$

$SSTrt = \Sigma T_i^2 / n_i - CM$ $SSE = SST - SSTrt$

$MSTrt = SSTrt / (k-1)$ $MSE = SSE / (n-k)$

สถิติทดสอบ $F = MSTrt/MSE \sim F_{k-1,n-k}$

1.2.2 <u>การหาความเสถียรภาพ</u>[1,5]

การหาค่าความเสถียรภาพทางสถิติในที่นี้สามารถใช้สถิติทดสอบ t-test และการหาความ เสถียรภาพโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารในช่วงเวลาต่างๆ

1.2.2.1 การหาค่าความเสถียรภาพโดยใช้สถิติทดสอบ t-test

ในการคำนวณหาค่าความเสถียรภาพของข้อมูล เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างของค่าเฉลี่ยของ 2 ประชากร (μ_1-μ_2) ที่สนใจ แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้ข้อมูลตัวอย่าง 2 ชุด สุ่มจากประชากรทั้ง 2 ค่า เป็นอิสระกัน ถ้าใช้ n_1 และ n_2 เป็นขนาดตัวอย่าง ที่สุ่มจากประชากรที่1 และ 2 ตามลำดับ n_1 และ n_2 จะมีขนาดเท่ากันหรือไม่ก็ได้

การหาค่าความเสถียรภาพโดยใช้ สถิติทดสอบ t ในที่นี้ประชากรทั้ง 2 ตัว ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ขนาดตัวอย่างที่ทำการทดสอบ< 30 และไม่ทราบค่าความแปรปรวน (σ)

ในการใช้ t-test ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม มีข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) ข้อหนึ่งว่า ตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่มได้มาจากประชากรที่มีความ แปรปรวนเท่ากันหรือไม่ การที่จะทราบว่าตัวอย่างมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่นี้เราจะใช้สถิติทดสอบ F-test ทำการทดสอบก่อน

<u>การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างค่าแปรปรวนของสองประชากร</u>

ในการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 ประชากรที่มีขนาดตัวอย่างเล็ก และไม่ทราบค่า σ^2_1 และ σ^2_2 แบ่งเป็น 2 กรณีคือ

1. $\sigma^2_1 = \sigma^2_2$
2. $\sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

ดังนั้น ก่อนที่จะสามารถทดสอบความแตกต่างระหว่าง μ_1 และ μ_2 ต้องทดสอบว่า $\sigma^2_1 = \sigma^2_2$ หรือไม่เสียก่อน

สมมติฐานจะเป็น $H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2$

$H_1: \sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$

สถิติทดสอบ $F = S_i^2 / S_j^2$ ถ้า $S_i^2 > S_j^2$; i,j = 1,2 และ $S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ i = 1,2,3,...,n

เขตปฏิเสธ จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $F > F_{1-\alpha/2}$ ที่องศาอิสระ n_i-1 และ n_j-1

เมื่อทดสอบแล้วดูว่า σ^2_1 และ σ^2_2 เท่ากันหรือไม่จึงใช้สถิติทดสอบ t ทำการทดสอบต่อไป

การใช้สถิติทดสอบ t-test โดยประชากรทั้ง 2 มีการแจกแจงแบบปกติหรือใกล้เคียงแบบปกติ และมี $n_1 < 30$ หรือ $n_2 < 30$ และไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 จะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

- ไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่พบว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

เมื่อไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 มีค่าเท่าไร แต่ทราบว่ามีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) นั่นคือ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_p^2$ จึงประมาณค่า σ_p^2 ด้วย S_p^2 โดยที่

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

และ $\dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$ จะมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาอิสระ n_1+n_2-2

ดังนั้นภายใต้สมมติฐาน $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = d_0$ จะได้ตัวสถิติทดสอบคือ $t = \dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{S_p\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$

โดย t ได้จากตาราง ซึ่งค่า t ขึ้นอยู่กับองศาอิสระ และระดับความเชื่อมั่น
จึงสามารถสรุปเขตปฏิเสธ H_0 ได้ดังนี้

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 > d_0$ เขตปฏิเสธ H_0 ; $t > t_{1-\alpha/2\,;\,n1+n2-2}$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 < d_0$ เขตปฏิเสธ H_0 ; $t < t_{1-\alpha/2\,;\,n1+n2-2}$

$H_1 : \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$ เขตปฏิเสธ H_0 ; $|t| > t_{1-\alpha/2\,;\,n1+n2-2}$

- ไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่พบว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

เมื่อไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 เป็นเท่าไร ทราบเพียงแต่ว่าไม่เท่ากัน($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) จึงประมาณค่า σ_1^2 ด้วย S_1^2 และประมาณค่า σ_2^2 ด้วย S_2^2

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2}}$$ จะมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาอิสระ V

โดยที่ $V = \dfrac{(S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2)^2}{\left[(S_1^2/n_1)^2/(n_1-1)\right] + \left[(S_2^2/n_2)^2/(n_2-1)\right]}$

ถ้า V เป็นเลขจุดทศนิยม ให้ปัดขึ้นเป็นจำนวนเต็ม
โดย t ได้จากตาราง ซึ่งค่า t ขึ้นอยู่กับองศาอิสระ และระดับความเชื่อมั่น
และสามารถสรุปเขตของการสรุป H_0 ได้ดังนี้

H1: $\mu_1-\mu_2 > d_0$ เขตปฏิเสธ H_0 ; $t > t_{1-\alpha/2;V}$

H1: $\mu_1-\mu_2 < d_0$ เขตปฏิเสธ H_0 ; $t < t_{1-\alpha/2;V}$

H1: $\mu_1-\mu_2 \neq d_0$ เขตปฏิเสธ H_0 ; $t > |t|_{1-\alpha/2;V}$

1.2.2.2 การหาค่าความเสถียรภาพโดยใช้การเปรียบเทียบความเข้มข้นของธาตุในช่วงเวลาต่างๆ

โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเข้มข้นเริ่มต้นซึ่งใช้เป็นค่าอ้างอิงกับความเข้มข้นในช่วงเวลาต่างๆ

ค่า Relative variations สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$R_t = X_t / X_0$

เมื่อ

R_t เป็นอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยที่ระยะเวลา t

X_t เป็นค่าเฉลี่ยที่ระยะเวลา t

X_0 เป็นค่าเฉลี่ยเริ่มต้น

1.3 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อต้องการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมขึ้นสำหรับใช้ในโครงการการทดสอบความชำนาญระหว่างห้องปฏิบัติการ และเพื่อศึกษาถึงวิธีทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับการประเมินผลการทดสอบ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงระยะเวลาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ เพื่อลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการหาความเข้มข้นที่ถูกต้องก่อนนำไปใช้

1.4.2 วิธีทางสถิติที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันและความเสถียรภาพ

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

ตั้งแต่เดือนมกราคม 2544 ถึงเดือนมิถุนายน 2544 (6 เดือน)

บทที่ 2

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

2.1 ตัวอย่างและวิธีเตรียม[3]

ตัวอย่างที่ใช้คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร

วิธีเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร จำนวน ความเข้มข้นละ 10 ลิตร

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร
  ชั่ง 40 กรัม ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 99% ทำให้เป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร
  ชั่ง 160 กรัม ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 99% ทำให้เป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร
  ชั่ง 160 กรัม ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 99% 160 ทำให้เป็น 10 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

แต่ละความเข้มข้นเขย่าให้เข้ากัน นำมาแบ่งใส่ขวดพลาสติก ขวดละ 1 ลิตร จำนวน 10 ขวด

2.2 วัสดุ อุปกรณ์

- Burette ขนาดปริมาตร 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- Erlenmeyer flask ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียดอ่านค่าได้ถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ตู้อบ (Oven)
- ขวดพลาสติกทำด้วย Polyethylene ขนาด 20 ลิตร จำนวน 3 ขวด
- ขวดพลาสติกทำด้วย Polyethylene ขนาด 1 ลิตร จำนวน 30 ขวด

2.3 สารเคมี

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 99 % ชั้นคุณภาพ GR. ของบริษัท MERCK
- Potassium hydrogen phthalate (KHP) 99.5 % ชั้นคุณภาพ GR. ของบริษัท MERCK
- สารละลาย Phenolphthalein indicator ร้อยละ 1 ในเอทิลแอลกอฮอล์
  เตรียมโดย ชั่ง 1 กรัมของ Phenolphthalein ทำให้เป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรด้วยเอทิลแอลกอฮอล์
- น้ำกลั่น ชั้นคุณภาพห้องปฏิบัติการ

2.4 วิธีดำเนินการ

2.4.1 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน

การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity)ภายในขวด (within-bottles homogencity study) และระหว่างขวด (between-bottles homogencity study) ทำโดย

วิเคราะห์สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร ทั้ง 10 ขวด แต่ละขวดให้วิเคราะห์ 3 ครั้ง โดยทำการไตเตรทกับ KHP (อบที่อุณหภูมิ 120 ° เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นใน Desiccator) ใช้ สารละลาย Phenolphthalein เป็น indicator คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้น

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักสาร (KHP) (กรัม)}}{0.20424 \times \text{ปริมาตรของ NaOH (ลบ.ซม.)}}$$

เมื่อ 0.20424 = น้ำหนักโมเลกุลของ KHP /1000

ผลการวิเคราะห์ดูได้จากตาราง A-1, B-1 และC-1

การคำนวณความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวด (within- bottles and between-bottles homogeneity study)

1. การคำนวณ Coefficient of Variation (C.V) ผลการคำนวณดูได้จากตาราง A-2 , B-2 และ C-2
2. การตรวจสอบทางสถิติ Analysis of Variance (ANOVA) แบบ ONE-WAY ผลการคำนวณดูได้จากตาราง A-3, A-3-1, A-3-2, B-3, B-3-1, B-3-2 และ C-3, C-3-1, C-3-2

2.4.2 การศึกษาเสถียรภาพ

- การศึกษาเสถียรภาพระยะสั้น

วิเคราะห์ตัวอย่าง สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องปกติ สุ่มเลือกมา 5 ขวดแต่ละขวดวิเคราะห์ 1 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ด้วยวิธีไตเตรทกับ KHP (อบที่อุณหภูมิ 120 ° เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นใน Desiccator) ใช้ สารละลาย Phenolphthalein เป็น indicator คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้น การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์ จะเป็นตัวแสดงเสถียรภาพระยะสั้น

ผลการวิเคราะห์ ดูตาราง A-4, B-4 และ C-4

การคำนวณค่าความเสถียรภาพระยะสั้นสามารถ คำนวณได้จาก

1. t- test ผลการคำนวณดูตาราง A-5, B-5 และ C-5
2. ค่า Relative variation (X_t/X_o)ของการศึกษาเสถียรภาพระยะสั้น ผลการคำนวณดูตาราง A-6, B-6 และ C-6

- การศึกษาเสถียรภาพระยะยาว (Long – term stability)

วิเคราะห์ตัวอย่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องปกติ สุ่มเลือกมา 5 ขวด แต่ละขวดวิเคราะห์ 1 ครั้ง ทำการวิเคราะห์ 5 เดือน เดือนละ 1 ครั้ง ด้วยวิธีไตเตรทกับ KHP (อบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}$ เซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นใน Desiccator) โดยใช้ สารละลาย Phenolphthalein เป็น indicator คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทั้ง 3 ความเข้มข้น การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงเวลา 5 เดือน จะเป็นตัวแสดงเสถียรภาพระยะยาว

ผลการวิเคราะห์ ดูตาราง A-7, B-7 และ C-7

การคำนวณค่าความเสถียรภาพระยะยาวสามารถคำนวณเหมือนกับค่าความเสถียรภาพระยะสั้น

1. t- test ผลการคำนวณดูตาราง A-8,B-8 และ C-8
2. Relative variation ของการศึกษาเสถียรภาพระยะยาว ผลการคำนวณดูตาราง A-9, B-9 และ C-9

บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์

3.1 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกัน

จากการวิเคราะห์สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 ,0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร อย่างละ 10 ขวด ขวดละ 3 ครั้ง นำมาคำนวณทางสถิติได้ผลดังนี้

3.1.1 ค่า Coefficient of Variation (C.V.) ของการวิเคราะห์ภายในขวดและระหว่างขวด (within-bottles and between-bottles)

การทดสอบค่า C.V. ภายในขวดและระหว่าง (ตารางA-2, B-2 และ C-2) เปรียบเทียบทั้ง 3 ความเข้มข้นได้ผลตามตาราง 1

ตาราง 1 ค่า Coefficient of Variation ของ within–bottles และ between–bottles ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร

ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมลต่อลิตร)	C.V. ของ within-bottles	C.V. ของ between-bottles
0.1	0.076-0.283	0.153
0.4	0.179-0.625	0.210
1.0	0.044-0.301	0.087

3.1.2 การทดสอบทางสถิติความเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างขวดและภายในขวดโดยใช้ ANOVA

การประเมินผลการวิเคราะห์โดยวิธี ANOVA นั้น จะต้องผ่านการทดสอบเงื่อนไข 2 ข้อได้แก่

1. ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งสามารถทดสอบโดยวิธี Lilliefors test (ตาราง A-10, B-10 และ C-10) ผลการวิเคราะห์ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้น ได้ผลดังตาราง 2

ตาราง 2 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(โมลต่อลิตร)	ค่า Dmax	ค่าวิกฤต
0.1	0.0709	0.161
0.4	0.1038	0.161
1.0	0.1086	0.161

2. การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวนโดยใช้ Levene's test (ตาราง A-11-3, B-11-3 และ C-11-3) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้นได้ผลดังตาราง 3

ตาราง 3 ผลการทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน

ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์(โมลต่อลิตร)	F experimental	F critical
0.1	1.039	2.39
0.4	1.350	2.39
1.0	1.514	2.39

จากตาราง 2 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะได้ค่า Dmax น้อยกว่าค่าวิกฤต และจากตาราง 3 จะเห็นว่าค่า F experimental น้อยกว่า F critical แสดงว่าข้อมูลมีความเท่ากันของค่าแปรปรวน

เมื่อผ่านการทดสอบเงื่อนไขการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้มาพิสูจน์ความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยสถิติทดสอบ ANOVA (ตาราง A-3-3, B-3-3 และ C-3-3) พารามิเตอร์ทางสถิติของสารแต่ละความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จาก ANOVA แสดงตามตาราง 4

ตาราง 4 พารามิเตอร์ทางสถิติจาก ANOVA ในการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวด

ความเข้มข้นของ NaOH (โมลต่อลิตร)	SS_c	SS_w	SS_t	MS between groups	MS within groups	F experimental	F critical
0.1	6.17E-07	8.18E-07	1.43E-06	6.85E-08	4.08E-08	1.677	2.39
0.4	2.48E-05	7.08E-05	9.56E-05	2.76E-06	3.54E-06	0.7808	2.39
1.0	2.08E-05	6.76E-05	8.85E-05	2.31E-06	3.38E-06	0.6856	2.39

เมื่อ SS_c = Sum of squares between groups

SS_w = Sum of squares within groups

SS_t = Total sum squares

MS = Mean squares

จากตาราง 4 พบว่าค่าของ F experimental น้อยกว่า F critical แสดงว่าสารมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

3.2 การศึกษาความมีเสถียรภาพ (STABILITY STUDY)

3.2.1 การศึกษาความมีเสถียรภาพระยะสั้น (Shot – term stability)

3.2.1.1 การศึกษาเสถียรภาพระยะสั้นโดยสถิติทดสอบ t-test (ตารางA-5,B-5 และ C-5)ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทั้ง 3 ความเข้มข้น

ตาราง 5 ผลการศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้นโดยใช้ t-test

NaOH (โมลต่อลิตร)	สัปดาห์ที่ 1		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 3		สัปดาห์ที่ 4		สัปดาห์ที่ 5	
	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.
0.1	-0.645**	$t_{0.05,33}$=2.03	0.006**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.825**	$t_{0.05,33}$=2.03	0.665**	$t_{0.05,33}$=2.03	0.202**	$t_{0.05,33}$=2.03
0.4	-0.669**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.576**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.519**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.534**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.661**	$t_{0.05,33}$=2.03
1.0	0.409**	$t_{0.05,33}$=2.03	0.456**	$t_{0.05,33}$=2.03	1.373**	$t_{0.05,33}$=2.03	1.094**	$t_{0.05,33}$=2.03	1.440*	$t_{0.05,22}$=2.08

* $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ จะใช้สูตร $t = \dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2}}$ จะมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาอิสระ V

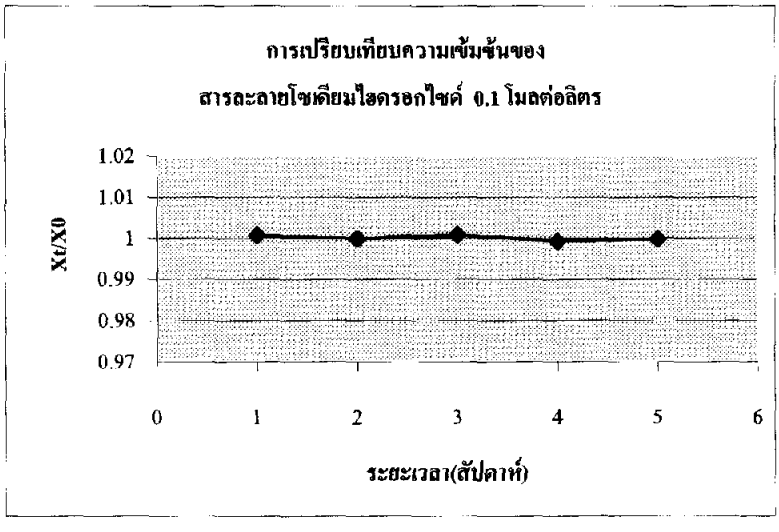
** $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ จะใช้สูตร $t = \dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S_p\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$ จะมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาอิสระ n_1+n_2-2

จากตาราง 5 แสดงให้เห็นว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้น 0.1,0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตรมีความเสถียรภาพระยะสั้น โดยมีค่า t critical (t crit.) มากกว่า t experimental (t exp.)

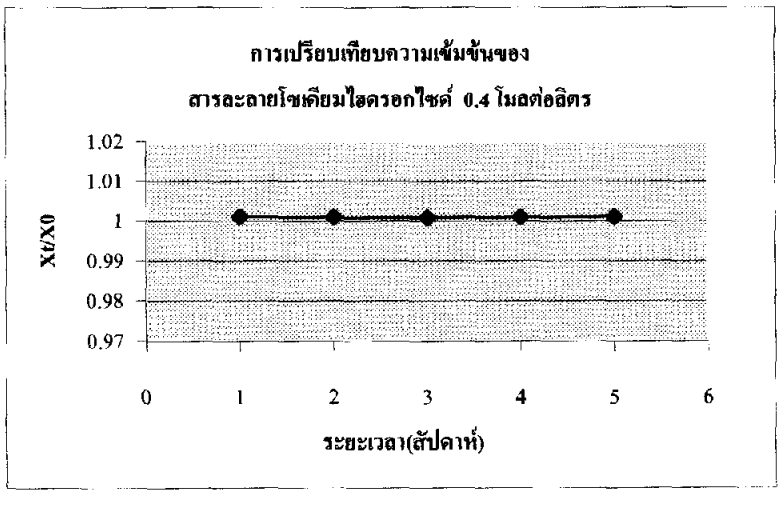
3.2.1.2 การศึกษาเสถียรภาพระยะสั้นโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นเริ่มต้น

ผลการศึกษาเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายในช่วงเวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้น (ตาราง A-6 , B-6 และ C-6) แสดงได้ดังกราฟในรูป S-1, S-2 และ S-3 ตามลำดับ

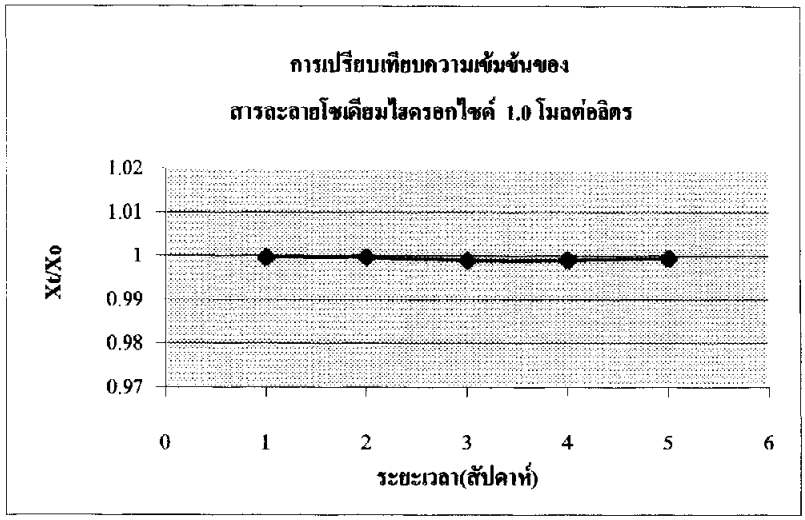
กราฟรูป S-1 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร เริ่มต้น



กราฟรูป S-2 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร เริ่มต้น



กราฟรูป S-3 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร เริ่มต้น



3.2.2 การศึกษาความมีเสถียรภาพระยะยาว (Long – term stability)

3.2.2.1 การศึกษาเสถียรภาพระยะยาวโดยสถิติทดสอบ t-test (ตาราง A-8, B-8 และ C-8) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทั้ง 3 ความเข้มข้นแสดงดังตาราง 6

ตาราง 6 ผลการศึกษาความเสถียรภาพระยะยาวโดยใช้ t-test

NaOH (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 1		เดือนที่ 2		เดือนที่ 3		เดือนที่ 4		เดือนที่ 5	
	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.	t exp.	t crit.
0.1	0.202**	$t_{0.05,33}$=2.03	0.947**	$t_{0.05,33}$=2.075	5.058*	$t_{0.05,33}$=2.03	4.650**	$t_{0.05,33}$=2.03	9.840**	$t_{0.05,33}$=2.03
0.4	-0.661**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.723**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.611**	$t_{0.05,33}$=2.03	-1.347**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.356**	$t_{0.05,33}$=2.03
1.0	1.440*	$t_{0.05,33}$=2.08	-0.897**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.923**	$t_{0.05,33}$=2.03	-0.675**	$t_{0.05,33}$=2.03	0.865**	$t_{0.05,33}$=2.03

* $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ จะใช้สูตร $t = \dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{S_1^2/n_1 + S_2^2/n_2}}$ จะมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาอิสระ V

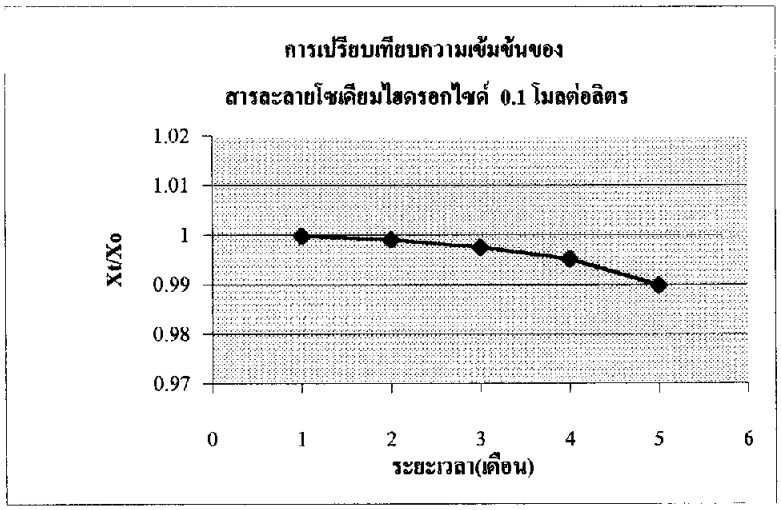
** $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ จะใช้สูตร $t = \dfrac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{S_p\sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$ จะมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาอิสระ n_1+n_2-2

จากตาราง 6 แสดงให้เห็นว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร มีความเสถียรภาพระยะยาว โดยดูจากค่า t experimental (t exp.) ซึ่งน้อยกว่า t critical (t crit.) ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในเดือนที่ 1 และ 2 มีความเสถียรภาพทางสถิติ หลังจากเดือนที่ 2 จากตารางพบว่าค่า t cxp. มากกว่า t crit. แสดงว่าไม่มีความเสถียรภาพทางสถิติ

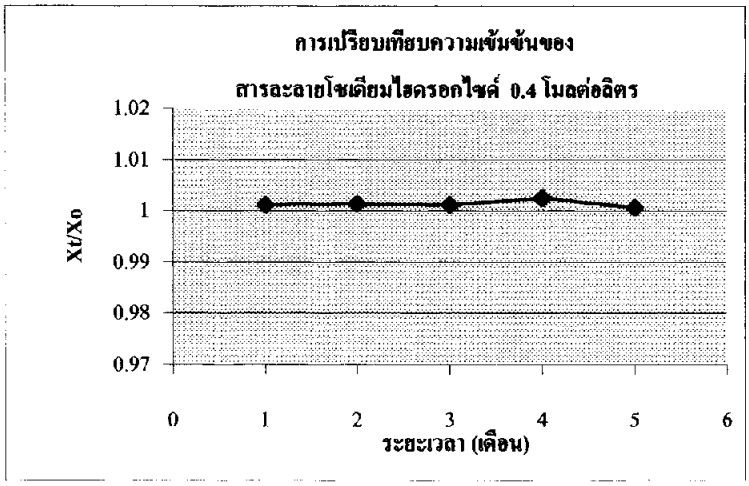
3.2.2.2 การศึกษาเสถียรภาพระยะยาวโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงเวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้น

ผลการศึกษาเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือนโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายในช่วงเวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้น (ตาราง A-9, B-9 และ C-9) แสดงได้ดังกราฟในรูป S-4, S-5 และ S-6 ตามลำดับ

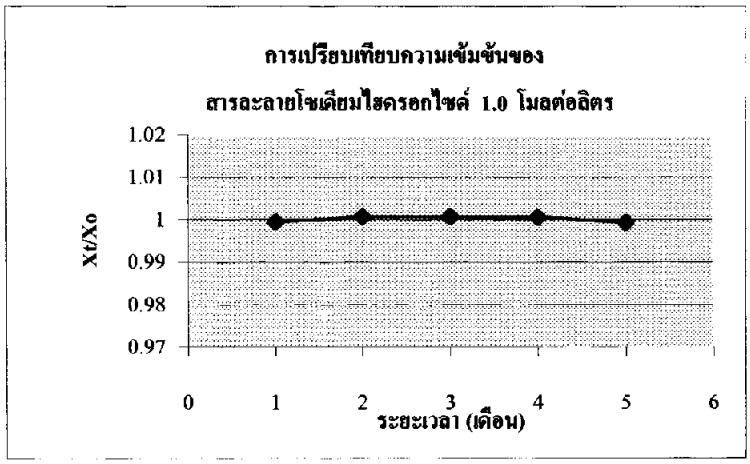
กราฟรูป S-4 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือนกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร เริ่มต้น



กราฟรูป S-5 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือนกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร เริ่มต้น



กราฟรูป S-6 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 เดือนกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร เริ่มต้น



บทที่ 4
วิจารณ์ผล

ในการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้เตรียมเป็นสารที่สามารถดูดความชื้นได้ดี ดังนั้นเวลาชั่งสาร ควรชั่งด้วยความรวดเร็ว และควรตรวจดูว่าสารที่ใช้เตรียม อยู่ในภาชนะที่ปิดสนิทหรือไม่ก่อนการชั่ง ทั้งนี้เป็นการป้องกันความคลาดเคลื่อนในการเตรียมตัวอย่าง เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของตัวอย่างอยู่ในช่วงที่กำหนด และก่อนการหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในแต่ละครั้ง ควรมีการเขย่าขวดให้สารละลายเข้ากันดีเสียก่อน เพราะเมื่อตั้งสารทิ้งไว้ จะมีการระเหยของสารภายในขวดและมีการดูดซึมสารที่ผิวของภาชนะ การเขย่าขวดก่อนการใช้จะช่วยลดผลกระทบดังกล่าวต่อความเข้มข้นของสาร สำหรับภาชนะที่ใส่สารละลายตัวอย่าง ควรปิดสนิท และเก็บไว้ให้พ้นจากความร้อนและแสงแดด

นอกจากนี้แล้วการถ่ายโอนข้อมูล ควรจะต้องมีความระมัดระวังและจัดทำให้เป็นระบบสามารถตรวจสอบได้ง่ายและรวดเร็ว เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลผิด

สำหรับการทดสอบความเป็นเนื้อเดียวกันของสารโดยวิธีการคำนวณค่า Coefficient of Variation (C.V.) พบว่าค่าของ C.V. ภายในขวดและระหว่างขวด ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร อยู่ในช่วงที่ต่ำมาก คือน้อยกว่า 1 โดยทั่วไปค่า C.V. ไม่ควรเกิน $\pm$ ร้อยละ10^2 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างมีการเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ยน้อย นั่นคือค่าความแปรปรวนภายในขวดและระหว่างขวด ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนการคำนวณความเป็นเนื้อเดียวกันของสารโดยวิธีทางสถิติ ANOVA นั้น มีเงื่อนไขว่าข้อมูลจะต้องมีการแจกแจงแบบปกติและมีความเท่ากันของค่าแปรปรวน ซึ่งจากการคำนวณโดยวิธี Lilliefors test ค่า D max ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้นน้อยกว่าค่าวิกฤต โดยดูได้จากตาราง Lilliefors(ตาราง D-5) เมื่อ n = 30 ที่ระดับความเชื่อมั่น α = 0.05 จะได้ค่าวิกฤต = 0.161 แสดงว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีการแจกแจงแบบปกติทั้ง 3 ระดับ ส่วนการทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวนโดยใช้ Levene's test พบว่าค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีค่า F experimental น้อยกว่า F critical แสดงว่าข้อมูลมีความเท่ากันของค่าแปรปรวน

เมื่อข้อมูลความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทั้ง 3 ความเข้มข้นผ่านเงื่อนไขการทดสอบแล้ว นำมาคำนวณทางสถิติโดย ANOVA พบว่าค่า F critical ที่แสดงไว้ในตาราง 4 เป็นค่าที่ได้จาก $\alpha = 0.05$, degree of freedom between groups = 9 และ degree of freedom within groups = 20 ($F_{0.05,9,20} = 2.39$)ซึ่งพบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 ,0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร แสดงค่า F experimental น้อยกว่าค่า F critical สามารถสรุปได้ว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวด ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ หรือที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากการทดสอบทางสถิติโดย ANOVA

การศึกษาเสถียรภาพระยะสั้นโดยวิธีทดสอบทางสถิติ t-test พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ระดับความเข้มข้น 0.1,0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตรมีความเสถียรภาพระยะสั้น โดยมีค่า t critical ที่ $\alpha = 0.05$ มากกว่า t experimental สามารถสรุปได้ว่า ในระยะเวลา 5 สัปดาห์ ตัวอย่างมีความคงสภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ส่วนการศึกษาเสถียรภาพระยะสั้นโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์กับความเข้มข้นเริ่มต้นจากกราฟรูป S-1, S-2 และ S-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นที่เวลาต่างๆต่อความเข้มข้นเริ่มต้น(X_t/X_o) กับระยะเวลา (สัปดาห์) พบว่ามีค่าประมาณ 1 แสดงว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร มีความเสถียรภาพระยะสั้นของสารในระยะเวลา 5 สัปดาห์

การศึกษาเสถียรภาพระยะยาวโดยสถิติทดสอบ t-test พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ $\alpha = 0.05$ ระดับความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร มีความเสถียรภาพระยะยาว โดยดูจากค่า t experimental ซึ่งน้อยกว่า t critical ส่วนที่ระดับความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ในเดือนที่ 1 และ 2 มีค่า t experimental น้อยกว่า t critical แสดงว่ามีความเสถียรภาพอยู่ แต่หลังจากเดือนที่ 2 แล้ว จากตาราง 6 พบว่าค่า t experimental มากกว่า t critical สรุปได้ว่าหลังจากเดือนที่ 2 แล้ว สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ $\alpha = 0.05$ ระดับความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรนั้นไม่มีความเสถียรภาพทางสถิติ สำหรับการศึกษาเสถียรภาพระยะยาวโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในช่วงเวลาต่างๆกับความเข้มข้นเริ่มต้น จากกราฟรูป S-5 และ S-6 พบว่าที่ความเข้มข้นของ 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร ค่าความเข้มข้นที่เวลาต่างๆต่อความเข้มข้นเริ่มต้น(X_t/X_o) กับระยะเวลา (เดือน) มีค่าประมาณ 1 แสดงว่ามีความเสถียรภาพระยะยาวของสารในระยะเวลา 5 เดือน สำหรับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร จากกราฟที่ S-4 พบว่าหลังจากเดือนที่ 2 ความเข้มข้นของสารละลายที่ระยะเวลาต่างๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นมีแนวโน้มลดลง แสดงว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร สามารถคงสภาพได้ในระยะเวลา 2 เดือน หลังจากนั้นความเสถียรภาพของสารจะเริ่มลดลง

จากการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธีการคำนวณค่า Coefficient of Variation (C.V.)และวิธี ANOVA พบว่าผลการศึกษาเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่การคำนวณค่า C.V. จะเป็นวิธีการคำนวณแบบกว้างๆ ส่วนการคำนวณโดยวิธี ANOVA จะเป็นวิธีการคำนวณอย่างละเอียด สำหรับการศึกษาความเสถียรภาพโดยสถิติทดสอบ t-test และการหาอัตราส่วนของความเข้มข้นในช่วงเวลาต่างๆต่อความเข้มข้นเริ่มต้น กับระยะเวลา ก็เช่นเดียวกัน การศึกษาโดยใช้สถิติทดสอบ t-test จะเป็นการวิเคราะห์ค่าความเสถียรภาพของสารอย่างละเอียด จึงได้ผลการศึกษาที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือมากกว่า การหาอัตราส่วนของความเข้มข้นในช่วงเวลาต่างๆต่อความเข้มข้นเริ่มต้นกับระยะเวลา ซึ่งวิธีหลังนี้จะเป็นวิธีสำหรับการศึกษาเสถียรภาพของสารอย่างง่าย ซึ่งการจะเลือกใช้วิธีไหนขึ้นอยู่กับการนำไปใช้ว่าต้องการความละเอียดและถูกต้องมากเพียงใด

บทที่ 5

สรุปผล

จากการศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร โดยวิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน (Coefficient of Variation : C.V.) และวิธีของ ONE-WAY ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ระหว่างความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวด

จากการศึกษาความมีเสถียรภาพระยะสั้นในระยะเวลา 5 สัปดาห์ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น ส่วนการศึกษาเสถียรภาพระยะยาวในระยะเวลา 5 เดือนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 1.0 โมลต่อลิตร ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพ แต่ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร มีการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพเกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 2 เดือน ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อการนำไปใช้ในการทดสอบความชำนาญระหว่างห้องปฏิบัติการ

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.4 และ1.0 โมลต่อลิตร มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity,within-bottles and between-bottles) และ ความเสถียรภาพ (Stability, shot-term) ทางสถิติสามารถใช้ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบความชำนาญระหว่างห้องปฏิบัติการได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณส่องแสง เลี่ยวชวลิต ผู้อำนวยการกองเคมี คุณจันทร์เพ็ญ ใจธีรภาพกุล หัวหน้ากลุ่มงานอินทรีย์เคมีวิเคราะห์ คุณรัชดา เหมปฐวี และผู้ร่วมงาน กลุ่มงานอินทรีย์เคมีวิเคราะห์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการดำเนินงาน ขอขอบคุณ คุณศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข และคุณกานดา โกมลวัฒนชัย ที่ช่วยให้คำอธิบาย เกี่ยวกับเรื่องสถิติ

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณผู้ร่วมงานในกองเคมีทุกท่านที่ช่วยให้กำลังใจ ทำให้งานชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. กัลยา วานิชย์บัญชา. **การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2544.

2. America Public Health Association. APHA, **Standard methods for the examination of water and waste water**. (part 1020B, 1030C, 3020B) 20th edition, Washington. Dc. 1998. p. 1-4 to 1-27

3. American Society for Testing and Materials. **Standard practice for preparation, standardization and storage of standard and reagent solutions for chemical analysis.** In Annual book of ASTM standard: General products, chemical specialties and end use product. Washington. DC.: ASTM E200, 1997. P.343-344.

4. International Organization for Standardization. ISO Guide 30: **Terms and definitions used in connection with reference material**. Geneva: International Organization for Standardization, 1992.

5. Miller, JC. And Miller, JN. **Statistics and chemometrics for analytical chemistry**. 4th ed. London: Pearson Education. 2000. p. 44-48, 58-64.

ภาคผนวก

ตาราง A-1 ตารางข้อมูลแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ย (โมลต่อลิตร)
1	0.09983	0.10008	0.09994	0.099950
2	0.09993	0.10029	0.09987	0.100030
3	0.09998	0.10003	0.10013	0.100047
4	0.10009	0.0998	0.09996	0.099950
5	0.09986	0.10025	0.0999	0.100003
6	0.09973	0.09969	0.10017	0.099863
7	0.09956	0.09979	0.10001	0.099787
8	0.10032	0.10047	0.09992	0.100237
9	0.09962	0.0996	0.09985	0.099690
10	0.10021	0.10004	0.09978	0.100010

ตาราง A-2 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดย coefficient of variation (C.V.)

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	SD ภายในขวด	C.V.ภายในขวด
1	0.09983	0.10008	0.09994	0.09995	0.000125	0.125362
2	0.09993	0.10029	0.09987	0.10003	0.000227	0.227088
3	0.09998	0.10003	0.10013	0.10005	0.000076	0.076341
4	0.10009	0.0998	0.09996	0.09995	0.000145	0.145331
5	0.09986	0.10025	0.0999	0.10000	0.000215	0.214547
6	0.09973	0.09969	0.10017	0.09986	0.000266	0.266698
7	0.09956	0.09979	0.10001	0.09979	0.000225	0.225500
8	0.10032	0.10047	0.09992	0.10024	0.000284	0.283641
9	0.09962	0.0996	0.09985	0.09969	0.000139	0.139356
10	0.10021	0.10004	0.09978	0.10001	0.000217	0.216542
	ค่าเฉลี่ยระหว่างขวด (โมลต่อลิตร)			0.09996		
	SD ระหว่างขวด			0.000151808		
	C.V. ระหว่างขวด			0.151872932		

ตาราง A-3 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ผลรวม 3 ครั้ง (T_i)	T_i^2	T_i^2/n	A^2 (ครั้งที่1)^2	B^2 (ครั้งที่2)^2	C^2 (ครั้งที่3)^2	$A^2+B^2+C^2$
1	0.09983	0.10008	0.09994	0.29985	0.08991	0.02997	0.00997	0.01002	0.00999	0.02997
2	0.09993	0.10029	0.09987	0.30009	0.09005	0.03002	0.00999	0.01006	0.00997	0.03002
3	0.09998	0.10003	0.10013	0.30014	0.09008	0.03003	0.01000	0.01001	0.01003	0.03003
4	0.10009	0.0998	0.09996	0.29985	0.08991	0.02997	0.01002	0.00996	0.00999	0.02997
5	0.09986	0.10025	0.0999	0.30001	0.09001	0.03000	0.00997	0.01005	0.00998	0.03000
6	0.09973	0.09969	0.10017	0.29959	0.08975	0.02992	0.00995	0.00994	0.01003	0.02992
7	0.09956	0.09979	0.10001	0.29936	0.08962	0.02987	0.00991	0.00996	0.01000	0.02987
8	0.10032	0.10047	0.09992	0.30071	0.09043	0.03014	0.01006	0.01009	0.00998	0.03014
9	0.09962	0.0996	0.09985	0.29907	0.08944	0.02981	0.00992	0.00992	0.00997	0.02981
10	0.10021	0.10004	0.09978	0.30003	0.09002	0.03001	0.01004	0.01001	0.00996	0.03001

ΣT_i = 2.9987 ΣT_i^2 = 0.89922202 ΣX_{ij}^2 = 0.29974149

$(\Sigma T_i)^2$ = 8.99220169 $\Sigma T_i^2/n$ = 0.299740673 ΣX_{ij}^2 - CM = 1.4349E-06

$(\Sigma T_i)^2/n = CM$ = 0.299740056

ตาราง A-3-1 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร (ต่อ)

Sum of Square for Total	SST=ΣX_{ij}^2-CM	1.43487E-06	
Sum of Square for Treatment	SSTrt=$\Sigma T_i^2/n$ - CM	6.17133E-07	
Sum of Square for Error	SSE=SST-SSTrt	8.17733E-07	
Mean Square for Treatment	MSTrt=SSTrt/(k-1)	6.85704E-08	k=10
Mean Square for Error	MSE=SSE/(n-k)	4.08867E-08	n=30
	F=MSTrt/MSE	**1.6770839**	$\mathbf{F_{0.05,9,20} = 2.39}$

ตาราง A-3-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร

source of variation	df	SS	MS=SS/df	F
between groups	9	6.17133E-07	6.9E-08	**1.6770839**
within groups	20	8.17733E-07	4.1E-08	$\mathbf{F_{0.05,9,20}=2.39}$
total	29	1.43487E-06		

ตาราง A-4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์

ตัวอย่างที่	วันที่1 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 1 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 2 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 3 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 4 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 5 (โมลต่อลิตร)
1	จากข้อมูล	0.10019	0.09982	0.09994	0.09984	0.09987
2	homogeneity	0.09971	0.10012	0.10007	0.09992	0.1001
3		0.10021	0.09992	0.10000	0.09986	0.09997
4		0.10014	0.09989	0.09993	0.09973	0.09983
5		0.09988	0.10003	0.10027	0.10009	0.09991
ค่าเฉลี่ย	0.09995667	0.100026	0.099956	0.100042	0.099888	0.099936

ตาราง A-5 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์

	วันที่1	อาทิตย์ที่ 1	อาทิตย์ที่ 2	อาทิตย์ที่ 3	อาทิตย์ที่ 4	อาทิตย์ที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.09995667	0.100026	0.099956	0.100042	0.099888	0.099936
SD	0.00022244	0.000220749	0.00011887	0.000139176	0.000132174	0.000105262
SD^2	4.9478E-08	4.87301E-08	1.41301E-08	1.937E-08	1.747E-08	1.10801E-08
จำนวนครั้ง (n)	30	5	5	5	5	5
ทดสอบ F-test		$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$
t		-0.6458	0.0065	-0.8252	0.6657	0.202
องศาอิสระ		$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$
$t_{0.95,n1+n2-2}, t_{0.95,v}$		$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$

ตาราง A-6 ศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้นโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรในช่วงเวลา 5 สัปดาห์ กับความเข้มข้นเริ่มต้น

	วันที่1	อาทิตย์ที่ 1	อาทิตย์ที่ 2	อาทิตย์ที่ 3	อาทิตย์ที่ 4	อาทิตย์ที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.09995667	0.100026	0.099956	0.100042	0.099888	0.099936
X_t/X_0		1.000693631	0.999993327	1.0008537	0.999313032	0.99979324

ตาราง A-7 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน

ตัวอย่างที่	วันที่1 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 1 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 2 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 3 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 4 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 5 (โมลต่อลิตร)
1	จากข้อมูล	0.09987	0.09972	0.0996	0.09958	0.09897
2	homogeneity	0.1001	0.09998	0.09977	0.09969	0.09902
3		0.09997	0.09982	0.09969	0.09943	0.09883
4		0.09983	0.0999	0.09972	0.09934	0.09876
5		0.09991	0.09988	0.09974	0.09932	0.09911
ค่าเฉลี่ย	0.09995667	0.099936	0.09986	0.099704	0.099472	0.098938

ตาราง A-8 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน

	วันที่1	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.09995667	0.099936	0.09986	0.099704	0.099472	0.098938
SD	0.00022244	0.000105262	9.69536E-06	6.50385E-05	0.00015928	0.000142021
SD^2	4.9478E-08	1.10801E-08	9.4E-11	4.23001E-09	2.53701E-08	2.017E-08
n	30	5	5	5	5	5
ทดสอบ F-test		$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$
t		0.202	0.947	5.058	4.6501	9.8404
องศาอิสระ		$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$v = 23$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$
$t_{0.95,n1+n2-2}$,$t_{0.95,v}$		$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,23}$=2.09	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03

ตาราง A-9 การศึกษาความเสถียรภาพระยะยาวโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรในช่วงเวลา 5 เดือน กับความเข้มข้นเริ่มต้น

	วันที่1	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.09995667	0.099936	0.09986	0.099704	0.099472	0.098938
X_t/X_0		0.99979324	0.999032911	0.997472235	0.995151229	0.989808914

ตาราง A-10 การคำนวณการแจกแจงแบบปกติของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดย วิธี Lilliefors Test

ข้อมูล	x_i	$Z = x_i - \bar{x} / s$	F(x)	S(x)	|F(x) - S(x)|
1	0.09956	-1.78327751	0.0526	0.0333	0.0193
2	0.0996	-1.60345121	0.0548	0.0666	0.0118
3	0.09962	-1.51353805	0.0681	0.1	0.0319
4	0.09969	-1.19884202	0.1151	0.1333	0.0182
5	0.09973	-1.01901572	0.1635	0.1666	0.0031
6	0.09978	-0.79423284	0.2709	0.2	**0.0709**
7	0.09979	-0.74927626	0.2578	0.2333	0.0245
8	0.0998	-0.70431969	0.242	0.2666	0.0246
9	0.09983	-0.56944996	0.3336	0.3	0.0336
10	0.09985	-0.47953681	0.3745	0.3333	0.0412
11	0.09986	-0.43458023	0.3557	0.3666	0.0109
12	0.09987	-0.38962366	0.4168	0.4	0.0168
13	0.0999	-0.25475393	0.4404	0.4333	0.0071
14	0.09992	-0.16484078	0.484	0.4666	0.0174
15	0.09993	-0.1198842	0.4681	0.5	0.0319
16	0.09994	-0.07492763	0.5279	0.5333	0.0054
17	0.09996	0.014985525	0.504	0.5666	0.0626
18	0.09998	0.104898677	0.5398	0.6	0.0602
19	0.10001	0.239768405	0.5948	0.6333	0.0385
20	0.10003	0.329681556	0.6293	0.6666	0.0373
21	0.10004	0.374638132	0.6443	0.7	0.0557
22	0.10008	0.554464436	0.7088	0.7333	0.0245
23	0.10009	0.599421012	0.7257	0.7666	0.0409
24	0.10013	0.779247315	0.7823	0.8	0.0177
25	0.10017	0.959073619	0.8315	0.8333	0.0018
26	0.10021	1.138899922	0.8729	0.8666	0.0063
27	0.10025	1.318726225	0.9066	0.9	0.0066
28	0.10029	1.498552529	0.9332	0.9333	1E-04
29	0.10032	1.633422257	0.9484	0.9666	0.0182
30	0.10047	2.307770895	0.9893	1	0.0107

ค่าเฉลี่ย($\bar{x}$) = 0.09995667 , s = 0.000222437

D = max F(x)-S(x) = **0.0709** จากตาราง Lilliefors เมื่อ n = 30 ,α = 0.05 จะได้ค่าวิกฤติ = **0.161**

D = 0.0709 น้อยกว่า 0.161 แสดงว่าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง A-11 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test

ขวดที่	ครั้งที่ 1-ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2-ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3-ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	ผลรวม 3 ครั้ง (T_i)	T_i^2	T_i^2/n	A^2 (ครั้งที่ 1-ค่าเฉลี่ยภายในขวด)^2	B^2 (ครั้งที่ 2-ค่าเฉลี่ยภายในขวด)^2	C^2 (ครั้งที่ 3-ค่าเฉลี่ยภายในขวด)^2	$A^2+B^2+C^2$
1	0.000120	0.000130	0.000010	0.00026	6.76E-08	2.25E-08	1.44E-08	1.69E-08	1.00E-10	3.14E-08
2	0.000100	0.000260	0.000160	0.00052	2.70E-07	9.01E-08	1.00E-08	6.76E-08	2.56E-08	1.03E-07
3	0.000067	0.000017	0.000083	0.000167	2.79E-08	9.30E-09	4.49E-09	2.89E-10	6.89E-09	1.17E-08
4	0.000140	0.000150	0.000010	0.0003	9.00E-08	3.00E-08	1.96E-08	2.25E-08	1.00E-10	4.22E-08
5	0.000143	0.000247	0.000103	0.000493	2.43E-07	8.10E-08	2.04E-08	6.10E-08	1.06E-08	9.21E-08
6	0.000133	0.000173	0.000307	0.000613	3.76E-07	1.25E-07	1.77E-08	2.99E-08	9.42E-08	1.42E-07
7	0.000227	0.000003	0.000223	0.000453	2.05E-07	6.84E-08	5.15E-08	9.00E-12	4.97E-08	1.01E-07
8	0.000083	0.000233	0.000317	0.000633	4.01E-07	1.34E-07	6.89E-09	5.43E-08	1.00E-07	1.62E-07
9	0.000070	0.000090	0.000160	0.00032	1.02E-07	3.41E-08	4.90E-09	8.10E-09	2.56E-08	3.86E-08
10	0.000200	0.000030	0.000230	0.00046	2.12E-07	7.05E-08	4.00E-08	9.00E-10	5.29E-08	9.38E-08

ΣT_i = 0.004219 ΣT_i^2 = 1.995E-06 ΣX_{ij}^2 = 8.18E-07

$(\Sigma T_i)^2$ = 1.78E-05 $\Sigma T_i^2/n$ = 6.649E-07 ΣX_{ij}^2-CM = 2.24E-07

$(\Sigma T_i)^2/n$ =CM = 5.93332E-07

ตาราง A-11-1 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตรโดยวิธี Levene's test (ต่อ)

Sum of Square for Total	SST=ΣX_{ij}^2-CM	2.24E-07	
Sum of Square for Treatment	SSTrt=ΣT_i^2/n-CM	7.15363E-08	
Sum of Square for Error	SSE=SST-SSTrt	1.52867E-07	
Mean Square for Treatment	MSTrt=SSTrt/(k-1)	7.94848E-09	k=10
Mean Square for Error	MSE=SSE/(n-k)	7.64333E-09	n=30
	F=MSTrt/MSE	**1.039922954**	$\mathbf{F_{0.05,9,20} = 2.39}$

ตาราง A-11-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความเท่ากันของความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test

source of variation	df	SS	MS=SS/df	F
between groups	9	7.15363E-08	7.94848E-09	**1.03992295**
within groups	20	1.52867E-07	7.64333E-09	$\mathbf{F_{0.05,9,20}=2.39}$
total	29	9.56892E-05		

ตาราง B-1 ตารางข้อมูลแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ย (โมลต่อลิตร)
1	0.45773	0.45467	0.45584	0.456080
2	0.45772	0.4526	0.45667	0.455663
3	0.45318	0.45819	0.45743	0.456267
4	0.45516	0.45447	0.45694	0.455523
5	0.4558	0.45601	0.45731	0.456373
6	0.45546	0.45856	0.45844	0.457487
7	0.4578	0.45465	0.45553	0.455993
8	0.45778	0.45209	0.45474	0.454870
9	0.45845	0.45651	0.45801	0.457657
10	0.45877	0.45771	0.45653	0.457670

ตาราง B-2 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดย coefficient of variation (C.V.)

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	SD ภายในขวด	C.V.ภายในขวด
1	0.45773	0.45467	0.45584	0.45608	0.001544	0.338549
2	0.45772	0.4526	0.45667	0.45566	0.002704	0.593502
3	0.45318	0.45819	0.45743	0.45627	0.002700	0.591761
4	0.45516	0.45447	0.45694	0.45552	0.001274	0.279778
5	0.4558	0.45601	0.45731	0.45637	0.000818	0.179227
6	0.45546	0.45856	0.45844	0.45749	0.001756	0.383873
7	0.4578	0.45465	0.45553	0.45599	0.001625	0.356433
8	0.45778	0.45209	0.45474	0.45487	0.002847	0.625943
9	0.45845	0.45651	0.45801	0.45766	0.001017	0.222245
10	0.45877	0.45771	0.45653	0.45767	0.001121	0.244835
	ค่าเฉลี่ยระหว่างขวด (โมลต่อลิตร)			0.45636		
	SD ระหว่างขวด			0.000961605		
	C.V. ระหว่างขวด			0.210712892		

ตาราง E-3 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ผลรวม 3 ครั้ง (T_i)	T_i^2	T_i^2/n	A^2 (ครั้งที่1)^2	B^2 (ครั้งที่2)^2	C^2 (ครั้งที่3)^2	$A^2+B^2+C^2$
1	0.45773	0.45467	0.45584	1.36824	1.87208	0.62403	0.20952	0.20672	0.20779	0.62403
2	0.45772	0.4526	0.45667	1.36699	1.86866	0.62289	0.20951	0.20485	0.20855	0.62290
3	0.45318	0.45819	0.45743	1.3688	1.87361	0.62454	0.20537	0.20994	0.20924	0.62455
4	0.45516	0.45447	0.45694	1.36657	1.86751	0.62250	0.20717	0.20654	0.20879	0.62251
5	0.4558	0.45601	0.45731	1.36912	1.87449	0.62483	0.20775	0.20795	0.20913	0.62483
6	0.45546	0.45856	0.45844	1.37246	1.88365	0.62788	0.20744	0.21028	0.21017	0.62789
7	0.4578	0.45465	0.45553	1.36798	1.87137	0.62379	0.20958	0.20671	0.20751	0.62380
8	0.45778	0.45209	0.45474	1.36461	1.86216	0.62072	0.20956	0.20439	0.20679	0.62074
9	0.45845	0.45651	0.45801	1.37297	1.88505	0.62835	0.21018	0.20840	0.20977	0.62835
10	0.45877	0.45771	0.45653	1.37301	1.88516	0.62839	0.21047	0.20950	0.20842	0.62839

ΣT_i = 13.69075 ΣT_i^2 = 18.7437382 ΣX_{ij}^2 = 6.24798354

$(\Sigma T_i)^2$ = 187.436635 $\Sigma T_i^2/n$ = 6.24791273 ΣX_{ij}^2-CM = 9.5689E-05

$(\Sigma T_i)^2/n$ =CM = 6.24788785

ตาราง B-3-1 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร (ต่อ)

Sum of Square for Total	SST=$\sum X_{ij}^2$-CM	9.5689E-05	
Sum of Square for Treatment	SSTrt=$\sum T_i^2$/n-CM	2.4882E-05	
Sum of Square for Error	SSE=SST-SSTrt	7.0807E-05	
Mean Square for Treatment	MSTrt=SSTrt/(k-1)	2.7647E-06	k=10
Mean Square for Error	MSE=SSE/(n-k)	3.5404E-06	n=30
	F=MSTrt/MSE	**0.78089757**	**$F_{0.05,9,20}$ = 2.39**

ตาราง B-3-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร

source of variation	df	SS	MS=SS/df	F
between groups	9	2.4882E-05	2.7647E-06	**0.780897566**
within groups	20	7.08073E-05	3.5404E-06	**$F_{0.05,9,10}$=2.39**
total	29	9.56892E-05		

ตาราง B-4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์

ตัวอย่างที่	วันที่1 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 1 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 2 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 3 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 4 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 5 (โมลต่อลิตร)
1	จากข้อมูล	0.45621	0.45756	0.45563	0.45547	0.45749
2	homogeneity	0.45748	0.45633	0.45723	0.45835	0.45683
3		0.45657	0.45601	0.45682	0.45618	0.45736
4		0.45596	0.45632	0.45751	0.45639	0.45752
5		0.45838	0.45798	0.45676	0.45766	0.45536
ค่าเฉลี่ย	0.456358333	0.45692	0.45684	0.45679	0.45681	0.456912

ตาราง B-5 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตรในระยะเวลา 5 สัปดาห์

	วันที่1	อาทิตย์ที่ 1	อาทิตย์ที่ 2	อาทิตย์ที่ 3	อาทิตย์ที่ 4	อาทิตย์ที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.45635833	0.45692	0.45684	0.45679	0.45681	0.456912
SD	0.00181649	0.000999175	0.000871407	0.00071753	0.001168653	0.00091103
SD^2	3.29964E-06	9.98351E-07	7.5935E-07	5.14849E-07	1.36575E-06	8.2997E-07
จำนวนครั้ง (n)	30	5	5	5	5	5
ทดสอบ F-test		$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$
t		-0.669	-0.576	-0.519	-0.534	-0.661
องศาอิสระ		$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$
$t_{0.95,n1-n2-2}, t_{0.95,v}$		$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$

ตาราง B-6 ศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้นโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตรในช่วงเวลา 5 สัปดาห์ กับความเข้มข้นเริ่มต้น

	วันที่1	อาทิตย์ที่ 1	อาทิตย์ที่ 2	อาทิตย์ที่ 3	อาทิตย์ที่ 4	อาทิตย์ที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.45635833	0.45692	0.45684	0.45679	0.45681	0.456912
X_t/X_0		1.001230765	1.001055464	1.000945901	1.000989727	1.00121324

ตาราง B-7 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน

ตัวอย่างที่	วันที่1 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 1 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 2 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 3 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 4 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 5 (โมลต่อลิตร)
1	จากข้อมูล	0.45749	0.45861	0.455678	0.45753	0.45645
2	homogeneity	0.45683	0.45694	0.457492	0.45862	0.45754
3		0.45736	0.45732	0.45618	0.45871	0.45697
4		0.45752	0.45611	0.45674	0.45669	0.45575
5		0.45536	0.45586	0.45827	0.45595	0.45656
ค่าเฉลี่ย	0.456358333	0.456912	0.456968	0.456872	0.4575	0.456654

ตาราง B-8 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน

	วันที่1	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.456358333	0.456912	0.456968	0.456872	0.4575	0.456654
SD	0.001816488	0.000911027	0.001093696	0.001032077	0.001201874	0.00066191
SD^2	3.29963E-06	8.2997E-07	1.19617E-06	1.06518E-06	1.445E-06	4.3813E-07
n	30	5	5	5	5	5
ทดสอบ F-test		$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$
t		-0.661	-0.723	-0.611	-1.347	-0.356
องศาอิสระ		$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$
$t_{0.95,n1+n2-2}, t_{0.95,v}$		$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03

ตาราง B-9 การศึกษาความเสถียรภาพระยะยาวโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตรในช่วงเวลา 5 เดือน กับความเข้มข้นเริ่มต้น

	วันที่1	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.45635833	0.456912	0.456968	0.456872	0.4575	0.456654
X_t/X_0		1.001213235	1.001335946	1.001125585	1.002501696	1.00064789

ตาราง B-10 การคำนวณการแจกแจงแบบปกติของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดยวิธี Lilliefors Test

ข้อมูล	x_i	$Z = x_i - \bar{x} / s$	F(x)	S(x)	| F(x) - S(x) |
1	0.45209	-2.349772557	0.0122	0.0333	0.0211
2	0.4526	-2.069010978	0.0268	0.0666	0.0398
3	0.45318	-1.749713497	0.0495	0.1	0.0505
4	0.45447	-1.039551857	0.1685	0.1333	0.0352
5	0.45465	-0.940459536	0.1949	0.1666	0.0283
6	0.45467	-0.929449278	0.1922	0.2	0.0078
7	0.45474	-0.890913375	0.2389	0.2333	0.0056
8	0.45516	-0.659697957	0.2946	0.2666	0.028
9	0.45546	-0.494544088	0.3783	0.3	0.0783
10	0.45553	-0.456008185	0.3669	0.3333	0.0336
11	0.4558	-0.307369702	0.3859	0.3666	0.0193
12	0.45584	-0.285349186	0.4562	0.4	0.0562
13	0.45601	-0.191761993	0.496	0.4333	0.0627
14	0.45651	0.083494456	0.5319	0.4666	0.0653
15	0.45653	0.094504714	0.5359	0.5	0.0359
16	0.45667	0.17157652	0.5675	0.5333	0.0342
17	0.45694	0.320215003	0.6255	0.5666	0.0589
18	0.45731	0.523904775	0.6985	0.6	0.0985
19	0.45743	0.589966323	0.7224	0.6333	0.0891
20	0.45771	0.744109935	0.7704	0.6666	**0.1038**
21	0.45772	0.749615064	0.7734	0.7	0.0734
22	0.45773	0.755120193	0.7764	0.7333	0.0431
23	0.45778	0.782645838	0.7823	0.7666	0.0157
24	0.4578	0.793656096	0.7852	0.8	0.0148
25	0.45801	0.909263805	0.8186	0.8333	0.0147
26	0.45819	1.008356127	0.8413	0.8666	0.0253
27	0.45844	1.145984351	0.8749	0.9	0.0251
28	0.45845	1.15148948	0.8749	0.9333	0.0584
29	0.45856	1.212045899	0.8869	0.9666	0.0797
30	0.45877	1.327653608	0.9066	1	0.0934

ค่าเฉลี่ย($\bar{x}$) = 0.456358333 , s = 0.001816488

D = max F(x)-S(x) = **0.1038** จากตาราง Lilliefors เมื่อ n = 30 ,α = 0.05 จะได้ค่าวิกฤติ = **0.161**

D = 0.1038 น้อยกว่า 0.161 แสดงว่าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง B-11 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test

ขวดที่	ครั้งที่ 1-ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2-ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3-ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	ผลรวม 3 ครั้ง (T_i)	T_i^2	T_i^2/n	A^2 (ครั้งที่ 1-ค่าเฉลี่ยภายในขวด)^2	B^2 (ครั้งที่ 2-ค่าเฉลี่ยภายในขวด)^2	C^2 (ครั้งที่ 3-ค่าเฉลี่ยภายในขวด)^2	$A^2+B^2+C^2$
1	0.00165	0.00141	0.00024	0.0033	1.09E-05	3.63E-06	1.44E-08	2.72E-06	1.99E-06	5.76E-08
2	0.00206	0.00306	0.00101	0.006127	3.75E-05	1.25E-05	1.00E-08	4.23E-06	9.36E-06	1.02E-06
3	0.00309	0.00192	0.00116	0.006167	3.80E-05	1.27E-05	4.49E-09	9.53E-06	3.69E-06	1.35E-06
4	0.00036	0.00105	0.00142	0.002833	8.03E-06	2.68E-06	1.96E-08	1.32E-07	1.10E-06	2.02E-06
5	0.00057	0.00036	0.00094	0.001873	3.51E-06	1.17E-06	2.04E-08	3.28E-07	1.30E-07	8.84E-07
6	0.00203	0.00107	0.00095	0.004047	1.64E-05	5.46E-06	1.77E-08	4.11E-06	1.14E-06	9.03E-07
7	0.00181	0.00134	0.00046	0.003607	1.30E-05	4.34E-06	5.15E-08	3.27E-06	1.80E-06	2.12E-07
8	0.00291	0.00278	0.00013	0.00582	3.39E-05	1.13E-05	6.89E-09	8.47E-06	7.73E-06	1.69E-08
9	0.00079	0.00115	0.00035	0.002293	5.26E-06	1.75E-06	4.90E-09	6.29E-07	1.32E-06	1.23E-07
10	0.00110	0.00004	0.00114	0.00228	5.20E-06	1.73E-06	4.00E-08	1.21E-06	1.60E-09	1.30E-06

ΣT_i = 0.038347 ΣT_i^2 = 0.00017171 ΣX_{ij}^2 = 7.08E-05

$(\Sigma T_i)^2$ = 0.00147049 $\Sigma T_i^2/n$ = 5.7237E-05 ΣX_{ij}^2-CM = 2.17E-05

$(\Sigma T_i)^2/n$ =CM = 4.9016E-05

ตาราง **B-11-1** การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test (ต่อ)

Sum of Square for Total	SST=ΣX_{ij}^2-CM	2.17E-05	
Sum of Square for Treatment	SSTrt=ΣT_i^2/n-CM	8.2214E-06	
Sum of Square for Error	SSE=SST-SSTrt	1.3526E-05	
Mean Square for Treatment	MSTrt=SSTrt/(k-1)	9.1349E-07	k=10
Mean Square for Error	MSE=SSE/(n-k)	6.7631E-07	n=30
	F=MSTrt/MSE	**1.35069396**	**$F_{0.05,9,20}$ = 2.39**

ตาราง **B-11-2** ตารางสรุปการวิเคราะห์ความเท่ากันของความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test

source of variation	df	SS	MS=SS/df	F
between groups	9	8.2214E-06	9.13485E-07	**1.350693956**
within groups	20	1.3526E-05	6.76308E-07	**$F_{0.05,9,20}$=2.39**
total	29	2.1748E-05		

ตาราง C-1 ตารางข้อมูลแสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ย (โมลต่อลิตร)
1	0.99702	1.00269	0.99942	0.999710
2	0.99951	1.00034	0.99887	0.999573
3	0.99868	1.00261	1.00051	1.000600
4	0.99908	0.99934	0.99995	0.999457
5	1.00169	0.99755	1.00342	1.000887
6	1.00299	1.00114	1.0001	1.001410
7	0.99904	1.0015	0.99946	1.000000
8	1.00134	0.99772	0.99771	0.998923
9	0.99927	0.9983	1.00123	0.999600
10	0.99715	0.99953	0.99896	0.998547

ตาราง C-2 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันภายในขวดและระหว่างขวดของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดย coefficient of variation (C.V.)

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ค่าเฉลี่ยภายในขวด (โมลต่อลิตร)	SD ภายในขวด	C.V.ภายในขวด
1	0.99702	1.00269	0.99942	0.99971	0.002846	0.284693
2	0.99951	1.00034	0.99887	0.99957	0.000737	0.073736
3	0.99868	1.00261	1.00051	1.00060	0.001967	0.196537
4	0.99908	0.99934	0.99995	0.99946	0.000447	0.044682
5	1.00169	0.99755	1.00342	1.00089	0.003016	0.301366
6	1.00299	1.00114	1.0001	1.00141	0.001464	0.146174
7	0.99904	1.0015	0.99946	1.00000	0.001316	0.131590
8	1.00134	0.99772	0.99771	0.99892	0.002093	0.209516
9	0.99927	0.9983	1.00123	0.99960	0.001493	0.149321
10	0.99715	0.99953	0.99896	0.99855	0.001243	0.124448
	ค่าเฉลี่ยระหว่างขวด (โมลต่อลิตร)			0.99987		
	SD ระหว่างขวด			0.0008796		
	C.V. ระหว่างขวด			0.0879715		

ตาราง C-3 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร

ขวดที่	ครั้งที่ 1 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2 (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3 (โมลต่อลิตร)	ผลรวม 3 ครั้ง (T_i)	T_i^2	T_i^2/n	A^2 (ครั้งที่1)^2	B^2 (ครั้งที่2)^2	C^2 (ครั้งที่3)^2	$A^2+B^2+C^2$
1	0.99702	1.00269	0.99942	2.99913	8.99478	2.99826	0.99405	1.00539	0.99884	2.99828
2	0.99951	1.00034	0.99887	2.99872	8.99232	2.99744	0.99902	1.00068	0.99774	2.99744
3	0.99868	1.00261	1.00051	3.0018	9.01080	3.00360	0.99736	1.00523	1.00102	3.00361
4	0.99908	0.99934	0.99995	2.99837	8.99022	2.99674	0.99816	0.99868	0.99990	2.99674
5	1.00169	0.99755	1.00342	3.00266	9.01597	3.00532	1.00338	0.99511	1.00685	3.00534
6	1.00299	1.00114	1.0001	3.00423	9.02540	3.00847	1.00599	1.00228	1.00020	3.00847
7	0.99904	1.0015	0.99946	3.00000	9.00000	3.00000	0.99808	1.00300	0.99892	3.00000
8	1.00134	0.99772	0.99771	2.99677	8.98063	2.99354	1.00268	0.99545	0.99543	2.99355
9	0.99927	0.9983	1.00123	2.9988	8.99280	2.99760	0.99854	0.99660	1.00246	2.99760
10	0.99715	0.99953	0.99896	2.99564	8.97386	2.99129	0.99431	0.99906	0.99792	2.99129

ΣT_i = 29.99612 ΣT_i^2 = 89.9767841 ΣX_{ij}^2 = 29.9923290

$(\Sigma T_i)^2$ = 899.767215 $\Sigma T_i^2/n$ = 29.9922614 ΣX_{ij}^2-CM = 8.8549E-05

$(\Sigma T_i)^2/n$ =CM = 29.9922405

ตาราง C-3-1 การศึกษาความเป็นเนื้อเดียวกันโดยวิธี ANOVA ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร (ต่อ)

Sum of Square for Total	SST=ΣX_{ij}^2-CM	8.85496E-05	
Sum of Square for Treatment	SSTrt=ΣT_i^2/n-CM	2.08793E-05	
Sum of Square for Error	SSE=SST-SSTrt	6.76703E-05	
Mean Square for Treatment	MSTrt=SSTrt/(k-1)	2.31992E-06	k=10
Mean Square for Error	MSE=SSE/(n-k)	3.38352E-06	n=30
	F=MSTrt/MSE	**0.685652611**	$\mathbf{F_{0.05,9,20} = 2.39}$

ตาราง C-3-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร

source of variation	df	SS	MS=SS/df	F
between groups	9	2.08793E-05	2.31992E-06	**0.685652611**
within groups	20	6.76703E-05	3.38352E-06	$\mathbf{F_{0.05,9,20}=2.39}$
total	29	8.85496E-05		

ตาราง C-4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 สัปดาห์

ตัวอย่างที่	วันที่1 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 1 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 2 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 3 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 4 (โมลต่อลิตร)	อาทิตย์ที่ 5 (โมลต่อลิตร)
1	จากข้อมูล	0.99971	0.99969	0.99826	0.9977	0.99884
2	homogeneity	1.00011	1.00014	0.99717	0.99891	0.99946
3		0.99872	1.00002	0.99923	1.00062	0.99879
4		0.99798	0.99847	0.999	0.99753	1.00012
5		1.00116	0.99921	1.00011	1.00008	0.99926
ค่าเฉลี่ย	0.999870667	0.999536	0.999506	0.998754	0.998968	0.999294

ตาราง C-5 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตรในระยะเวลา 5 สัปดาห์

	วันที่1	อาทิตย์ที่ 1	อาทิตย์ที่ 2	อาทิตย์ที่ 3	อาทิตย์ที่ 4	อาทิตย์ที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.99987067	0.999536	0.999506	0.998754	0.998968	0.999294
SD	0.00174741	0.0012333	0.000682078	0.001104414	0.001382451	0.000541091
SD^2	3.0534E-06	1.52103E-06	4.6523E-07	1.21973E-06	1.91117E-06	2.9278E-07
จำนวนครั้ง (n)	30	5	5	5	5	5
ทดสอบ F-test		$\sigma^2_1=\sigma^2_2$	$\sigma^2_1=\sigma^2_2$	$\sigma^2_1=\sigma^2_2$	$\sigma^2_1=\sigma^2_2$	$\sigma^2_1\neq\sigma^2_2$
t		0.409	0.456	1.373	1.094	1.44
องศาอิสระ		$n_1+n_2-2=33$	$n_1+n_2-2=33$	$n_1+n_2-2=33$	$n_1+n_2-2=33$	$v=22$
$t_{0.95,n1+n2-2}$ $t_{0.95,v}$		$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,33}$=2.03	$t_{0.95,22}$=2.09

ตาราง C-6 ศึกษาความเสถียรภาพระยะสั้น โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในช่วงเวลา 5 สัปดาห์ กับความเข้มข้นเริ่มต้น

	วันที่1	อาทิตย์ที่ 1	อาทิตย์ที่ 2	อาทิตย์ที่ 3	อาทิตย์ที่ 4	อาทิตย์ที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.99987067	0.999536	0.999506	0.998754	0.998968	0.999294
X_t/X_0		0.999665287	0.999635283	0.998883186	0.999097213	0.999423255

ตาราง C-7 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน

ตัวอย่างที่	วันที่1 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 1 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 2 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 3 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 4 (โมลต่อลิตร)	เดือนที่ 5 (โมลต่อลิตร)
1	จากข้อมูล	0.99884	0.99951	1.00145	1.0024	0.99991
2	homogeneity	0.99946	1.00209	1.00118	0.99875	0.99992
3		0.99879	0.99974	0.99982	1.00035	0.99771
4		1.00012	1.00103	1.00069	0.99942	0.9995
5		0.99926	1.00062	0.99991	1.00123	0.99883
ค่าเฉลี่ย	0.999870667	0.999294	1.000598	1.00061	1.00043	0.999174

ตาราง C-8 การใช้สถิติทดสอบ t-test ศึกษาความเสถียรภาพของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร ในระยะเวลา 5 เดือน

	วันที่1	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.99987067	0.999294	1.000598	1.00061	1.00043	0.999174
SD	0.00174741	0.000541091	0.0010408	0.000733314	0.0014465	0.00093088
SD^2	3.0534E-06	2.9278E-07	1.0833E-06	5.3775E-07	2.092E-06	8.6653E-07
n	30	5	5	5	5	5
ทดสอบ F-test		$\sigma^2_1 \neq \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$	$\sigma^2_1 = \sigma^2_2$
t		1.44	-0.897	-0.923	-0.675	0.863
องศาอิสระ		$v = 22$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$	$n_1+n_2-2 = 33$
$t_{0.95,n1+n2-2}, t_{0.95,v}$		$t_{0.95,22}=2.09$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$	$t_{0.95,33}=2.03$

ตารางที่ C-9 การศึกษาความเสถียรภาพระยะยาวโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตรในช่วงเวลา 5 เดือน กับความเข้มข้นเริ่มต้น

	วันที่1	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4	เดือนที่ 5
ค่าเฉลี่ย(โมลต่อลิตร)	0.99987067	0.999294	1.000598	1.00061	1.00043	0.999174
X_t/X_0		0.999423255	1.000727424	1.000739426	1.000559402	0.99930324

ตาราง C-10 การคำนวณการแจกแจงแบบปกติของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดยวิธี Lilliefors Test

ข้อมูล	x_i	$Z = x_i - \bar{x} / s$	F(x)	S(x)	$\lvert F(x) - S(x) \rvert$
1	0.99702	-1.6314	0.0582	0.0333	0.0249
2	0.99715	-1.5570	0.0749	0.0666	0.0083
3	0.99755	-1.3281	0.102	0.1	0.002
4	0.99771	-1.2365	0.123	0.1333	0.0103
5	0.99772	-1.2308	0.121	0.1666	0.0456
6	0.9983	-0.8989	0.1841	0.2	0.0159
7	0.99868	-0.6814	0.3015	0.2333	0.0682
8	0.99887	-0.5727	0.3336	0.2666	0.067
9	0.99896	-0.5212	0.3156	0.3	0.0156
10	0.99904	-0.4754	0.3745	0.3333	0.0412
11	0.99908	-0.4525	0.3632	0.3666	0.0034
12	0.99927	-0.3437	0.3974	0.4	0.0026
13	0.99934	-0.3037	0.3821	0.4333	0.0512
14	0.99942	-0.2579	0.4443	0.4666	0.0223
15	0.99946	-0.2350	0.4364	0.5	0.0636
16	0.99951	-0.2064	0.4247	0.5333	**0.1086**
17	0.99953	-0.1950	0.496	0.5666	0.0706
18	0.99995	0.0454	0.5199	0.6	0.0801
19	1.0001	0.1312	0.5517	0.6333	0.0816
20	1.00034	0.2686	0.6064	0.6666	0.0602
21	1.00051	0.3659	0.6443	0.7	0.0557
22	1.00114	0.7264	0.7673	0.7333	0.034
23	1.00123	0.7779	0.7823	0.7666	0.0157
24	1.00134	0.8409	0.7995	0.8	0.0005
25	1.0015	0.9324	0.8238	0.8333	0.0095
26	1.00169	1.0412	0.8508	0.8666	0.0158
27	1.00261	1.5677	0.9418	0.9	0.0418
28	1.00269	1.6134	0.9463	0.9333	0.013
29	1.00299	1.7851	0.9633	0.9666	0.0033
30	1.00342	2.0312	0.9788	1	0.0212

ค่าเฉลี่ย($\bar{x}$) = 0.999870667 , s = 0.001747408

D = max F(x)-S(x) = **0.1086** จากตาราง Lilliefors เมื่อ n = 30 ,α = 0.05 จะได้ค่าวิกฤติ = **0.161**

D = 0.1086 น้อยกว่า 0.161 แสดงว่าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

ตาราง C-11 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test

ขวดที่	ครั้งที่ 1-ค่าเฉลี่ยการไทเทรตในขวด (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 2-ค่าเฉลี่ยการไทเทรตในขวด (โมลต่อลิตร)	ครั้งที่ 3-ค่าเฉลี่ยการไทเทรตในขวด (โมลต่อลิตร)	ผลรวม 3 ครั้ง (T_i)	T_i^2	T_i^2/n	A^2 (ครั้งที่ 1-ค่าเฉลี่ยการไทเทรตในขวด)^2	B^2 (ครั้งที่ 2-ค่าเฉลี่ยการไทเทรตในขวด)^2	C^2 (ครั้งที่ 3-ค่าเฉลี่ยการไทเทรตในขวด)^2	$A^2+B^2+C^2$
1	0.00269	0.00298	0.00029	0.00596	3.55E-05	1.18E-05	7.24E-06	8.88E-06	8.41E-08	1.62E-05
2	0.000063	0.00077	0.0007	0.001533	2.35E-06	7.83E-07	3.97E-09	5.93E-07	4.90E-07	1.09E-06
3	0.00192	0.00201	0.00009	0.00402	1.62E-05	5.39E-06	3.69E-06	4.04E-06	8.10E-09	7.73E-06
4	0.000377	0.00012	0.00049	0.000987	9.74E-07	3.25E-07	1.42E-07	1.44E-08	2.40E-07	3.97E-07
5	0.000803	0.00334	0.00253	0.006673	4.45E-05	1.48E-05	6.45E-07	1.12E-05	6.40E-06	1.82E-05
6	0.00158	0.00027	0.00131	0.00316	9.99E-06	3.33E-06	2.50E-06	7.29E-08	1.72E-06	4.29E-06
7	0.00096	0.0015	0.00054	0.003	9.00E-06	3.00E-06	9.22E-07	2.25E-06	2.92E-07	3.46E-06
8	0.002417	0.0012	0.00121	0.004827	2.33E-05	7.77E-06	5.84E-06	1.44E-06	1.46E-06	8.75E-06
9	0.00033	0.0013	0.00163	0.00326	1.06E-05	3.54E-06	1.09E-07	1.69E-06	2.66E-06	4.46E-06
10	0.001397	0.00098	0.00041	0.002787	7.77E-06	2.59E-06	1.95E-06	9.60E-07	1.68E-07	3.08E-06

$\sum T_i$ = 0.036207 $\sum T_i^2$ = 0.00016021 $\sum X_{ij}^2$ = 6.77E-05

$(\sum T_i)^2$ = 0.00131094 $\sum T_i^2/n$ = 5.3405E-05 $\sum X_{ij}^2$-CM = 2.40E-05

$(\sum T_i)^2/n$ =CM = 4.3698E-05

Statistical Tables[1,5]

ตาราง D-1 F (z), the standard normal cumulative distribution function.

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0..0003	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0006	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009
-3.2	0.0007	0.0007	0.0007	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009
-3.1	0.0010	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011	0.0012	0.0012	0.0013	0.0013
-3.0	0.0013	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0016	0.0016	0.0017	0.0018	0.0018
-2.9	0.0019	0.0019	0.0020	0.0021	0.0021	0.0022	0.0023	0.0023	0.0024	0.0025
-2.8	0.0026	0.0026	0.0027	0.0028	0.0029	0.0030	0.0031	0.0032	0.0033	0.0034
-2.7	0.0035	0.0036	0.0037	0.0038	0.0039	0.0040	0.0041	0.0043	0.0044	0.0045
-2.6	0.0047	0.0048	0.0049	0.0051	0.0052	0.0054	0.0055	0.0057	0.0059	0.0060
-2.5	0.0062	0.0064	0.0066	0.0068	0.0069	0.0071	0.0073	0.0075	0.0078	0.0080
-2.4	0.0082	0.0084	0.0087	0.0089	0.0091	0.0094	0.0096	0.0099	0.0102	0.0104
-2.3	0.0107	0.0110	0.0113	0.0116	0.0119	0.0122	0.0125	0.0129	0.0132	0.0136
-2.2	0.0139	0.0143	0.0146	0.0150	0.0154	0.0158	0.0162	0.0166	0.0170	0.0174
-2.1	0.0179	0.0183	0.0188	0.0192	0.0197	0.0202	0.0207	0.0212	0.0217	0.0222
-2.0	0.0228	0.0233	0.0239	0.0244	0.0250	0.0256	0.0262	0.0268	0.0274	0.0281
-1.9	0.0287	0.0294	0.0301	0.0307	0.0314	0.0322	0.0.329	0.0336	0.0344	0.0351
-1.8	0.0359	0.0367	0.0375	0.0384	0.0392	0.0401	0.0409	0.0418	0.0427	0.0436
-1.7	0.0446	0.0455	0.0465	0.0475	0.0485	0.0495	0.0505	0.0516	0.0526	0.0537
-1.6	0.0548	0.0559	0.0571	0.0582	0.0594	0.0606	0.0618	0.0630	0.0643	0.0655
-1.5	0.0668	0.0681	0.0694	0.0708	0.0721	0.0735	0.0749	0.0764	0.0778	0.0793
-1.4	0.0808	0.0823	0.0838	0.0853	0.0869	0.0885	0.0901	0.0918	0.0934	0.0951
-1.3	0.0968	0.0985	0.1003	0.1020	0.1038	0.1056	0.1075	0.1093	0.1112	0.1131
-1.2	0.1151	0.1170	0.1190	0.1310	0.1230	0.1251	0.1271	0.1292	0.1314	0.1335
-1.1	0.1367	0.1379	0.1402	0.1423	0.1446	0.1469	0.1492	0.1515	0.1539	0.1562
-1.0	0.1587	0.1611	0.1635	0.1660	0.1685	0.1711	0.1736	0.1762	0.1788	0.1814

ตาราง D-1 (ต่อ)

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-0.9	0.1841	0.1867	0.1894	0.1922	0.1949	0.1977	0.2005	0.2033	0.2061	0.2090
-0.8	0.2119	0.2148	0.2177	0.2206	0.2236	0.2266	0.2296	0.2327	0.2358	0.2389
-0.7	0.2420	0.2451	0.2483	0.2514	0.2546	0.2578	0.2611	0.2643	0.2676	0.2709
-0.6	0.2743	0.2776	002810	0.2843	0.2877	0.2912	0.2946	0.2981	0.3015	0.3050
-0.5	0.3085	0.3121	0.3156	0.3192	0.3228	0.3264	0.3300	0.3336	0.3372	0.3409
-0.4	0.3446	0.3483	0.3520	0.3557	0.3594	0.3632	0.3669	0.3707	0.3745	0.3783
-0.3	0.3821	0.3859	0.3897	0.3936	0.3974	0.4013	0.4052	0.4090	0.4129	0.4168
-0.2	0.4207	0.4247	0.4286	0.4325	0.4364	0.4404	0.4443	0.4483	0.4522	0.4562
-0.1	0.4602	0.4641	0.4681	0.4721	0.4761	0.4801	0.4840	0.4880	0.4920	0.4960
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5439	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6644	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6579
0.5	0.6915	0.6950	0.6965	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8239	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	008665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0..9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441

ตาราง D-1 (ต่อ)

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9485	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9717	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	009793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	039967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9974	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

ตาราง C-11-1 การทดสอบความเท่ากันของค่าแปรปรวน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test (ต่อ)

Sum of Square for Total	SST=$\sum X_{ij}^2$-CM	2.40E-05	
Sum of Square for Treatment	SSTrt=$\sum T_i^2$/n-CM	9.707E-06	
Sum of Square for Error	SSE=SST-SSTrt	1.42453E-05	
Mean Square for Treatment	MSTrt=SSTrt/(k-1)	1.07856E-06	k=10
Mean Square for Error	MSE=SSE/(n-k)	7.12264E-07	n=30
	F=MSTrt/MSE	**1.514264109**	$\mathbf{F_{0.05,9,20} = 2.39}$

ตาราง C-11-2 ตารางสรุปการวิเคราะห์ความเท่ากันของความแปรปรวน (ANOVA) ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลต่อลิตร โดยวิธี Levene's test

source of variation	df	SS	MS=SS/df	F
between groups	9	9.707E-06	1.07856E-06	**1.514264109**
within groups	20	1.42453E-05	7.12264E-07	$\mathbf{F_{0.05,9,20}=2.39}$
total	29	2.39523E-05		

ตาราง D-2 The *t*-distribution

Value of t for a confidence interval of	90%	95 %	98%	99%
Critical value $\lvert t \rvert$ for P value of number of degrees of freedom	0.10	0.05	0.02	0.01
1	6.31	12.71	31.82	63.66
2	2.92	4.30	6.96	9.92
3	2.35	3.18	4.54	5.84
4	2.13	2.78	3.75	4.60
5	2.02	2.57	3.36	4.03
6	1.94	2.45	3.14	3.71
7	1.89	2.36	3.00	3.50
8	1.86	2.31	2.90	3.36
9	1.83	2.26	2.82	3.25
10	1.81	2.23	2.76	3.17
12	1.78	2.18	2.68	3.05
14	1.76	2.14	2.62	2.98
16	1.75	2.12	2.58	2.92
18	1.73	2.10	2.55	2.88
20	1.72	2.09	2.53	2.85
30	1.70	2.04	2.46	2.75
50	1.68	2.01	2.40	2.68
∞	1.64	1.96	2.33	2.58

The critical values of $\lvert t \rvert$ are appropriate for a *two* – tailed test. For a *one* – tailed test the value is taken from the column for *twice* the desired P – value, e.g. for a one – tailed test, $P = 0.05$, 5 degrees of freedom, the critical value is read from the $P = 0.10$ column and is equal to 2.02.

ตาราง D-3 Critical values of F for a one – tailed test ($P = 0.05$)

V_2	V_1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45
3	10.13	9.552	9.277	9.117	9.013	8.941	8.887	8.845	8.812	8.786	8.745	8.703	8.660
4	7.709	6.944	6.591	6.388	6.256	6.163	6.094	6.041	5.999	5.964	5.912	5.858	5.803
5	6.608	5.786	5.409	5.192	5.050	4.950	4.876	4.818	4.772	4.735	4.678	4.619	4.558
6	5.987	5.143	4.757	4.534	4.387	4.284	4.207	4.147	4.099	4.060	4.000	3.938	3.874
7	5.591	4.737	4.347	4.120	3.972	3.866	3.787	3.726	3.677	3.637	3.575	3.511	3.445
8	5.318	4.459	4.066	3.838	3.687	3.581	3.500	3.438	3.388	3.347	3.284	3.218	3.150
9	5.117	4.256	3.863	3.633	3.482	3.374	3.293	3.230	3.179	3.137	3.073	3.006	2.936
10	4.965	4.103	3.708	3.478	3.326	3.217	3.135	3.072	3.020	2.978	2.913	2.845	2.774
11	4.844	3.982	3.587	3.357	3.204	3.095	3.012	3.948	2.896	2.854	2.788	2.719	2.646
12	4.747	3.885	3.490	3.259	3.106	2.996	2.913	2.849	2.796	2.753	2.587	2.617	2.544
13	4.667	3.806	3.411	3.179	3.025	2.915	2.832	2.767	2.714	2.671	2.604	2.533	2.459
14	4.600	3.739	3.344	3.112	2.958	2.848	2.764	2.699	2.646	2.602	2.534	2.463	2.388
15	4.543	3.682	3.287	3.056	2.901	2.790	2.707	2.641	2.588	25.44	2.475	2.403	2.328
16	4.494	3.634	32.39	3.007	2.852	2.741	2.657	2.591	2.538	2.494	2.425	2.352	2.276
17	4.451	3.592	3.197	2.965	2.810	2.699	2.614	2.548	2.494	2.450	2.381	2.308	2.230
18	4.414	3.555	3.160	2.928	2.773	2.661	2.577	2.510	2.456	2.412	2.342	2.269	2.191
19	4.381	3.522	3.127	2.895	2.740	2.628	2.544	2.477	2.423	2.376	2.308	2.234	2.155
20	4.351	3.493	3.098	2.866	2.711	2.599	2.514	2.447	2.393	2.348	2.278	2.203	2.124

V_1 = number of degrees of freedom of the numerator and V_2 = number of degrees of freedom of the denominator

ตาราง D-4 Critical values of F for a two – tailed test ($P = 0.05$)

V_2	V_1												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17
4	12.22	10.65	9.979	9.605	9.364	9.197	9.074	8.980	8.905	8.844	8.751	8.657	8.560
5	10.01	8.434	7.764	7.388	7.146	6.978	6.853	6.757	6.681	6.619	6.525	6.428	6.329
6	8.813	7.260	6.599	6.227	5.988	5.820	5.696	5.600	5.523	5.461	5.366	5.269	5.168
7	8.073	6.542	5.890	5.523	5.285	5.119	4.995	4.899	4.823	4.761	4.666	4.568	4.467
8	7.571	6.059	5.416	5.053	4.817	4.652	4.529	4.433	4.357	4.295	4.200	4.101	3.999
9	7.209	5.715	5.078	4.718	4.484	4.320	4.197	4.102	4.026	3.964	3.868	3.769	3.667
10	6.937	5.456	4.826	4.468	4.236	4.072	3.950	3.855	3.779	3.717	3.621	3.522	3.419
11	6.724	5.256	4.630	4.275	4.044	3.881	3.759	3.664	3.588	3.526	3.430	3.330	3.226
12	6.554	5.096	4.474	4.121	3.891	3.728	3.607	3.512	3.436	3.374	3.277	3.177	3.073
13	3.414	4.965	4.347	3.996	3.767	3.604	3.483	3.388	3.312	3.250	3.153	3.053	2.948
14	6.298	4.857	4.242	3.892	3.663	3.501	3.380	3.285	3.209	3.147	3.050	2.949	2.844
15	6.200	4.765	4.153	3.804	3.576	3.415	3.293	3.199	3.123	3.060	3.963	2.862	2.756
16	6.115	4.687	4.007	3.729	3.502	3.341	3.219	3.125	3.049	2.986	2.889	2.788	2.681
17	6.042	4.619	4.001	3.665	3.438	3.277	3.156	3.061	2.985	2.922	2.825	2.723	2.616
18	5.978	4.560	3.954	3.608	3.382	3.221	3.100	3.005	2.929	2.866	2.769	2.667	2.559
19	5.922	4.508	3.903	3.559	3.333	3.172	3.051	2.956	2.880	2.817	2.720	2.617	2.509
20	5.871	4.461	3.859	3.515	3.289	3.128	3.007	2.913	2.837	2.774	2.676	2.573	2.464

V_1 = number of degrees of freedom of the numerator and V_2 = number of degrees of freedom of the denominator

ตาราง D-5 ค่าวิกฤตของ Lilliefors Test

SAMPLE SIZE	SIGNIFICANCE LEVEL α				
n	.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	.233	.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	$\frac{.736}{\sqrt{n}}$	$\frac{.768}{\sqrt{n}}$	$\frac{.805}{\sqrt{n}}$	$\frac{.886}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.031}{\sqrt{n}}$