หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ของการทดลอง โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มาจากผลการทดลองตาม Screening Design แล้วนำมาแยกวิเคราะห์โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีแผนการทดลองเป็นแบบแฟคโทเรียลชนิดต่างๆ และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละการทดลอง ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ ก.6 ถึง ก.10 และจะวิเคราะห์ผลการการทดลองโดยใช้หลักการเชิงสถิติวิศวกรรม ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึง

1. การวิเคราะห์ผลการทดลองในแต่ละกลุ่ม โดยจะได้กล่าวถึง
   - การตรวจสอบคุณสมบัติเพื่อทำการวิเคราะห์ของการทดลอง
   - การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดลอง
   - การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูลของการทดลอง
2. การวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสมของการทดลอง

การวิเคราะห์การทดลอง

การทดลองในกลุ่มที่ 1

การวิเคราะห์การทดลองในกลุ่มที่ 1 มีจุดประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาว่าอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่
2. เพื่อศึกษาว่าเวลาที่ใช้ในการป้อนก๊าซออกซิเจนมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่
3. เพื่อศึกษาว่าอิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนและเวลาที่ใช้ในการป้อนก๊าซออกซิเจนมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

การตรวจสอบคุณสมบัติเพื่อทำการวิเคราะห์ของการทดลองในกลุ่มที่ 1

เนื่องจากในการวิเคราะห์เชิงสถิตินี้เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Variance) ของข้อมูล โดยเป็นวิธีการตรวจสอบค่าเฉลี่ยของตัวอย่างของ Fisher ที่จะเปรียบเทียบอิทธิพลกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบสมมุติฐานดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ซึ่งผลการตรวจสอบเป็นดังนี้

1. การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

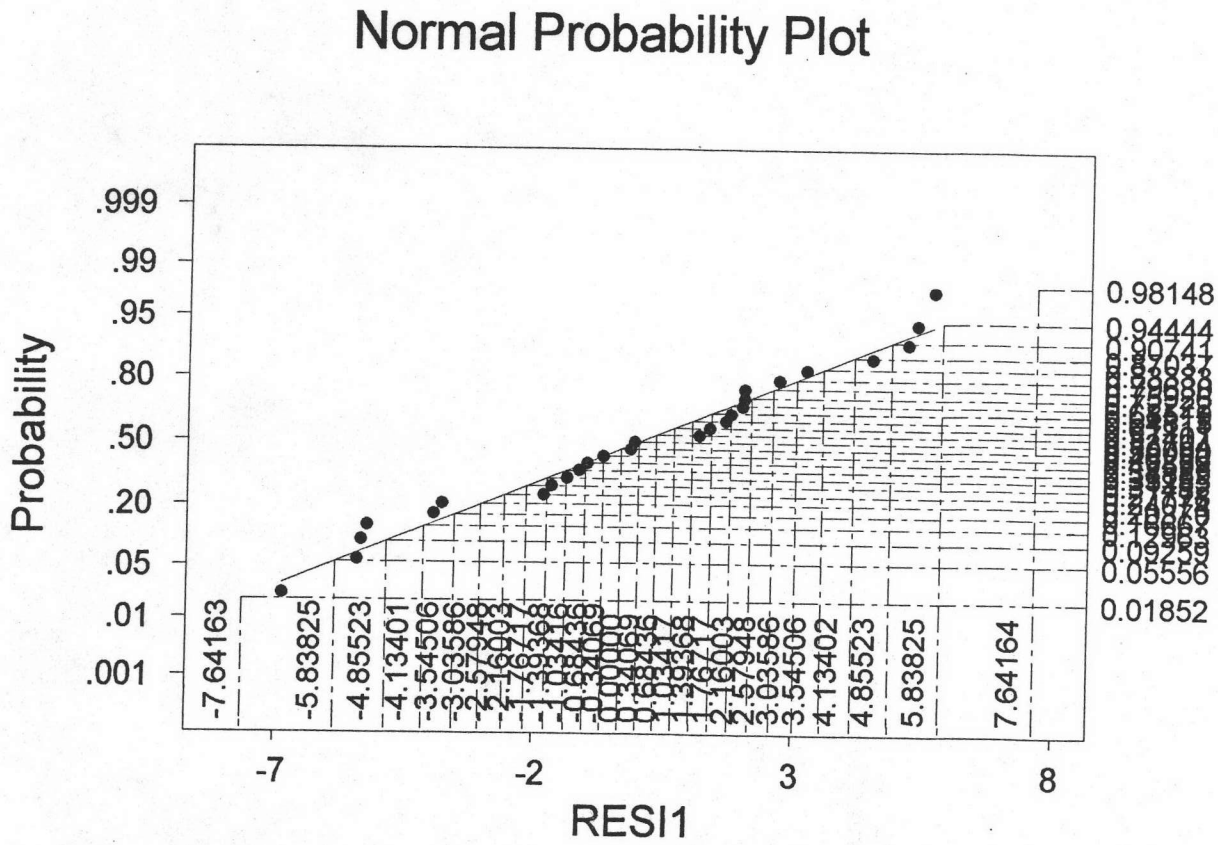
การทดสอบการแจกแจงแบบปกติโดยการคำนวณค่า Residaul และค่า Probability ของการทดลองจากโปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB ได้ดังตารางที่ ข.1 และกราฟที่ 5.1 ซึ่งผลจากการทดสอบนี้มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลของการทดลองมีการแจกแจงปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระต่อกัน

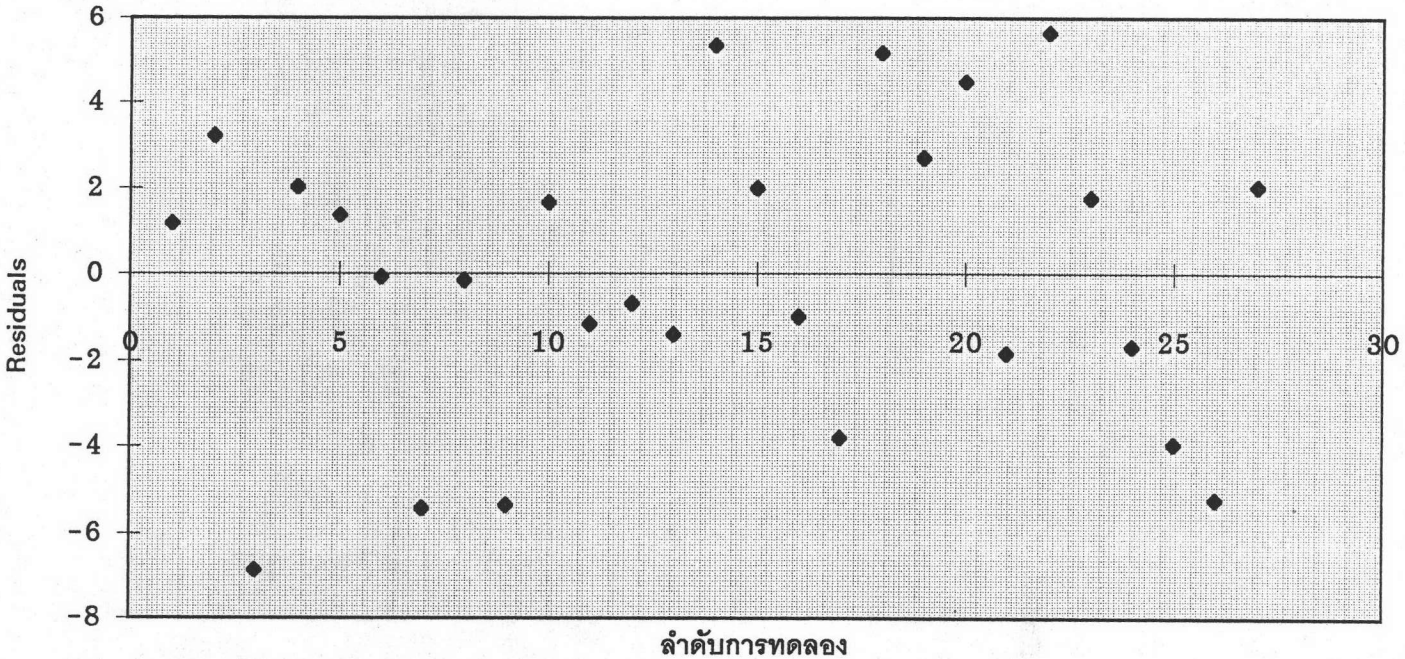
การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันด้วยการนำค่า Residuals ของข้อมูลกับลำดับการทดลองดังตารางที่ ข.2 นำไปเขียนแผนภูมิการกระจายดังกราฟที่ 5.2 ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่าชุดข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันโดยไม่มีรูปแบบของการกระจายใดๆ จึงทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลของการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อน

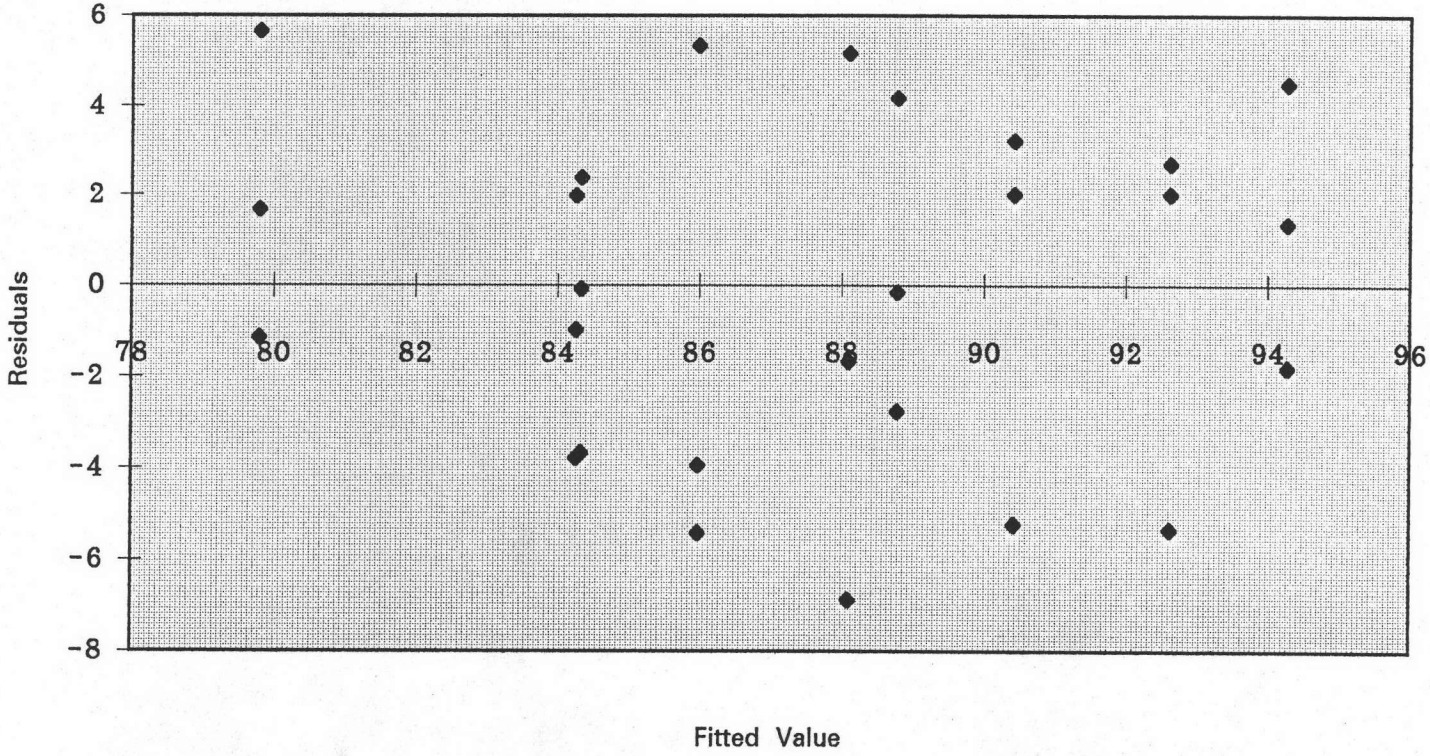
การทดสอบความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อน โดยการนำค่าประมาณของข้อมูลกับค่า Residuals ของข้อมูลจากการทดลองดังตารางที่ ข.3 ไปเขียนกราฟแสดงลักษณะของความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 5.3 และจากกราฟมีความกว้างของข้อมูลค่อนข้างคงที่ไม่เป็นไปในลักษณะของปากแตรหรือปากกรวย ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลของการทดลองมีความคลาดเคลื่อนที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงการตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติในการทดลองกลุ่มที่ 1



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงการกระจายของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 1



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ในการทดลองกลุ่มที่ 1

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดลองในกลุ่มที่ 1

จากข้อมูลในตาราง ก.9 ได้ทำการวิเคราะห์ TWO-WAY ANOVA โดยทำการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูปได้ผลสรุปตามตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของจำนวนจุลินทรีย์โดยใช้อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (Flow Rate) และเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน (Time) ที่แตกต่างกันตามการทดลองกลุ่มที่ 1

Source of Variation	SS	df	MS	F	$F_{0.05,df,18}$
Flow rate , F	184.0987	2	92.04936	5.80449*	3.554561
Time, T	310.8081	2	155.4041	9.79955*	3.554561
Interaction FT	34.12557	4	8.531393	0.53797	2.927749
error	285.4491	18	15.85829		
Total	814.4816	26			

* มีนัยสำคัญที่ 0.05

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบ คือ

ก) อิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่าผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ด้วยนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ที่ df_1 และ df_2 เท่ากับ 2 และ 18 ตามลำดับ กล่าวคือ

$$F_0 > F_{0.05,2,18}$$

$$F_0 > 3.554$$

ข) อิทธิพลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่าผลการทดสอบปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ด้วยนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ที่ df_1 และ df_2 เท่ากับ 2 และ 18 ตามลำดับ เหมือนกัน

ค) อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน และเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่าผลการทดสอบยอมรับสมมติฐาน H_0 ด้วยนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ที่ df_1 และ df_2 เท่ากับ 4 และ 18 ตามลำดับ

ดังนั้นสำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 1 สามารถสรุปได้ว่า

1. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกัน จะมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์

2. เวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกัน จะมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์

3. อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน และเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์

<u>การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูลของการทดลองกลุ่มที่ 1</u>

ข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองตามแบบการทดลองที่ได้ออกแบบนั้น จะต้องได้รับการตรวจสอบถึงความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลโดยการวิเคราะห์ค่า R^2 หรือ Coefficient of Determination จาก

$$R^2 = \frac{\text{ผลรวม SS ของ Treatment Combination}}{\text{SS Total}}$$

ซึ่งพบว่าจากกลุ่มที่ 1 (โดยข้อมูลในตารางที่ 5.1) จะได้

$$R^2 = \frac{(184.0987+310.8081+34.12557)}{814.4816}$$

$$= 64.95\%$$

การทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5

สำหรับวัตถุประสงค์และการวิเคราะห์การทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 นั้น มีลักษณะ เหมือนกับการวิเคราะห์การทดลองในกลุ่มที่ 1 โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลก่อนที่จะทำการวิเคราะห์

1. การทดสอบการแจกแจงปกติ

- จากตารางที่ ข. 4 และกราฟรูปที่ ข.1 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 2 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ
- จากตารางที่ ข.7 และกราฟรูปที่ ข.4 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 3 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ
- จากตารางที่ ข.10 และกราฟรูปที่ ข.7 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 4 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ
- จากตารางที่ ข.13 และกราฟรูปที่ ข.10 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 5 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

2. การทดสอบความเป็นอิสระต่อกัน

- จากตารางที่ ข.5 และกราฟรูปที่ ข.2 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 2 พบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- จากตารางที่ ข.8 และกราฟรูปที่ ข.5 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 3 พบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- จากตารางที่ ข.11 และกราฟรูปที่ ข.8 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 4 พบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน
- จากตารางที่ ข.14 และกราฟรูปที่ ข.11 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลในการทดลองกลุ่มที่ 5 พบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อน

- จากตารางที่ ข.6 และกราฟรูปที่ ข.3 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อนในการทดลองกลุ่มที่ 2 พบว่าข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนที่สม่ำเสมอ

- จากตารางที่ ข.9 และกราฟรูปที่ ข.6 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อนในการทดลองกลุ่มที่ 3 พบว่าข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนที่สม่ำเสมอ
- จากตารางที่ ข.12 และกราฟรูปที่ ข.9 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อนในการทดลองกลุ่มที่ 4 พบว่าข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนที่สม่ำเสมอ
- จากตารางที่ ข.15 และกราฟรูปที่ ข.12 ในภาคผนวก ข. เป็นข้อมูลในการทดสอบความความสม่ำเสมอของความคลาดเคลื่อนในการทดลองกลุ่มที่ 5 พบว่าข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนที่สม่ำเสมอ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการตรวจสอบทั้ง 3 ข้อของการทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 เป็นไปตามสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ จึงสามารถนำการทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนตามหลักการของ Fisher ได้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5

จากข้อมูลผลการทดลองของกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 (ตารางที่ ก.7 ถึง ก.10 ในภาคผนวก ก. สามารถนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงไว้ในตารางที่ ค.1 ถึง ค. 4 ในภาคผนวก ค.) พบว่า การทดลองของกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 ทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลักของปัจจัยหลักทั้ง 2 ข้อ แต่ทำการยอมรับสมมุติฐานหลักของอิทธิพลร่วมด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้น จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองทั้ง 4 กลุ่มจึงพบว่า

1. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกัน มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์
2. เวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกัน มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์
3. อิทธิพลร่วมระหว่างอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนและเวลาที่ใช้ในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์

การตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูลการทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5

จากการตรวจสอบค่า R^2 ของการทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5 จากข้อมูลในตารางที่ ค.1 ถึง ค.4 ในภาคผนวก ค. พบว่าได้ค่า R^2 ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ดังนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า Coefficient of Determination, R^2 ของทดลองในกลุ่มที่ 2, 3, 4 และ 5

การทดลองกลุ่มที่	Coefficient of Determination
2	65.79%
3	73.88%
4	73.59%
5	70.00%

ซึ่งจะเห็นได้ว่า R^2 ของการทดลองทั้ง 4 กลุ่มนั้นมีค่าประมาณ 64% - 74% ซึ่งไม่สูงมากนัก แต่ค่า R^2 สำหรับการทดลองที่มีปัจจัยรบกวนมากดังเช่นในการทดลองนี้ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่จะนำไปหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตก๊าซโอโซนได้

การวิเคราะห์เงื่อนไขที่เหมาะสม

วิธีการหนึ่งในการหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อค่าของตัวแปร (เปอร์เซนต์ของการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์) มากที่สุดนั้น คือ การสร้างสมการ Surface Equation โดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการจาก Orthogonal Polynomial แล้วนำมาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยการวิเคราะห์ด้วยกราฟที่ได้จาก Surface Equation ดังจะได้ทำการวิเคราะห์ในการทดลองทั้ง 5 กลุ่ม ดังนี้

การทดลองในกลุ่มที่ 1

สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลอง 3^2 แฟคโทเรียลโดยจะแยกอิทธิพลแฟคโทเรียลได้ 2 ระดับ คือ Linear และ Quadratic ตามตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของ Orthogonal Polynomial (ภาคผนวก จ.) ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5. 3 ดังนี้

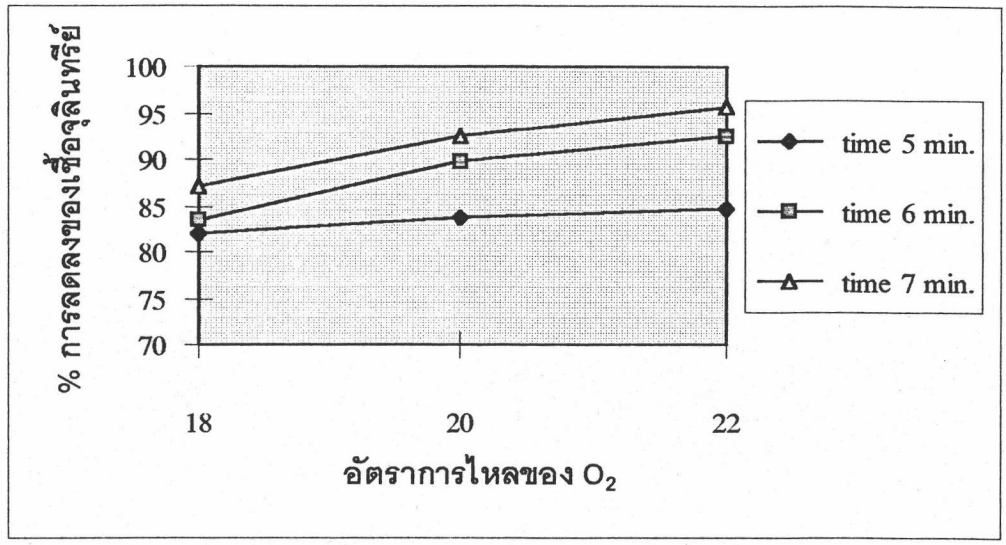
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 1

Source of Variation	SS	df	MS	F	$F_{0.05,df,18}$
Flow rate , F	184.09	2	92.04	5.80*	3.55
F_{Linear}	171.61	1	171.61	10.82*	4.41
$F_{Quadratic}$	12.48	1	12.48	0.78	4.41
Time, T	310.80	2	155.40	9.79*	3.55
T_{Linear}	310.25	1	310.25	19.56*	4.41
$T_{Quadratic}$	0.5541	1	0.5541	0.0349	4.41
Interaction FT	34.12557	4	8.531393	0.53797	2.927749
Error	285.4491	18	15.85829		
Total	814.4816	26			

* มีนัยสำคัญที่ 0.05

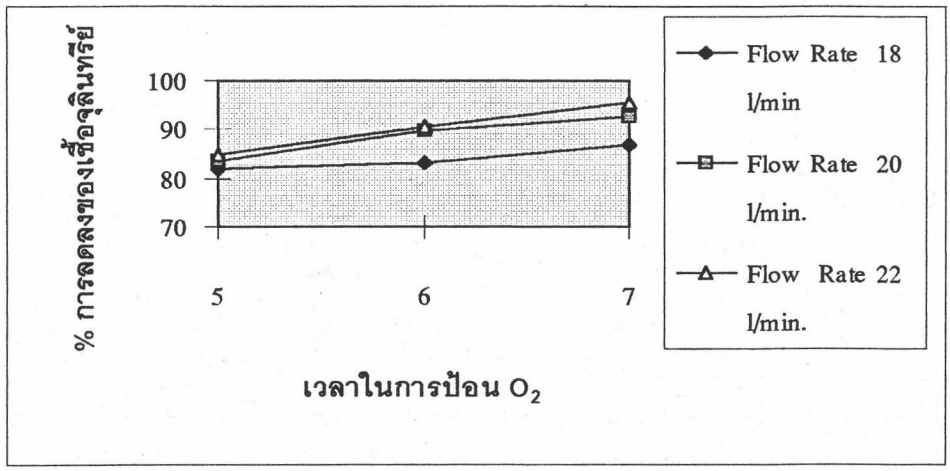
ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์อิทธิพลของแฟคโทเรียลที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ และเมื่อแยกอิทธิพลของแฟคโทเรียลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนมาวิเคราะห์อีก พบว่าตอบสนองต่อ Linear ไม่ตอบสนองต่อ Quadratic นั่นคือเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยจากทุกระดับเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ 5.4 ต่อไปนี้



รูปที่ 5. 4 กราฟแสดงอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์สำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 1

2. นอกจากอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน จะมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์แล้ว ก็ยังพบว่าเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ด้วย และเมื่อแยกอิทธิพลของแฟคโทเรียลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนมาวิเคราะห์อีก พบว่าตอบสนองต่อ Linear ไม่ตอบสนองต่อ Quadratic เช่นเดียวกับอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน นั่นคือ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจนโดยเฉลี่ยจากทุกระดับของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนแล้วผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ 5.5 ต่อไปนี้



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงอิทธิพลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์สำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 1

การทดลองในกลุ่มที่ 2

สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นการทดลอง 3x4 แฟคโทเรียล โดยจะแยกอิทธิพลแฟคโทเรียลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนได้ 2 ระดับ คือ Linear และ Quadratic และอิทธิพลแฟคโทเรียลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนได้ 3 ระดับ คือ Linear , Quadratic และ Cubic ตามตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของ Orthogonal Polynomial ในภาคผนวก จ. ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน
โดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 2

Source of Variation	SS	df	MS	F	$F_{0.05,df,24}$
Flow rate , F	336.02	2	168.01	9.47*	3.4
F_{Linear}	291.13	1	291.14	16.41*	4.26
$F_{Quadratic}$	44.88	1	44.89	2.53	4.26
Time, T	457.25	3	155.40	9.79*	3.55
T_{Linear}	454.35	1	310.25	19.56*	4.41
$T_{Quadratic}$	2.86	1	0.5541	0.0349	4.41
T_{cubic}	0.02	1	0.02	0.001	4.26
Interaction FT	25.37	6	4.23	0.23	2.51
Error	425.6691	24	17.73		
Total	814.4816	35			

* มีนัยสำคัญที่ 0.05

ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์อิทธิพลของแฟคโทเรียลที่ผ่านมาสำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 2 ทำให้ทราบว่า อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์เหมือนกับการทดลองในกลุ่มที่ 1 และเมื่อแยกอิทธิพลของแฟคโทเรียลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนมาวิเคราะห์อีก พบว่าตอบสนองต่อ Linear ไม่ตอบสนองต่อ Quadratic นั่นคือ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยจากทุกระดับเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วยเหมือนกับการทดลองในกลุ่ม 1 ดังรูปที่ ง.1 ในภาคผนวก ง.

2. เมื่อพิจารณาเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนสำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 2 พบว่าเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ด้วย และเมื่อแยกอิทธิพลของแฟคโทเรียลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนมาวิเคราะห์อีก พบว่าตอบสนอง

ต่อ Linear ไม่ตอบสนองต่อทั้ง Quadratic และ Cubic นั่นคือ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจนโดยเฉลี่ยจากทุกระดับของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนแล้ว ผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ ง.2 ในภาคผนวก ง.

การทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4

สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นการทดลอง 3^2 แฟคโทเรียลโดยจะแยกอิทธิพลแฟคโทเรียลได้ 2 ระดับ คือ Linear และ Quadratic ตามตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของ Orthogonal Polynomial ในภาคผนวก จ. ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.5 , 5.6 สำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ดังนี้

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน
โดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 3

Source of Variation	SS	df	MS	F	$F_{0.05,df,18}$
Flow rate , F	479.85	2	239.93	19.45*	3.55
F_{Linear}	479.26	1	479.26	38.85*	4.41
$F_{Quadratic}$	0.59	1	0.59	0.04	4.41
Time, T	113.85	2	56.93	4.62*	3.55
T_{Linear}	113.55	1	113.55	9.21*	4.41
$T_{Quadratic}$	0.30	1	0.30	0.02	4.41
Interaction FT	34.32	4	8.58	0.69	2.93
Error	222.0105	18	12.33		
Total	850.04				

* มีนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน
โดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 4

Source of Variation	SS	df	MS	F	$F_{0.05,df,18}$
Flow rate , F	865.74	2	432.87	18.92*	3.55
F_{Linear}	863.62	1	863.62	37.75*	4.41
$F_{Quadratic}$	2.12	1	2.12	0.09	4.41
Time, T	224.13	2	112.06	4.89*	3.55
T_{Linear}	223.66	1	223.66	9.77*	4.41
$T_{Quadratic}$	0.47	1	0.47	0.02	4.41
Interaction FT	57.66	4	14.41	0.63	2.93
Error	411.79	18	22.88		
Total	1559.32				

* มีนัยสำคัญที่ 0.05

สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์อิทธิพลของแฟคโทเรียลของการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา ทำให้ทราบว่าอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ และเมื่อแยกอิทธิพลของแฟคโทเรียลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนมาวิเคราะห์อีก พบว่าตอบสนองต่อ Linear ไม่ตอบสนองต่อ Quadratic เหมือนดังเช่นการทดลองที่ 1และ 2 นั่นคือ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยจากทุกระดับเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ ง.3 และ ง.5 ในภาคผนวก ง. สำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

2. จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 ที่ผ่าน นอกจากจะพบว่า อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนจะมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ก็ยังพบว่าเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ด้วย และเมื่อแยกอิทธิพลของแฟคโทเรียลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนของทั้งการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 มาวิเคราะห์อีก พบว่าการทดลองทั้ง 2 กลุ่มนั้นตอบสนอง

ต่อ Linear ไม่ตอบสนองต่อ Quadratic เช่นเดียวกับการทดลองในกลุ่มอื่นๆที่ผ่านมานั่นคือ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจนโดยเฉลี่ยจากทุกระดับของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนแล้วผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ ง.4 และ ง.6 ในภาคผนวก ง. สำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

การทดลองในกลุ่มที่ 5

สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นการทดลอง 2x4 แฟคโทเรียลโดยจะแยกอิทธิพลแฟคโทเรียลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนได้ 3 ระดับ คือ Linear , Quadratic และ Cubic ตามตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของOrthogonal Polynomial ในภาคผนวก จ. และได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5. 7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน
โดยพิจารณาถึง Polynomial Effect ของการทดลองในกลุ่มที่ 5

Source of Variation	SS	df	MS	F	$F_{0.05,df,18}$
Flow rate , F	428.16	1	428.16	26.42*	4.49
Time, T	457.25	3	152.41	9.40*	3.24
T_{Linear}	162.70	1	162.70	10.04*	4.49
$T_{Quadratic}$	0.78	1	0.78	0.048	4.49
T_{cubic}	4.84	1	4.84	0.29	4.49
Interaction FT	8.56	3	2.85	0.17	3.24
Error	259.27	16	16.20		
Total	864.33	23			

* มีนัยสำคัญที่ 0.05

สามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

1. จากการวิเคราะห์อิทธิพลของแฟคโทเรียลที่ผ่านมาสำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 5 พบว่า อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่แตกต่างกันจะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์เหมือนกับการทดลองในกลุ่มอื่นๆแต่ไม่สามารถทำการแยกวิเคราะห์อิทธิพลแฟคโทเรียลอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนได้ เนื่องจากมีระดับของปัจจัยที่จะทำการศึกษาเพียง 2 ระดับ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนเฉลี่ยจากทุกระดับเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วยเหมือนกับการทดลองในกลุ่มอื่นๆ ดังรูปที่ ง.7 ในภาคผนวก ง.

2. เมื่อพิจารณาเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนสำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 5 พบว่าเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนก็มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนจุลินทรีย์ด้วย และเมื่อแยกอิทธิพลของแฟคโทเรียลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนมาวิเคราะห์อีก พบว่าตอบสนองต่อ Linear ไม่ตอบสนองต่อทั้ง Quadratic และ Cubic นั่นคือ เมื่อพิจารณาอิทธิพลของเวลาที่ป้อนก๊าซออกซิเจนโดยเฉลี่ยจากทุกระดับของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนแล้วผลการตอบสนองต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์ก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วย ดังรูปที่ ง.8 ในภาคผนวก ง.

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยแยกวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของแฟคโทเรียลในแต่ละปัจจัยหลักของการทดลองทั้ง 5 กลุ่มแล้ว พบว่าอิทธิพลหลักทั้งสอง คือ อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน และเวลาที่ใช้ป้อนก๊าซออกซิเจนของการทดลองทั้ง 5 กลุ่มนั้นตอบสนองต่อ Linear ทั้งสิ้น ดังนั้นจะทำการฟิตอิทธิพลของ Linear กับข้อมูลในการทดลองได้ดังสมการที่ 5.1 ดังนี้

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 P_1(x_1) + \alpha_2 P_1(x_2) \quad \text{.....(5.1)}$$

โดยที่

α_0 = ค่าเฉลี่ยที่สังเกตได้จากการทดลอง (Grand Mean)

α_1 = The Linear Coefficient of x_1

α_2 = The Linear Coefficient of x_2

$P_1(x_1)$ = The First - Order Orthogonal Polynomial of x_1

$P_1(x_2)$ = The First - Order Orthogonal Polynomial of x_2

และ

$$\alpha_i = \frac{\sum Y P_i(x)}{n \sum (P_i(x))^2}$$

$$P_1(x) = \lambda_1 \left[(x - \bar{x}) / d \right]$$

λ_1 คือ ค่าคงที่จากตารางในภาคผนวก จ.

d คือ ช่วงห่างของระดับที่ทำการศึกษา

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปัจจัยที่ศึกษา

จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ แล้วนำมาแทนค่าในสมการที่ 5.1 ทำให้ได้สมการสำหรับการทดลอง 5 กลุ่ม ดังนี้

1. สมการสำหรับการทดลองกลุ่มที่ 1 คือ

$$Y = 87.62 + 1.540 (x_1 - 20) + 4.150 (x_2 - 6) \quad \text{.....(5.2)}$$

2. สมการสำหรับการทดลองกลุ่มที่ 2 คือ

$$Y = 86.17 + 1.741 (x_1 - 14) + 3.176 (x_2 - 8.5) \quad \text{.....(5.3)}$$

3. สมการสำหรับการทดลองกลุ่มที่ 3 คือ

$$Y = 87.64 + 2.582 (x_1 - 10) + 2.512 (x_2 - 12) \quad \text{..... ....(5.4)}$$

4. สมการสำหรับการทดลองกลุ่มที่ 4 คือ

$$Y = 86.32 + 3.463 (x_1 - 8) + 3.525 (x_2 - 15) \quad \text{.. .....(5.5)}$$

5. สมการสำหรับการทดลองกลุ่มที่ 5 คือ

$$Y = 88.52 + 2.111 (x_1 - 7) + 2.328 (x_2 - 18.5) \quad \text{.....(5.6)}$$

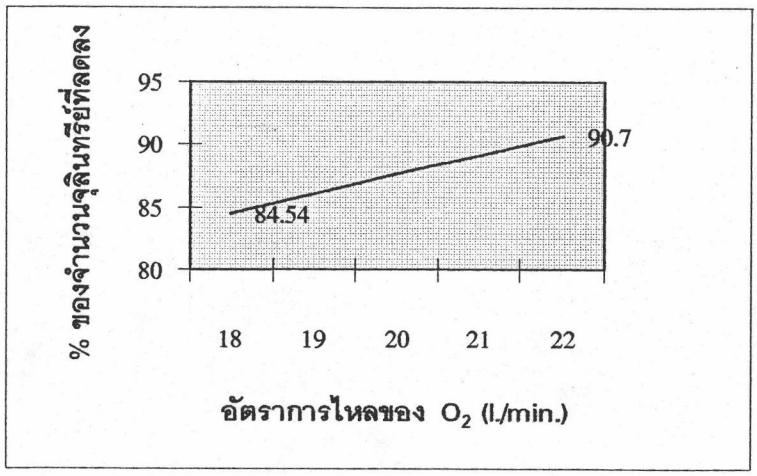
โดยที่

x_1 = อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน (l./min.)

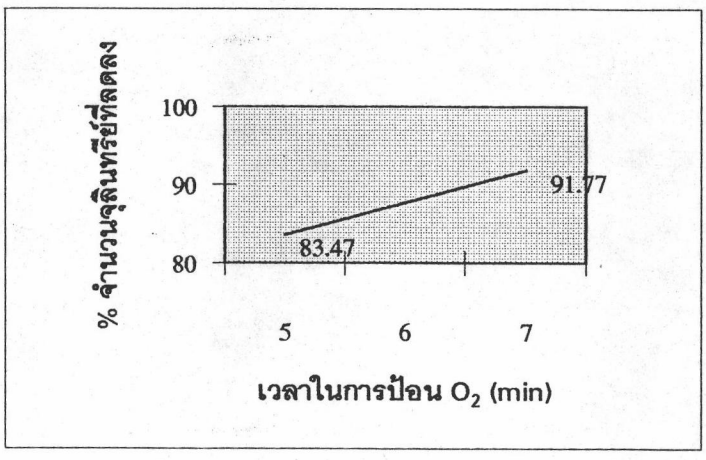
x_2 = เวลาที่ใช้ในการป้อนก๊าซออกซิเจน (min)

หลังจากนั้นจะนำมาวิเคราะห์ผลด้วยการฟิตสมการด้วยการเขียนกราฟ โดยการแทนค่าของระดับของแต่ละปัจจัยลงไปในสมการสำหรับการทดลองแต่ละกลุ่ม แล้วพิจารณาระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่มากที่สุด

สำหรับการทดลองในกลุ่มที่ 1 จะได้ผลของกราฟดังนี้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.2 (การทดลองในกลุ่มที่ 1)



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.2 (การทดลองในกลุ่มที่ 1)

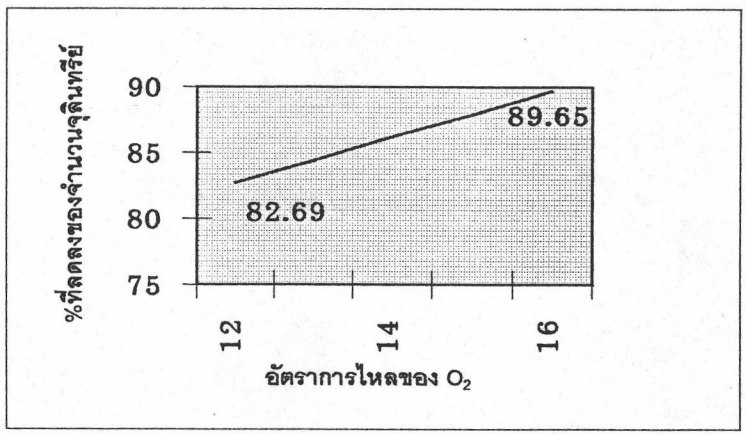
ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 5.5 และ 5.6 จะเห็นว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดของการทดลองในกลุ่มที่ 1 คือ

1. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 22 l./min.
2. เวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน 7 min.

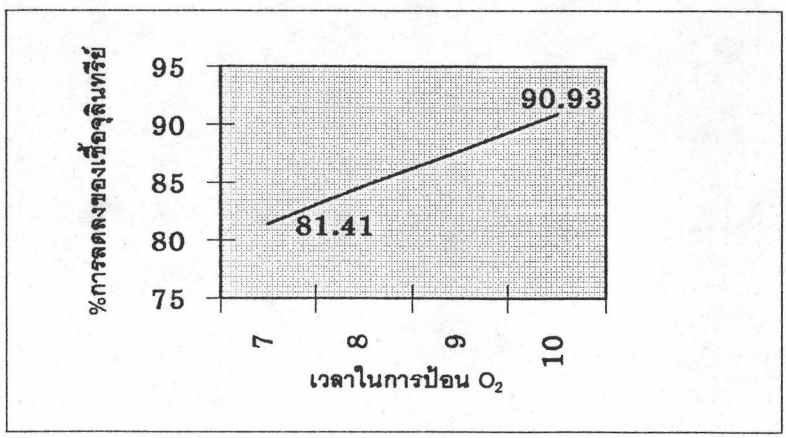
และเมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 5.2 พบว่าสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ 94.85 %

สำหรับการทดลองในกลุ่มอื่นๆ ก็ใช้วิธีการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมเหมือนกัน และได้ผลการวิเคราะห์ ดังนี้

การทดลองกลุ่มที่ 2 ได้ผลของกราฟ ดังนี้



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงผลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.3 (การทดลองในกลุ่มที่ 2)



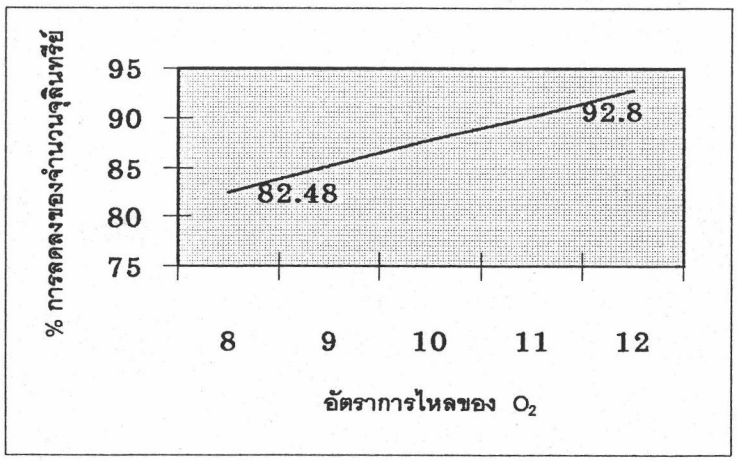
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงผลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.3 (การทดลองในกลุ่มที่ 2)

ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 5.8 และ 5.9 จะเห็นว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดของการทดลองในกลุ่มที่ 2 คือ

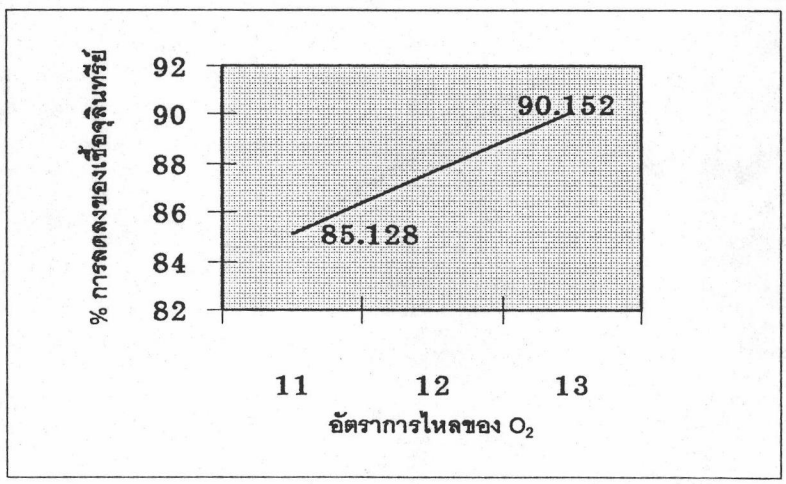
1. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 16 l./min.
2. เวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน 10 min.

และเมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 5.3 พบว่าสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ 94.41 %

การทดลองในกลุ่มที่ 3 ได้ผลของกราฟ ดังนี้



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงผลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.4 (การทดลองในกลุ่มที่ 3)



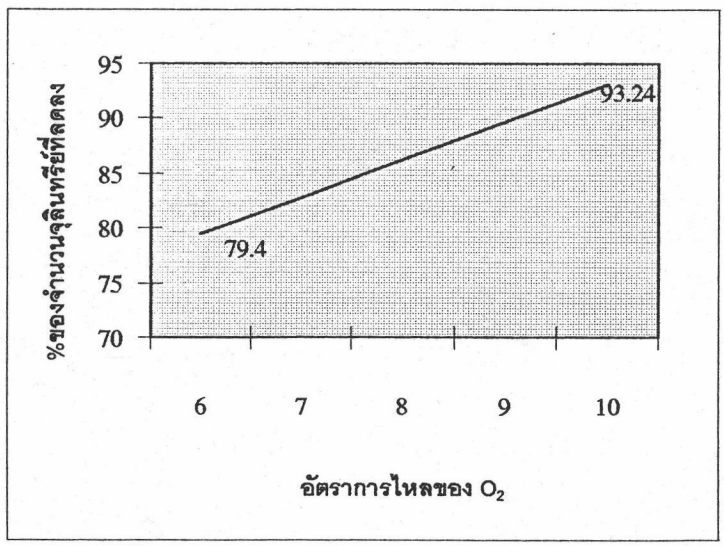
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.4 (การทดลองในกลุ่มที่ 3)

ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 5.10 และ 5.11 จะเห็นว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดของการทดลองในกลุ่มที่ 3 คือ

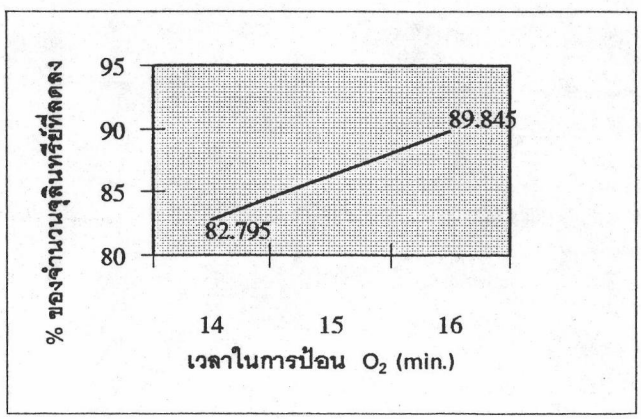
1. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 12 l./min.
2. เวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน 13 min.

และเมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 5.4 พบว่าสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ 95.31 %

การทดลองในกลุ่มที่ 4 ได้ผลของกราฟ ดังนี้



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงผลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.5 (การทดลองในกลุ่มที่ 4)

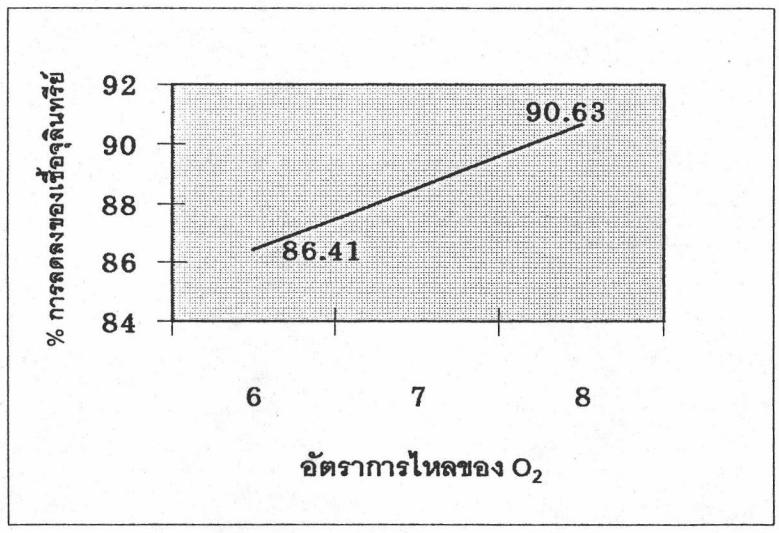


รูปที่ 5.13 กราฟแสดงผลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.5 (การทดลองในกลุ่มที่ 4)

ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 5.12 และ 5.13 จะเห็นว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดของการทดลองในกลุ่มที่ 4 คือ

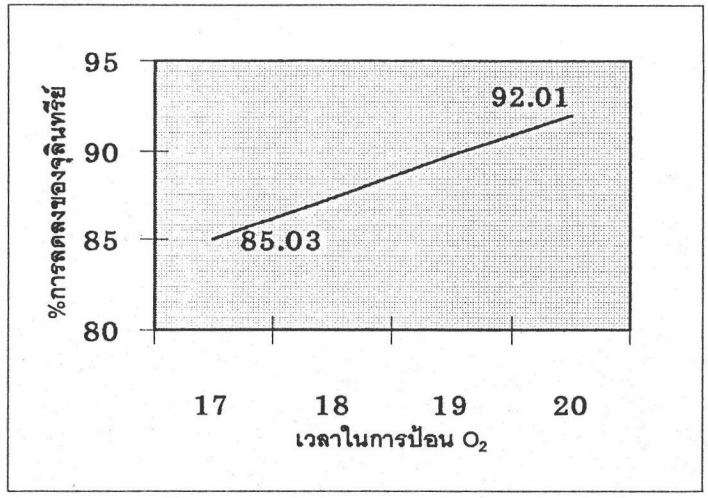
1. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 10 l./min.
2. เวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน 16 min.

และเมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 5.5 พบว่าสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ 96.77 % การทดลองในกลุ่มที่ 5 ได้ผลของกราฟ ดังนี้



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.14 กราฟแสดงผลของอัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.6 (การทดลองในกลุ่มที่ 5)



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงผลของเวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจนที่มีต่อเปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ตามความสัมพันธ์จากสมการ 5.6 (การทดลองในกลุ่มที่ 5)

ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 5.14 และ 5.15 จะเห็นว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อจุลินทรีย์มากที่สุดของการทดลองในกลุ่มที่ 5 คือ

1. อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 8 l./min.
2. เวลาในการป้อนก๊าซออกซิเจน 20 min.

และเมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการที่ 5.6 พบว่าสามารถกำจัดจุลินทรีย์ได้ 94.12 %

สำหรับรายละเอียดการสรุปผลและข้อเสนอแนะ จะกล่าวสรุปไว้ในบทที่ 6 ต่อไป