# การศึกษาการเปรียบเทียบความต้านทานต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกของภาชนะบรรจุที่ทำจากแก้วไพเร็กซ์, พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีน

น.ส.นลพรรณ หน่อนิล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# COMPARATIVE STUDY OF THE RESISTANCE TO PERFORMIC ACID ATTACK OF VESSEL MADE FROM PYREX, HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE), AND POLYPROPYLENE (PP)

Miss Nollapan Nornil

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาการเปรียบเทียบความต้านทานต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกของภาชนะบรรจุที่ทำจาก แก้วไพเร็กซ์ , พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีน |
| โดย | น.ส.นลพรรณ หน่อนิล |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเคมี |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.ธราธร มงคลศรี |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพฤกษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราธร มงคลศรี)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพร คิม)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพียงพิศ กลิ่นหรั่น)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นลพรรณ หน่อนิล : การศึกษาการเปรียบเทียบความต้านทานต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกของภาชนะบรรจุที่ทำจาก แก้วไพเร็กซ์, พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีน. ( COMPARATIVE STUDY OF THE RESISTANCE TO PERFORMIC ACID ATTACK OF VESSEL MADE FROM PYREX, HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE), AND POLYPROPYLENE (PP)) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธราธร มงคลศรี

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความต้านทานต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกของวัสดุ 3 ชนิดได้แก่ แก้วไพเร็กซ์, พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีน การทดลองเริ่มด้วยการเตรียมสารละลายกรดเปอร์ฟอร์มิกโดยมีอัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน 3 อัตราส่วนได้แก่ 1:0.8, 1:1.6 และ 1:3.2 จากนั้นทำการแบ่งสารละลายที่เตรียมขึ้นออกเป็น 3 ส่วนแยกบรรจุในภาชนะที่ทำจาก แก้วไพเร็กซ์, พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีน สารตัวอย่างถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องและทำการวัดความเข้มข้นของ กรดฟอร์มิกและกรดเปอร์ฟอร์มิกด้วยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ วัดความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ด้วยการไทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนโดยโมลที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นที่แตกต่างกัน ทำให้เห็นผลของการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่แตกต่างกัน โดยลำดับความต้านทานต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกเรียงลำดับดังนี้คือ พอลิโพรพิลีน < พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง < แก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2565 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6470041821 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEYWORD:

Nollapan Nornil : COMPARATIVE STUDY OF THE RESISTANCE TO PERFORMIC ACID ATTACK OF VESSEL MADE FROM PYREX, HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE), AND POLYPROPYLENE (PP). Advisor: Assoc. Prof. THARATHON MONGKHONSI, Ph.D.

The present research comparatively studies the resistance to the attack of performic acid of 3 materials i.e. pyrex, high density polyethylene (HDPE), and polypropylene (PP). The experiment began with preparations of formic acid solutions having 3 different mole ratios of formic acid per hydrogen peroxide i.e.1:0.8, 1:1.6, and 1:3.2. The prepared solution was divided into 3 portions which were kept in 3 containers i.e. pyrex flask, HDPE bottle, and PP bottle. The concentrations of formic and performic acids were quantified by titration with a standard NaOH solution. Hydrogen peroxide concentration was determined by titration with a potassium permanganate solution. The experimental results showed that different formic acid per hydrogen peroxide ratios resulted in different concentrations of performic acid formed. This further resulted in different attacking power of performic acid. The results showed that the resistance to the attack of performic acid of 3 materials is in the following order PP < HDPE < Pyrex.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Chemical Engineering Student's Signature .....
Academic Year: 2022 Advisor's Signature .....

# กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยให้การสนับสนุนข้าพเจ้าในด้านการศึกษา กิจกรรมต่างๆ ให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิต อีกทั้งกำลังใจที่มีให้ข้าพเจ้าเสมอมา วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้โดยได้รับการช่วยเหลือและคำแนะนำ รวมถึงแนวทางการแก้ปัญหาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ธราธร มงคลศรี ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของข้าพเจ้า ตลอดจนให้ความรู้ในด้านอื่นๆนอกเหนือจากด้านวิชาการ นายวรรณดารา อิทรปัญญา และนายณพวัสส์ ธัมพิพิธ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่คอยให้ความรู้และช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิวรรณ โชติพฤกษ์ เป็นประธานในการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพร คิม เป็นกรรมการในการสอบและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพียงพิศ กลิ่นหรั่น เป็นกรรมการภายนอก ที่ได้ให้คำแนะนำและคำชี้แนะเกี่ยวกับแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆน้องๆของข้าพเจ้าที่คอยให้กำลังใจ คำแนะนำและการช่วยเหลือข้าพเจ้า ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้า ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นลพรรณ หน่อนิล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่1 ..... 14

บทนำ ..... 14

1.1 ที่มาและความสำคัญ ..... 14

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ..... 15

1.3 ขอบเขตงานวิจัย ..... 15

บทที่2 ..... 17

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 17

2.1 กรดฟอร์มิก ($CH_2O_2$) ..... 17

2.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ..... 18

2.3 กรดเปอร์ฟอร์มิก ($CH_2O_3$) ..... 19

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 20

บทที่3 ..... 23

วิธีการทดลอง ..... 23

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ..... 23

3.2 การเตรียมตัวอย่าง ..... 23



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก ($H_2SO_4$) ความเข้มข้น 1:4 ..... 25
3.4 การเตรียมและการหาความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ..... 25
3.5 การเตรียมและการหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ..... 26
3.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยการไทเทรต (Titration) ด้วยสารละลาย $KMnO_4$ ..... 29
3.8 การหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิก กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ..... 30
3.8 การหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิก กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ..... 30
3.8 การหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิก กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ..... 30
บทที่ 4 ..... 32
ผลการทดลอง ..... 32
4.1 ผลจากการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน ..... 34
4.2 ผลของการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันแต่แต่ความเข้มข้นต่างกัน ..... 60
บทที่ 5 ..... 68
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ ..... 68
5.1 สรุปผลการทดลองการศึกษาผลของชนิดภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน ..... 68
5.2 สรุปผลการทดลองการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน ..... 69
5.3 ข้อเสนอแนะ ..... 69
ภาคผนวก ..... 70
ภาคผนวก ก ..... 71
การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) ..... 71
ภาคผนวก ข ..... 72
การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ..... 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค ..... 73
การหาจุดสมมูลจากกราฟการไทเทรต ..... 73
ภาคผนวก ง ..... 76
ตัวอย่างการหาปริมาณรวมของกรดฟอร์มิก กรดฟอร์มิกที่ใช้ทำปฏิกิริยา กรดฟอร์มิกที่เหลือ ปริมาณรวมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ ..... 76
ภาคผนวก จ ..... 78
การหาตำแหน่งจุดสมมูลของกราฟการไทเทรตด้วยโปรแกรม fityk ..... 78
ภาคผนวก ฉ ..... 83
ข้อมูลดิบการไทเทรตด้วยเครื่อง เครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter 83
บรรณานุกรม ..... 224
ประวัติผู้เขียน ..... 227

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญตาราง

**หน้า**

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ แก้วไพเร็กซ์ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 36

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 37

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 38

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกขึ้นในภาชนะบรรจุ ทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 40

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 41

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 42

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ แก้วไพเร็กซ์ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 44

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 45

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 46

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกขึ้นในภาชนะบรรจุ ทั้ง3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 48

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 49

ตารางที่ 4.12 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.13 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ แก้วไพเร็กซ์ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 52

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 53

ตารางที่ 4.15 ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 54

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกในภาชนะบรรจุ ทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 56

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 57

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 58

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลตัวเลขของอัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน ..... 63

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลตัวเลขของอัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน ..... 65

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลตัวเลขของอัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน ..... 67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# สารบัญรูปภาพ

**หน้า**

รูปที่ 3.1 เครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter ..... 27

รูปที่ 3.2 กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไปและค่า pH ที่อ่านได้และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมไปและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH (dpH/dml) ..... 28

รูปที่ 4.1 การเกิดปฏิกิริยารุนแรงของการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอรมิกโดยการผสม กรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml กับ $H_2O_2$ (50%w/w) 80 ml ..... 33

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการไทเทรตที่เห็นจุดสมมูลทั้งสองจุดของวันที่ 0 ที่ 10 นาที ..... 35

รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ ..... 36

รูปที่ 4. 4 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ..... 37

รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ..... 38

รูปที่ 4.6 %wt ของปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 40

รูปที่ 4.7 %wt ของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 41

รูปที่ 4.8 %wt ของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ..... 42

รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ ..... 44

รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ..... 45

รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ..... 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.12 %wt ของปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 48

รูปที่ 4.13 %wt ของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันวันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 49

รูปที่ 4.14 %wt ของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันวันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ..... 50

รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ ..... 52

รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ..... 53

รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ..... 54

รูปที่ 4.18 ของปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 56

รูปที่ 4.19 %wt ของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 57

รูปที่ 4.20 %wt ของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ..... 58

รูปที่ 4.21 อัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ก คือ แก้วไพเร็กซ์, ข คือ HDPE และ ค คือ PP โดยที่ A เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้มน้อยกว่า และB เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นมากกว่า ..... 62

รูปที่ 4.22 อัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของ กรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ก คือ แก้วไพเร็กซ์, ข คือ HDPE และ ค คือ PP โดยที่ A เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นน้อยกว่าและ B เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นมากกว่า ..... 65

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.23 อัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ก คือ แก้วไพเร็กซ์, ข คือ HDPE และค คือ PP โดยที่ A เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นน้อยกว่าและ B เป็นผลของตัวอย่างที่ ความเข้มข้นมากกว่า..... 67



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

กรดเปอร์ฟอร์มิก (Performic acid หรือ PFA) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีสถานะเป็นของเหลวไม่มีสีสามารถละลายน้ำได้มีสูตรทางเคมี ดังนี้ $CH_2O_3$ เป็นสารเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่มีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์ที่รุนแรงนอกจากนี้ยังมีราคาที่ถูก เนื่องจากคุณสมบัตินี้ทำให้กรดเปอร์ฟอร์มิกเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมแปรรูปทางเคมี, การสังเคราะห์สารและการฟอกสี กรดเปอร์ฟอร์มิกมักถูกใช้ในปฏิกริยาไฮดรอกซิเลชั่น, ออกซิเดชั่นและปฏิกิริยาอิพ็อกซิเดชั่นเพื่อสังเคราะห์พลาสติกอิพ็อกซีเป็นต้น นอกจากนี้กรดเปอร์ฟอร์มิกยังนิยมใช้เป็นยาฆ่าเครื่องมือและบรรจุภัณฑ์เชื้อในด้านการแพทย์และอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการต่อต้านไวรัส, แบคทีเรียและเชื้อรา [1-3]

กรดเปอร์ฟอร์มิก เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่เสถียรสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนและระเบิดได้หากได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 80-85 $^{o}C$ หรืออาจจะติดไฟหรือระเบิดได้ที่อุณหภูมิห้องเมื่อมีการรวมกับสารไวไฟเช่น ฟอร์มาลดีไฮด์, เบนซาลดีไฮด์และจะระเบิดอย่างรุนแรงเมื่อรวมกับผงโลหะ [1-3] ด้วยเหตุนี้ทำให้ในการผลิตและขนส่งกรดเปอร์ฟอร์มิกนั้นมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้น

ในการสังเคราะห์ PFA นั้นจะสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอร์มิก ( Formic acid, FA ) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( Hydrogen peroxide, HP ) ดังสมการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$HC(O)OH\ (l) + H2O2\ (l) \leftrightarrow HC(O)OOH + H_2O \qquad (1.1)$$

นอกจากน้ำที่ได้มาจากกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้วอาจมีการเติมน้ำเพื่อปรับความเข้มข้นสุดท้ายของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่ต้องการ และเนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่เสถียรในทางปฏิบัตินั้นสารจะต้องอยู่ในรูปสารละลายร่วมกับน้ำดังนั้นการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกจึงจะมีน้ำร่วมอยู่ด้วยเสมอ

สารละลายกรดเปอร์ฟอร์มิกประกอบด้วยสารเคมี 3 ชนิดที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาที่ต่างกันได้แก่ กรดฟอร์มิก, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดเปอร์ฟอร์มิกดังนั้นการเลือกวัสดุที่ใช้เป็นภาชนะในการบรรจุสารต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมากเพราะภาชนะบรรจุอาจถูกสารเคมีกัดกร่อนหรือภาชนะบรรจุอาจเร่งการสลายตัวของสารเคมีได้ กรดเปอร์ฟอร์มิกสามารถสลายตัวได้ดังสมการนี้

$$HC(O)OOH \rightarrow HC(O)OH + O \quad (1.2)$$

$$HC(O)OOH \rightarrow CO_2 + H_2O \quad (1.3)$$

สมการที่ 2 มักเกิดขึ้นเมื่อกรดเปอร์ฟอร์มิกทำปฏิกิริยากับสารอื่น ปฏิกิริยานี้จะสูญเสีย HP เพียงอย่างเดียวเพราะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาการสลายตัวนี้คือกรดฟอร์มิกซึ่งมันจะกลับไปทำปฏิกิริยากับ HP และเกิดเป็นกรดเปอร์ฟอร์มิกอีกครั้ง ในส่วนของสมการที่ 3 นี้จะเกิดขึ้นพร้อมกันกับการก่อตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกสมการนี้จะทำให้สูญเสียทั้งกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [4]

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของแก้ว, HDPE และPP ต่อการต้านทานกรดเปอร์ฟอร์มิกว่าสามารถใช้ในการสังเคราะห์และการเก็บรักษากรดเปอร์ฟอร์มิกได้หรือไม่ โดยแก้วและโลหะนั้นมีความสามารถในการเร่งการสลายตัวของ HP ในขณะที่พอลิเมอร์สามารถถูกกัดกร่อนได้ด้วยกรดเข้มข้นหรือสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความต้านทานของ HDPE และ PP ต่อกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นมีอยู่แต่จะต้องมีการพิจารณาถึงกรดเปอร์ฟอร์มิกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานต่อการโจมตีของของกรดเปอร์ฟอร์มิก ของภาชนะบรรจุที่ทำจาก แก้วไพเร็กซ์, พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และพอลิโพรพิลีน ในระหว่างการสังเคราะห์และการเก็บรักษากรดเปอร์ฟอร์มิกที่อุณหภูมิห้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ใช้กรดฟอร์มิกความเข้มข้น 99 wt% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 50 wt% และน้ำกลั่นในการเตรียมกรดเปอร์ฟอร์มิก

1.3.2 วิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมดในปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter โดยการวัดค่า pH หลังจากทำการหยดสารละลายโซเดรียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

1.3.3 วิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาโดยการไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส ($KMnO_4$)

1.3.4 เตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิก (PFA) โดยแบ่งเก็บในขวดแก้ว (pyrex flask), HDPE และ PP ที่อุณหภูมิห้อง

1.3.5 เตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน 3 สัดส่วน (1:0.8, 1:1.6 และ 1:3.2)

1.3.6 เตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันที่ 1:1.6 แต่ความเข้มข้นต่างกัน

## 1.4 โครงสร้างของโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่จะนำเสนอ

โครงร่างวิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของงานวิจัย รวมถึงขอบเขตและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีและข้อมูลจากเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

บทที่ 3 วิธีการทดลอง กล่าวถึงการทำการทดลองตั้งแต่การเตรียมสาร วิธีการเก็บผลการทดลอง และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 4 อภิปรายผลการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลจากการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน และผลของการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันแต่แต่ความเข้มข้นต่างกัน

บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลการทดลองในบทที่ 4

ภาคผนวก แสดงตัวอย่างการคำนวณ ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง กราฟและข้อมูลการไทเทรตที่ได้จากเครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter ซึ่งละไว้ในเนื้อหาหลัก

# บทที่2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 กรดฟอร์มิก ($CH_2O_2$)

กรดฟอร์มิก(Formic acid: $CH_2O_2$) หรือกรดมดมีชื่อทางการว่ากรดเมทาโนอิก (Methanoic acid) เป็นกรดคาร์บอกซิลิกอย่างง่ายมีสูตรทางเคมีคือ HCOOH กรดฟอร์มิกเป็นของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นฉุน สามารถผสมกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วได้นอกจากนี้ยังสามารถละลายได้ในไฮโดรคาร์บอน [5]

กรดฟอร์มิกนั้นมีความสำคัญอย่างมากในอุตสาหกรรมยาโดยใช้สำหรับการผลิตยาพื้นฐานและสารกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ยังมีความสำคัญในอุตสาหกรรมเคมี, ยาง และเครื่องหนัง ซึ่งกรดฟอร์มิกนั้นถูกใช้เป็นตัวกลางที่สำคัญในการสังเคราะห์สารเคมี เป็นสารเพิ่มคุณภาพยางและป้องกันการเสื่อมสภาพของยางและใช้เพื่อทดแทนกรดอนินทรีย์สำหรับการต้มหนังและกำจัดขนในอุตสาหกรรมเครื่องหนัง [5, 6]

ในช่วงแรกกรดฟอร์มิกถูกผลิตโดยโซเดียมฟอร์เมตแต่กระบวนการนี้ได้รับผลกระทบจากความเป็นพิษของกรดกำมะถันและผลพลอยได้ที่กำจัดได้ยาก ทาง BASF จึงทำการพัฒนากระบวนการฟอร์มาไมด์ (Formamide) ในการสังเคราะห์กรดฟอร์มิกขึ้นโดยใช้คาร์บอนมอนอกไซด์, เมทานอล และโซเดียมเมทอกไซด์ในกระบวนการ

กระบวนการเมทิลฟอร์เมตไฮโดรไลซิสถูกใช้เป็นกระบวนการหลักในการสร้างกรดฟอร์มิกผลพลอยได้คือเมทนอลซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้เมื่อมีการแยกและการกลั่น โดยเมทิลฟอร์เมตนั้นถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาคาร์บอนิลเลชั่น (Carbonylation) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์และเมทานอลโดยมีโซเดียมเมทิลเลตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นเมทิลฟอร์เมตจะถูกไฮโดรไลซ์ไปเป็นกรดฟอร์มิกและเมทานอล ในทางอุตสาหกรรมปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในเฟสของของเหลวที่ความดันสูง [5, 6] ปฏิกิริยาเมทิลฟอร์เมตไฮโดรไลซิสแสดงตามสมการที่ 2.1

$$HCO_2CH_3 + H_2O \rightarrow HCOOH + CH_3OH \qquad (2.1)$$

กรดฟอร์มิกสามารถพบได้ในธรรมชาติโดยจะพบมากในสัตว์จำพวกมด ในผึ้งบางสกุลและหนอนผีเสื้อกลางคืนก็สามารถพบได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังสามารถพบกรดฟอร์มิกได้ในผักและผลไม้บางชนิด เช่น สับปะรด, แอปเปิ้ล, กีวี, หัวหอม, มะเขือม่วงและแตงกวาแต่พบในความเข้มข้นที่ต่ำมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ส่วนการสลายตัวของกรดฟอร์มิกนั้นกรดฟอร์มิกสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วโดยการคายน้ำ (Dehydration) เมื่อมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นการสลายตัวนี้จะให้คาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำ [5] แพลเลเดียม (Pd) และแพลทินัม (Pt) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในกระบวนการออกซิเดชั่นของกรดฟอร์มิก การเกิดออกซิเดชั่นของกรดฟอร์มิกบนตัวเร่งปฏิกิริยา Pt นั้นการสลายตัวของกรดฟอร์มิกจะเกิดขึ้นผ่านกระบวนการคายน้ำ (Dehydration) การสลายตัวนี้จะให้คาร์บอนมอนอกไซด์และน้ำ ส่วนการออกซิเดชั่นของกรดฟอร์มิกบนตัวเร่งปฏิกิริยา Pd นั้นการสลายตัวของกรดฟอร์มิกจะเกิดขึ้นผ่านกระบวนการดีไฮโดรจิเนชัน (Dehydrogenation) การสลายตัวนี้จะนำไปสู่การสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน [7]

## 2.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide: $H_2O_2$) เป็นสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (สารประกอบที่มีออกซิเจนสองอะตอมที่เชื่อมกันด้วยพันธะเดี่ยว) ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างรุนแรง เป็นของเหลวใสไม่มีสีที่อุณหภูมิห้อง มีรสขม มีความหนืดมากกว่าน้ำเล็กน้อย ไม่เสถียรภายใต้สภาวะที่เป็นด่าง แต่ในรูปของสารบริสุทธิ์จะเป็นของเหลวสีฟ้าอ่อน [8,9]

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถสลายตัวได้ด้วยตัวเองอย่างช้าๆผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวนี้คือน้ำและแก๊สออกซิเจน แต่เมื่อสัมผัสกับแสงและความร้อนการสลายตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การสลายตัวยังถูกเร่งได้ด้วยไอออนของโลหะเช่น เหล็ก, สังกะสี, ทองแดง และอลูมิเนียม อัตราการสลายตัวจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ความเข้มข้น และpHของสารละลาย [8-10] ปฏิกิริยาการสลายตัวแสดงตามสมการที่ 2.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$2H_2O_2\,(aq) \rightarrow 2H_2O\,(g) + O_2\,(g) \qquad (2.2)$$

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นิยมใช้เป็นสารฆ่าเชื้อบรรจุภัณฑ์อาหารที่ความเข้มข้นประมาณ 30-35% ที่ความเข้มข้นต่ำประมาณ 3-9% มักใช้ในอุตสาหกรรมที่ผลิตของใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมทางการแพทย์ ที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจะถูกใช้ในการผลิตยางโฟมและสารเคมีอินทรีย์และปริมาณส่วนใหญ่ของการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นิยมใช้เป็นสารฟอกขาวสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอและกระดาษ นอกจากนี้ที่ความเข้มข้น 90% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยังถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนจรวดอีกด้วย [8-11]

ความอันตรายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีฤทธิ์กัดกร่อนนั้นหากสัมผัสโดนผิวหนังจะทำลายเนื้อเยื่อ เกิดจุดด่างขาวบนผิวหนัง หรือผิวหนังไหม้ได้ เมื่อสัมผัสถูกดวงตาจะทำให้เกิดการ

ระคายเคือง ตาปวดแดง ตาพร่ามัว หากมีการสูดดมจะทำให้เกิดอาการเจ็บคอ ไอ วิงเวียนศรีษะ คลื่นไส้ และการหายใจผิดปกติ และถ้าหากมีการกลืนกินสารนี้เข้าไปจะทำให้เกิดอาการปวดท้อง ท้องป่อง ท้องร่วง คลื่นไส้อาเจียน และสารนี้จะเข้าไปทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในเส้นเลือดซึ่งจะทำให้เกิดการช็อกได้ [12]

**2.3 กรดเปอร์ฟอร์มิก ($CH_2O_3$)**

กรดเปอร์ฟอร์มิก(Performic acid: $CH_2O_3$) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่เสถียรมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง เป็นของเหลวไม่มีสีเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ละลายได้ในน้ำ แอลกอฮอลล์ อีเธอร์ เบนซีน คลอโรฟอร์มและตัวทำละลายอินทรีย์ กรดเปอร์ฟอร์มิกไม่มีพิษแต่สามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังได้กรดเปอร์ฟอร์มิกสามารถสลายตัวได้เมื่อได้รับความร้อนซึ่งการสลายตัวนี้อาจก่อให้เกิดควันที่มีกลิ่นฉุนและการระคายเคืองแต่ถ้าหากได้รับความร้อนอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 80-85 $^{o}$C จะทำให้เกิดการระเบิดได้ นอกจากนี้กรดเปอร์ฟอร์มิกอาจเกิดการสลายตัว จุดติดไฟ หรือระเบิดได้ที่อุณหภูมิห้องหรือเมื่อเจอกับสารที่ติดไฟได้เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์, เบนซาลดีไฮด์และจะระเบิดอย่างรุนแรงเมื่อเจอกับผงโลหะ

กรดเปอร์ฟอร์มิกสามารถสังเคราะห์ได้โดยปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปฏิกริยาจะเป็นแบบคายความร้อน กรดฟอร์มิกนั้นสามารถแยกไฮโดรเจนไอออนได้ซึ่งจะทำให้การสังเคราะห์เกิดได้เร็วพอแม้จะไม่มีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ถึงอย่างนั้นไฮโดรเจนไอออนกลับส่งผลต่อการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิก ดังนั้นจึงนิยมเติมกรดแก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อยับยั้งการแตกตัวเป็นไอออนของกรดฟอร์มิกและลดการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกกรดที่นิมยมใช้ได้แก่ กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid, $H_2SO_4$) หรือกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, $H_3PO_4$) เป็นต้น ปฏิกิริยาของการสังเคราะห์เป็นปฏิกิริยาแบบสมดุลผันกลับได้ (Reversible reaction equilibrium) [1-3, 13] สมการในการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกแสดงตามสมการที่ 2.3

$$HC(O)OH\ (l) + H2O2\ (l) \leftrightarrow HC(O)OOH + H_2O \qquad (2.3)$$

การสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกนั้นเกิดได้2แบบ แบบที่1คือการสลายตัวที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวนี้คือคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ สมการแสดงปฏิกิริยาการสลายตัวแบบที่1นี้แสดงตามสมการที่ 2.4 แบบที่ 2 คือการสลายตัวเมื่อกรดเปอร์ฟอร์มิก

ทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวนี้คือกรดฟอร์มิกและออกซิเจน สมการแสดงปฏิกิริยาการสลายตัวแบบที่1นี้แสดงตามสมการที่ 2.5 [4]

$$HC(O)OOH \rightarrow CO_2 + H_2O \qquad (2.4)$$

$$HC(O)OOH \rightarrow HC(O)OH + O \qquad (2.5)$$

เนื่องจากคุณสมบัติที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงของกรดเปอร์ฟอร์มิกทำให้มันเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมการแปรรูปทางเคมี การสังเคราะห์ และการฟอกสี นอกจากนี้ยังนิยมใช้เป็นสารฆ่าเชื้อเครื่องมือและบรรจุภัณฑ์ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย กรดเปอร์ฟอร์มิกนั้นยังถูกใช้เป็นตัวออกซิไดซ์อเนกประสงค์สำหรับการออกซิไดซ์น้ำมันไม่อิ่มตัว(Unsaturated oil) เพื่อสังเคราะห์พลาสติกไซเซอร์อีพ็อกซีอีกด้วย [2,3]

**2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

SUN และคณะ [1] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกโดยจะทำการตรวจสอบผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดฟอร์มิก โดยทำการเตรียมกรดเปอร์ฟอร์มิกผ่านปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอร์มิก (เข้มข้น 88%) 5.5 ml กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (เข้มข้น 30%) 34.5 ml สารละลายจะถูกใส่ลงในขวดแก้วที่มีจุกใสและสะอาดขนาด 100 ml ที่ถูกแช่อยู่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Thermostat water bath) ขวดแก้วที่นำมาใช้จะต้องถูกทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างเครื่องแก้ว ตามด้วยน้ำกลั่น ต่อมาคือล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% และล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่นเป็นขั้นตอนสุดท้าย ในการวิเคราะห์ตัวอย่างนั้นจะทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาหนึ่งของปฏิกิริยาและใช้น้ำกลั่นเย็นในการเจือจาง ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการไทเทรตด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต กรดเปอร์ฟอร์มิกจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีไอโอโดเมตริก จากการศึกษาพบว่าการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกส่วนใหญ่จะเป็นการสลายตัวแบบเกิดขึ้นได้เองและเป็นการสลายตัวที่มีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังพบว่าการสลายตัวทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นมีเพียงเล็กน้อยเนื่องจากในเฟสของของเหลวพลังงานสำหรับการทำลายพันธะ O—O นั้นค่อนข้างสูง และความเข้มข้นของสารตั้งต้นนั้นมีผลต่อการสังเคราะห์และการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

Jolhe และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเตรียมกรดเปอร์ฟอร์มิกโดยมีการฉายรังสีอัลตราโซนิกช่วย การเตรียมนี้จะเกิดขึ้นในเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก

(Continuous flow microstructured reactor) พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลในการศึกษานี้ได้แก่ อัตราส่วนโมลาร์ของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อัตราการไหล อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยานั้นจะมีอัตราการไหลของสารตั้งต้นอยู่ที่ 50 มล. ต่อชั่วโมง อัตราส่วนระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือ 1:1 อุณหภูมิที่ใช้คือ 40 °C และการโหลดตัวเร่งปฏิกิริยาอยู่ที่ 471 มก.ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากการศึกษาพบว่าการสังคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่ใช้อัลตราซาวนด์ช่วยจากการสังเกตเวลานั้นพบว่าเวลาที่ใช้ในปฏิกิริยานั้นจะสิ้นสุดภายใน10นาทีหรือน้อยกว่านั้น ความเข้มข้นที่สังเกตได้นั้นเป็นผลมาจากการทรุดตัวของรูพรุนที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำระหว่างการฉายรังสีด้วยเหตุนี้ทำให้การถ่ายโอนความร้อนระหว่างมวลจะเพิ่มขึ้นจากการก่อตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ระหว่างเกิดปฏิกิริยา สรุปการใช้อัลตราซาวนด์ช่วยในการเตรียมกรดเปอร์ฟอร์มิกร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องที่มีโครงสร้างขนาดเล็กนั้นส่งผลไปในทางที่ดีต่อการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิก

K. B. Keating และ A. G. Rozner [14] ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนแก้วทั้งในเฟสของของเหลวและแก๊ส ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในงานนี้คือ 30% โดยน้ำหนัก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ถูกเจือจางเป็น 0.3% ด้วยการเติมน้ำกลั่นในระหว่างการศึกษาสารละลายจะถูกเก็บให้พ้นจากแสงและความร้อน เครื่องแก้วทั้งหมดที่ถูกสัมผัสด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะต้องถูกนำไปแช่ด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 35% เป็นเวลา1ชั่วโมงจากนั้นจะนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ110 °C เป็นเวลา3ชั่วโมง การวิเคราะห์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทำได้ด้วยวิธีการไทเทรตด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต จากการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ของการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการทำความสะอาดเครื่องแก้วและการสลายตัวในเฟสของของเหลวและแก๊สนั้นเหมือนกัน

Paul A. และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาอัตราการสลายตัวทางความร้อนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งวัดด้วยวิธี static method ที่ความดันต่ำในช่วงอุณหภูมิที่ 300-600 °C ในภาชนะที่เป็นแก้วที่ถูกทำความสะอาดอย่างระมัดระวัง จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการสลายตัวนั้นคือน้ำและออกซิเจน ในช่วงอุณหภูมิที่ 300-600 °C ปฏิกิริยาจะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเสมอ และที่ช่วงอุณหภูมิประมาณ 400°C ลักษณะของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนจากสารเนื้อผสม (Heterogeneous)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ไปเป็นสารเนื้อเดียว (Homogeneous) นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

Goldman M. และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และการฆ่าเชื้อต่อโครงสร้างและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนน้ำหนักโมเลกุลสูงพิเศษ (UHMWPE) ที่เป็นเกรดทางการแพทย์ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างจุลภาคที่ถูกกระตุ้นผ่านการฆ่าเชื้อด้วยรังสีแกมมาและถูกเร่งโดยการเสื่อมสภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้การวิเคราะห์จากความแตกต่างของความร้อนที่ใช้ในการสแกน, ความแตกต่างของคอลัมน์ในการไล่ระดับความหนาแน่น, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านและการกระเจิงชองรังสีเอกซ์ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เหล่านี้จะถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดลักษณะของโครงสร้าง โดยในผลการวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอกลไกสำหรับการเกิดออกซิเดชั่นของ UHMWPE ซึ่งออกซิเจนถูกรวมเข้ากับวัฏภาคอสัณฐานของพอลิเมอร์สิ่งนี้จะนำไปสู่การแตกหักของโมเลกุลในพอลิเมอร์ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวขนาดเล็กและการแตกตัว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่3
# วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายการเตรียมสารสำหรับการทดลอง วิธีการเก็บผลการทดลอง และวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

## 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

**1.** กรดฟอร์มิก (HCOOH) 99 %wt จากบริษัท DeaJung Chemicals & Metals

**2.** ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) 50 %wt จากบริษัท Thai Peroxide Company

**3.** กรดซัลฟิวริก (H2SO4) 97 %wt จากบริษัท Quality Reagent Chemical (QReC)

## 3.2 การเตรียมตัวอย่าง

### 3.2.1 การเตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:0.8

1. ปิเปต $H_2O_2$ความเข้มข้น 50 %w/w ปริมาตร 20 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 20 ml

2. ปิเปตกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 99 %w/w ปริมาตร 20 ml เติมลงไปและผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง

3. ทำการไทรเทรตเพื่อวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และวัดปริมาณกรดทั้งหมดที่เวลา 10, 60, 90 และ 120 นาที ข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลของวันที่ 0

4. เมื่อครบ 120 นาทีแล้วนำตัวอย่างที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ไปแบ่งเก็บในภาชนะ 3 ชนิด คือแก้วไพเร็กซ์, HDPE และ PP โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5. หลังจากนั้นเก็บผลการไทเทรตของภาชนะทั้ง 3 ชนิดวันละ 1 ครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 3.2.2 การเตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:1.6

1. ปิเปต $H_2O_2$ความเข้มข้น 50 %w/w ปริมาตร 40 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 40 ml

2. ปิเปตกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 99 %w/w ปริมาตร 20 ml เติมลงไปและผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง

3. ทำการไทรเทรตเพื่อวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และวัดปริมาณกรดทั้งหมดที่เวลา 10, 60, 90 และ 120 นาที ข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลของวันที่ 0

4. เมื่อครบ 120 นาทีแล้วนำตัวอย่างที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ไปแบ่งเก็บในภาชนะ 3 ชนิด คือแก้วไพเร็กซ์, HDPE และ PP โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5. หลังจากนั้นเก็บผลการไทเทรตของภาชนะทั้ง 3 ชนิดวันละ 1 ครั้ง

**3.2.3 การเตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:3.2**

1. ปิเปต $H_2O_2$ความเข้มข้น 50 %w/w ปริมาตร 40 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำกลั่นอยู่ 50 ml

2. ปิเปตกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 99 %w/w ปริมาตร 10 ml เติมลงไปและผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง

3. ทำการไทรเทรตเพื่อวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และวัดปริมาณกรดทั้งหมดที่เวลา 10, 60, 90 และ 120 นาที ข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลของวันที่ 0

4. เมื่อครบ 120 นาทีแล้วนำตัวอย่างที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ไปแบ่งเก็บในภาชนะ 3 ชนิด คือแก้วไพเร็กซ์, HDPE และ PP โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5. หลังจากนั้นเก็บผลการไทเทรตของภาชนะทั้ง 3 ชนิดวันละ 1 ครั้ง

**3.2.4 การเตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:1.6 แต่ความเข้มข้นแตกต่างจากตัวอย่างที่ 3.2.2**

1. ปิเปต $H_2O_2$ความเข้มข้น 50 %w/w ปริมาตร 40 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่

2. ปิเปตกรดฟอร์มิกความเข้มข้น 99 %w/w ปริมาตร 20 ml เติมลงไปและผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง

3. ทำการไทรเทรตเพื่อวัดปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และวัดปริมาณกรดทั้งหมดที่เวลา 10, 60, 90 และ 120 นาที ข้อมูลนี้จะเป็นข้อมูลของวันที่ 0

4. เมื่อครบ 120 นาทีแล้วนำตัวอย่างที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ไปแบ่งเก็บในภาชนะ 3 ชนิด คือแก้วไพเร็กซ์, HDPE และ PP โดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

5. หลังจากนั้นเก็บผลการไทเทรตของภาชนะทั้ง 3 ชนิดวันละ 1 ครั้ง

**3.3 การเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก ($H_2SO_4$) ความเข้มข้น 1:4**

เตรียมโดยการผสมกรดซัลฟิวรัก 1 ส่วนต่อน้ำ 4 ส่วน ตัวอย่างเช่น ต้องการสารละลายกรดซัลฟิวริก 1,000 ml จะเตรียมโดยการปิเปตกรดซัลฟิวริก 200 ml ลงในบีกเกอร์ 1,000 mlจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปผสม 800 ml เพื่อให้ได้ปริมาตรสารละลายกรดซัลฟิวริก 1,000 ml

**3.4 การเตรียมและการหาความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)**

**3.4.1 การเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) 0.02 M**

1. ชั่งน้ำหนัก $KMnO_4$ มาประมาณ 3.16 g

2 นำมาละลายด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml ในขวดสีชา

**3.4.2 การหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)**

1. ชั่งกรดออกซาลิก 0.05 g (จดค่าตัวเลขที่แน่นอน) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่แห้งสนิท จากนั้นเติมน้ำกลั่นประมาณ 10 ml ลงไปเพื่อละลายต่อมาเติมสารละลายกรดซัลฟิวริก (เข้มข้น 1:4) 10 ml ลงไปและเขย่าให้กรดออกซาลิกละลายจนหมด

2. นำสารละลายไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 60 $^{o}$C

3. นำสารละลายในขวดรูปชมพู่มาทำการไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในขณะที่สารยังอุ่นอยู่ หากยังมีกรดออกซาลิกเหลืออยู่สีม่วงของเปอร์แมงกาเนตที่หยดลงไปจะหายไป ทำการไทเทรตจนสีม่วงของเปอร์แมงกาเนตค้างอยู่ประมาณ 30 วินาที ในระหว่างที่ทำการไทเทรตหากสารละลายในขวดรูปชมพู่เย็นตัวลงให้นำไปอุ่นใหม่

4. ทำการไทเทรตทั้งหมด 2 ครั้ง โดยครั้งแรกจะทำการไทเทรตอย่างรวดเร็วเพื่อดูว่าจุดยุติมีค่าประมาณเท่าไหร่ จากนั้นในครั้งที่ 2 ค่อยทำการไทเทรตด้วยความระมัดระวังเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้นมาใช้ในการคำนวณ

5. คำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เตรียมได้ตามสูตรดังต่อไปนี้

$$C_{KMnO_4} = W_{oxalic} / (90.03 \times 2.5 \times V_{KMnO_4}) \qquad (3.1)$$

เมื่อ $C_{KMnO_4}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (M)

$W_{oxalic}$ คือ น้ำหนักของกรดออกซาลิก (g)

$V_{KMnO_4}$ คือ ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ (ml)

2.5 คือ อัตราส่วนการทำปฏิกิริยาระหว่าง $MnO_{4-}$ กับ $C_2O_4^{2-}$

## 3.5 การเตรียมและการหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

### 3.5.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นประมาณ 0.5 M

1. ชั่ง NaOH 20 g ใส่ลงในบีกเกอร์
2. เติมน้ำกลั่นเพื่อละลายสารและปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 ml
3. นำสารละลายที่ปรับปริมาตรเรียบร้อยแล้วเทใส่ลงในขวดสีชา

### 3.5.2 การหารความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1. ชั่งสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) ที่อบไล่ความชื้นแล้วมาประมาณ 0.3 g ลงในบีกเกอร์
2. ละลายสารโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตจนหมดด้วยการเติมน้ำกลั่นลงไป
3. หยด Phenolphthalein 2-3 หยดลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย KHP อยู่
4. ทำการไทเทรตหาความเข้มข้นของ NaOH ด้วยเครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter
5. ใช้ออโต้ปิเปตดูดสารละลาย NaOH ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย KHP ครั้งละประมาณ 10-100 ไมโครลิตร หยดจนกว่าสารละลาย KHP จะเปลี่ยนสี เมื่อสารละลาย KHP เปลี่ยนสีแล้วเราจะนำค่าปริมาตรของ NaOH ที่ใช้ไปมาคำนวณตามสูตรดังต่อไปนี้

$$C_{NaOH} = W_{KHP}/(204.22 \times 1 \times V_{NaOH}) \qquad (3.2)$$

เมื่อ $C_{NaOH}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (M)

$W_{KHP}$ คือ น้ำหนักของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (g)

$V_{NaOH}$ คือ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (ml)

204.33 คือ น้ำหนักโมเลกุลของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (g/mol)

1 คือ อัตราส่วนการทำปฏิกิริยาระหว่าง KHP กับ NaOH

**3.6 การเตรียมและการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter**

**3.6.1 การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง เครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter**

1. ดูดสารละลายตัวอย่างประมาณ 100-300 ไมโครลิตรลงในบีกเกอร์100 ml ด้วยออโต้ปิเปต (Automatic pipette) ที่วางอยู่บนเครื่องชั่งสารเพื่อทำการจดค่าน้ำหนักที่แน่นอน

2. จากนั้นเติมน้ำกลั่นเย็นลงไป 60 ml (ท่วมหัว probe)

3. นำบีกเกอร์ที่มีสารตัวอย่างไปตั้งบนเครื่องกวนสาร (Magnetic Stirrer) เปิดการปั่นกวนโดยจะใช้ความเร็วรอบที่ 360 rpm จะเปิดให้มีการปั่นกวนตลอดเวลาในการไทเทรต

4. ใช้ออโต้ปิเปตในการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในบีกเกอร์ตัวอย่างครั้งละประมาณ 5 -100 ไมโครลิตร จดบันทึกปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดลงไปต่อครั้งกับ pH ที่อ่านค่าได้จากเครื่อง

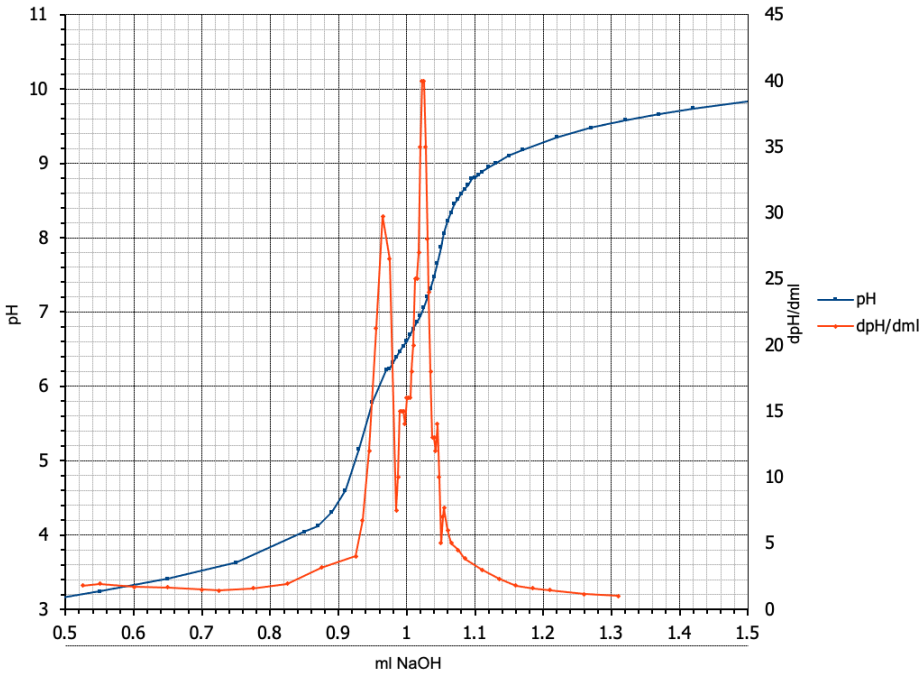
5. นำค่าที่บันทึกได้ไปคำนวณหาค่าความเข้มข้นของกรดทั้งหมดตามสูตรดังต่อไปนี้

**รูปที่ 3.1** เครื่อง **Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter** และ Magnetic Stirrer ที่ใช้ในการไทเทรต

### 3.6.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่องเครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter

นำข้อมูลที่ได้จากการไทเทรตซึ่งประกอบไปด้วยปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดลงไปในบีกเกอร์ตัวอย่างและค่า pH ที่อ่านได้ นำไปพล็อตกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดลงไปกับค่า pH ที่อ่านได้และพล็อตกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไปกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH (dpH/dml) ดังรูป 3.2 และสำหรับสมการในการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH สามารถทำได้โดยการนำฟังก์ชันพหุนาม (polynomial) มาสร้าง interpolation function ขึ้นมาและนำไปหาค่าอนุพันธ์ โดยฟังก์ชันสมการที่ได้มาคือฟังก์ชันสมการหาค่าอนุพันธ์อันดับ 1 ซึ่งฟังก์ชันสมการนี้จะนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณกรดทั้งหมด สมการแสดงดังต่อไปนี้ (รายละเอียดการคำนวณค่า dpH/dml รายงานไว้ในภาคผนวก ค)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2x-(b+c)}{(a-b)(a-c)} f(a) + \frac{2x-(a+c)}{(b-a)(b-c)} f(b) + \frac{2x-(a+b)}{(c-a)(c-b)} f(c) \quad (3.3)$$




**รูปที่ 3.2** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไปและค่า pH ที่อ่านได้และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมไปและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH (dpH/dml)

จากรูปที่ 3.2 ตำแหน่งจุดสมมูลของสารแต่ละตัวที่ได้จากการไทเทรตจะพิจารณาจากตำแหน่งที่มีค่าอัตราการเปลี่ยนของค่า pH (dpH/dml) สูงที่สุดร่วมกับความชันของกราฟ แต่ในบางครั้งกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมไปและอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH (dpH/dml) อาจเกิดการแกว่งไปมาทำให้การดูจุดสมมูลของกราฟเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงแก้ปัญหานี้โดยการใช้โปรแกรม fityk ในการหาตำแหน่งจุดสมมูลของกราฟที่มีการแกว่งของข้อมูล (วิธีการใช้งานโปรแกรม fityk ได้รายงานไว้ในภาคผนวก จ)

### 3.7 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยการไทเทรต (Titration) ด้วยสารละลาย $KMnO_4$

1 ใช้ออโต้ปิเปต (Automatic pipette) ดูดสารละลายตัวอย่างมา 100 ไมโครลิตรลงในขวดรูปชมพู่ที่วางอยู่บนเครื่องชั่งสารเพื่อทำการจดค่าน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 10 ml

2. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก (เข้มข้น 1:4) 10 ml ลงไปและผสมให้เข้ากัน

3. ทำการไทเทรตด้วยสารละลาย $KMnO_4$ โดยตัวอย่าง 1 ตัวจะทำการไทเทรตทั้งหมด 2 ครั้ง ครั้งแรกจะเป็นการไทเทรตแบบรวดเร็วเพื่อดูจุดยุติว่ามีค่าประมาณเท่าไหร่และในครั้งที่ 2 จะทำการไทเทรตด้วยความระมัดระวังเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น

4. ทำการไทเทรตจนเห็นหยดแรกที่ทำให้สีม่วงของเปอร์แมงกาเนตไม่หายไป

5. นำปริมาณของสารละลายเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ไปกับน้ำหนักของสารละลายตัวอย่างที่ชั่งได้มาใช้ในการคำนวณหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**3.8 การหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิก กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**
(ตัวอย่างการคำนวณรายงานไว้ในภาคผนวก ง)
**3.8 การหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิก กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**
(ตัวอย่างการคำนวณรายงานไว้ในภาคผนวก ง)
**3.8 การหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิก กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**
(ตัวอย่างการคำนวณรายงานไว้ในภาคผนวก ง)

**3.8.1 การหาปริมาณกรดฟอร์มิก (FA)**

1. หาจำนวนโมลของกรดฟอร์มิก

$$\text{mole of FA (mol)} = \frac{C_{NaOH}\text{(mol/l)} \times \text{ปริมาณ NaOH ณ จุดสมมูลที่ 1 (ml)}}{1000\ \text{(ml)}}$$

2. หาเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของ FA ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

$$\%\ \text{weight of FA ที่เหลือ} = \frac{\text{mole of FA} \times \text{MW. of FA (g/mol)}}{\text{weight of sample (g)}} \times 100$$

3. หาเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของปริมาณกรดรวมทั้งหมดที่เป็น FA

$$\%\text{Total acid as FA} = \frac{\text{total mole of acid (mol)} \times \text{MW. of FA (g/mol)}}{\text{weight of sample (g)}} \times 100$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3.8.2 การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$)**

1. หาจำนวนโมลของ $H_2O_2$

$$\text{mole of } H_2O_2\text{ (mol)} = \frac{2.5 \times C_{KMnO_4}\text{(mol/l)} \times V_{KMnO_4}\text{ที่ใช้ไป (ml)}}{1000\ \text{(ml)}}$$

2. หาเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของ $H_2O_2$ ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

$$\% \text{ weight of } H_2O_2 \text{ ที่เหลือ} = \frac{\text{mole of } H_2O_2 \text{ x MW. of } H_2O_2 \text{ (g/mol)}}{\text{weight of sample (g)}} \text{ x } 100$$

3. หาเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของ $H_2O_2$ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

$$\% \text{ weight of } H_2O_2 \text{ ที่ใช้ไป} = \frac{\%\text{weight of PFA ที่เกิด x MW. of } H_2O_2 \text{ (g/mol)}}{\text{MW. of PFA (g/mol)}}$$

4. หาเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทั้งหมด

$\%$ total weight of $H_2O_2$ = $\%$ weight of $H_2O_2$ ที่เหลือ +$\%$ weight of $H_2O_2$ ที่ใช้ไป

**3.8.3 หาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิก (PFA)**

1. หาจำนวนโมลของ PFA ที่เกิดขึ้น

$$\text{Mole of PFA (mol)} = \frac{C_{NaOH}\text{(mol/l) x (ปริมาณ NaOH ณ จุดสมมูลที่ 2-จุดสมมูลที่ 1) (ml)}}{\text{1000 (ml)}}$$

2. หาเปอร์เซ็นโดยน้ำหนักของ PFA ที่เกิดขึ้น

$$\% \text{ weight of PFA ที่เกิดขึ้น} = \frac{\text{mole of PFA x MW. of PFA (g/mol)}}{\text{weight of sample (g)}} \text{ x } 100$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. การหาปริมาณกรดรวมทั้งหมด

Total mole of acid = mole of FA + mole of PFA

# บทที่ 4
# ผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิก โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

หัวข้อ 4.1 ผลจากการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน

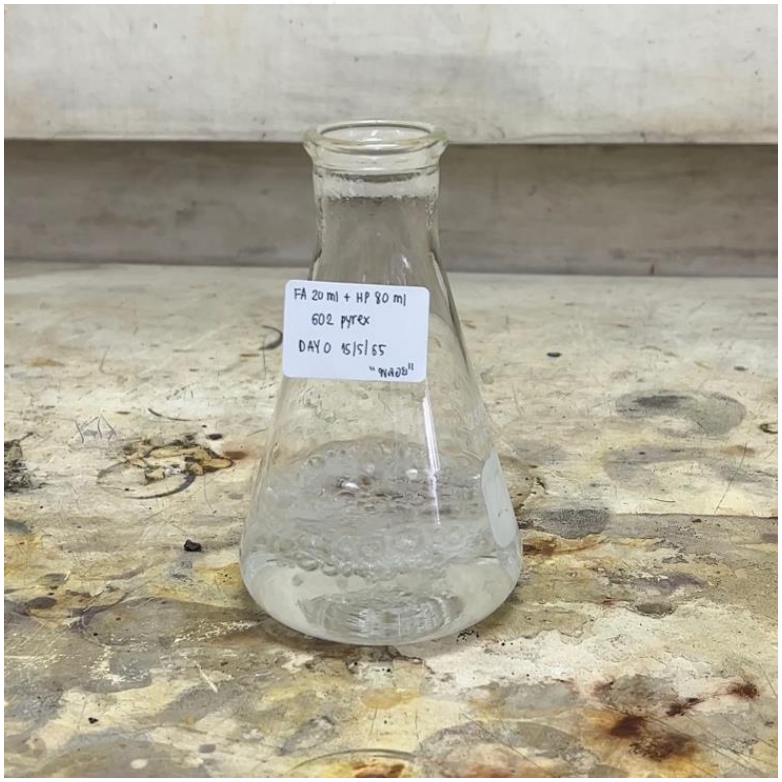
หัวข้อ 4.2 ผลของการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันแต่แต่ความเข้มข้นต่างกัน

ก่อนอื่นขอทบทวนปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดและการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกดังนี้

- ปฏิกิริยาการเกิดกรดเปอร์ฟอร์มิกเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดฟอร์มิกและ $H_2O_2$ ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดกรดเปอร์ฟอร์มิกและน้ำโดยปฏิกิริยานี้สามารถผันกลับได้ (ปฏิกิริยานี้แสดงในสมการที่ 1.1)
- ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกซึ่งเกิดขึ้นได้ 2 แบบ
    ก. ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่จะเกิดขึ้นเมื่อกรดเปอร์ฟอร์มิกทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่น ปฏิกิริยานี้กรดเปอร์ฟอร์มิกจะจ่ายออกซิเจนออกไปทำให้ได้กรดฟอร์มิกใหม่อีกครั้งดังนั้นกรดฟอร์มิกที่เกิดขึ้นมาใหม่นี้จะกลับเข้าไปทำปฏิกิริยากับ $H_2O_2$ และเกิดเป็นกรดเปอร์ฟอร์มิกใหม่ การสลายตัวรูปแบบนี้จะไม่ทำให้กรดหายแต่ $H_2O_2$ จะหายไป (ปฏิกิริยานี้แสดงในสมการที่ 1.2)
    ข. ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกไปเป็น $CO_2$ และน้ำโดยจะเกิดขึ้นในขณะที่มีการก่อตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิก ปฏิกิริยานี้จะทำให้มีการหายไปของทั้งกรดและ $H_2O_2$ (ปฏิกิริยานี้แสดงในสมการที่ 1.3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ต่อมาจะขอกล่าวถึงการเลือกสัดส่วนผสมระหว่างกรดฟอร์มิกและ $H_2O_2$ เนื่องจากในการเลือกสัดส่วนนั้นมีข้อควรระวังอยู่เพราะในสัดส่วนที่แตกต่างกันนั้นจะให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันด้วย ในที่นี้จะยกตัวอย่างการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอรมิกโดยการผสม $H_2O_2$ (50%w/w) 80 ml กับกรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml ในขวดรูปชมพู่ (Pyrex flask) โดยพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปหลังจาก 120 นาทีแล้ว สารละลายตัวอย่างมีการเกิดปฏิกิริยาที่รุนแรงอุณหูภูมิมีการเพิ่มสูงขึ้นทำให้มีการเดือดของสาร ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ทำการทดลองที่ 3 สัดส่วนนี้เนื่องจากมีความปลอดภัยและสามารถติดตามผลได้ในระยะเวลาหลายวัน

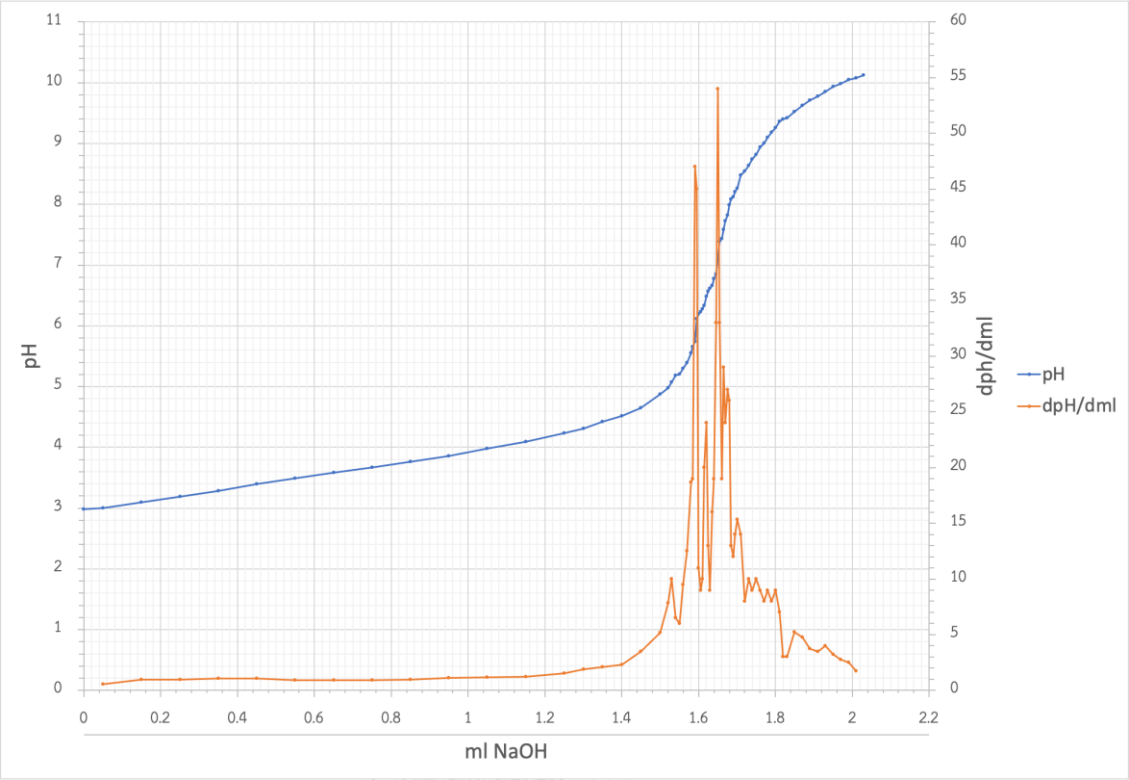



**รูปที่ 4.3** การเกิดปฏิกิริยารุนแรงของการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอรมิกโดยการผสมกรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml กับ $H_2O_2$ (50%w/w) 80 ml

**4.1 ผลจากการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน**

**(ก) ผลจากการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:0.8**

การเตรียมตัวอย่างการทดลองเริ่มต้นจากการผสม H2O2 (50%w/w) 20 ml + น้ำกลั่น 20 ml ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันในขวดรูปชมพู่ (Pyrex flask) จากนั้นค่อยทำการเติมกรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml ลงไป ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ติดตามการเปลี่ยนแปลงที่ 10, 60, 90 และ 120 นาที การติดตามการเปลี่ยนแปลงนี้จะใช้เป็นข้อมูลในวันที่ 0 ของการทดลอง เมื่อครบ 120 นาทีแล้วจะทำการแบ่งสารละลายลงในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดได้แก่ แก้วไพเร็กซ์, ขวดพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และขวดพอลิโพรพิลีน (PP) ในปริมาณที่เท่าๆกันโดยจะทำการเก็บสารละลายที่อยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดนี้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์โดยนำตัวอย่างมาทำการไทเทรตด้วยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ลงไปเพื่อหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นและกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในการไทเทรตนี้เราจะใช้น้ำกลั่นเย็นในการละลายตัวอย่างที่นำมาไทเทรต โดยในวันเริ่มการทดลอง (วันที่ 0) จะเห็นจุดสมมูลทั้ง 2 จุดได้ตั้งแต่ 10 นาทีแรก (รูปที่ 4.1) จุดสมมูลที่เห็นจุดแรกจะเป็นของกรดฟอร์มิกส่วนจุดที่สองจะเป็นของกรดเปอร์ฟอร์มิก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสมมูลจุดแรกจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดฟอร์มิก ส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตระหว่างจุดสมมูลแรกและจุดสมมูลที่สองจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดเปอร์ฟอร์มิก ต่อมาในการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะทำโดยการนำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ข้อมูลที่จะใช้ในติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารละลายตัวอย่างในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์จะใช้ข้อมูลของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาทีเป็นข้อมูลตั้งต้น (ข้อมูลดิบจากการไทเทรตแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ)



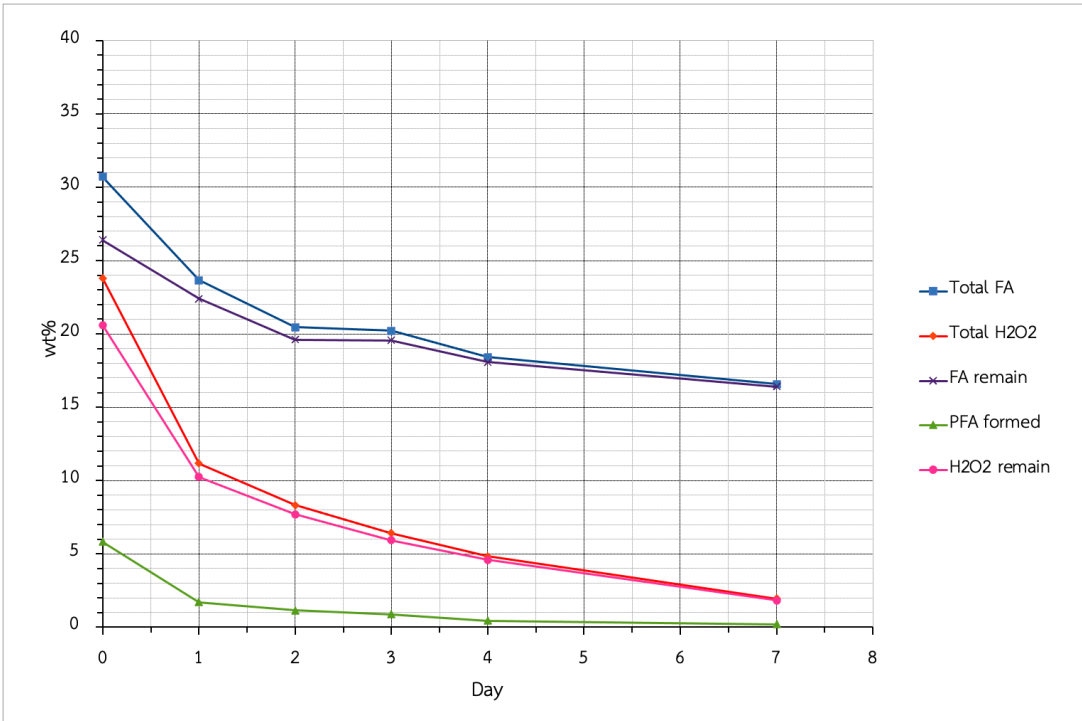

**รูปที่ 4.4** ตัวอย่างการไทเทรตที่เห็นจุดสมมูลทั้งสองจุดของวันที่ 0 ที่ 10 นาที

**ผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์และการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

"ส่วนผสม: กรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml + $H_2O_2$ (50%w/w) 20 ml + น้ำกลั่น 20 ml"

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 4.3-4.5 และตารางที่ 4.1-4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปปริมาณกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในส่วนของกรดเปอร์ฟอร์มิกนั้นจะมีความเข้มข้นมากที่สุดในวันแรก (วันที่ 0) และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของกรดเปอร์ฟอร์มิกก็จะค่อยๆ ลดลงเช่นเดียวกัน แม้ว่ากรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะลดลงแต่ปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกไม่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะเกิดการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิก (สมการที่ 1.2 และ1.3) ทำให้มีการหายไปของสารเคมีทั้ง 3 ชนิดได้แก่ กรดเปอร์ฟอร์มิก กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

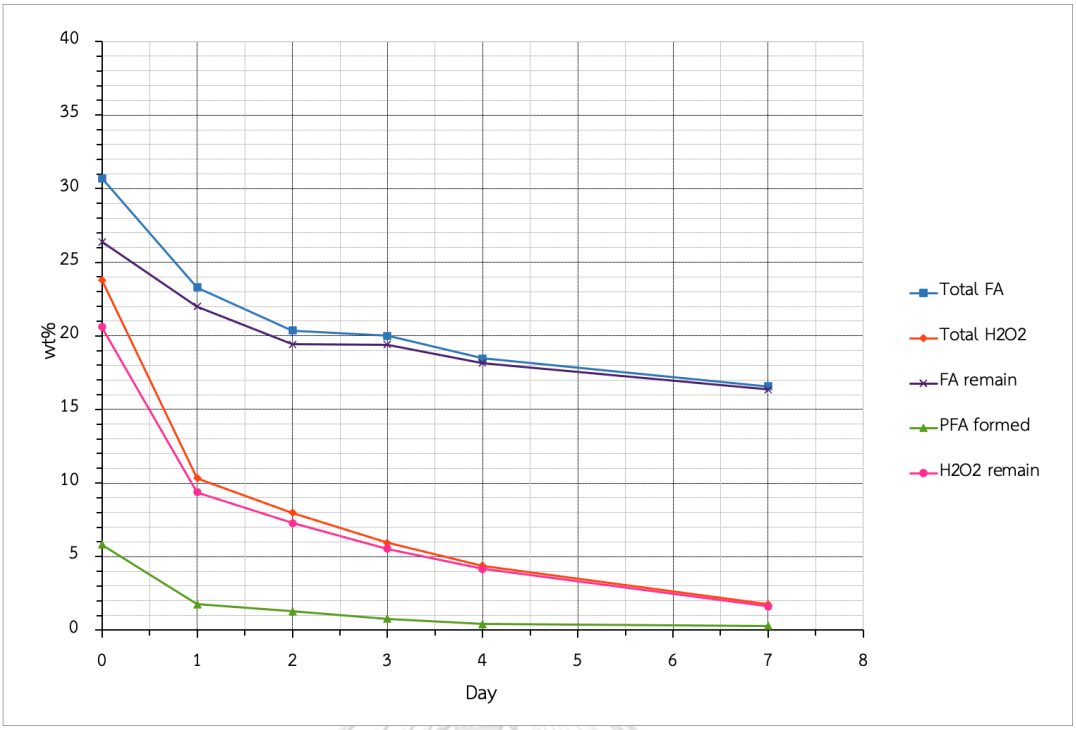



**รูปที่ 4.5** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์

**ตารางที่ 4.1** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 30.71 | 23.79 | 26.39 | 5.823 | 20.60 |
| 1 | 23.64 | 11.17 | 22.38 | 1.691 | 10.24 |
| 2 | 20.45 | 8.317 | 19.60 | 1.146 | 7.688 |
| 3 | 20.21 | 6.415 | 19.55 | 0.8856 | 5.929 |
| 4 | 18.41 | 4.829 | 18.08 | 0.4378 | 4.589 |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - | - |
| 7 | 16.56 | 1.947 | 16.40 | 0.2093 | 1.832 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

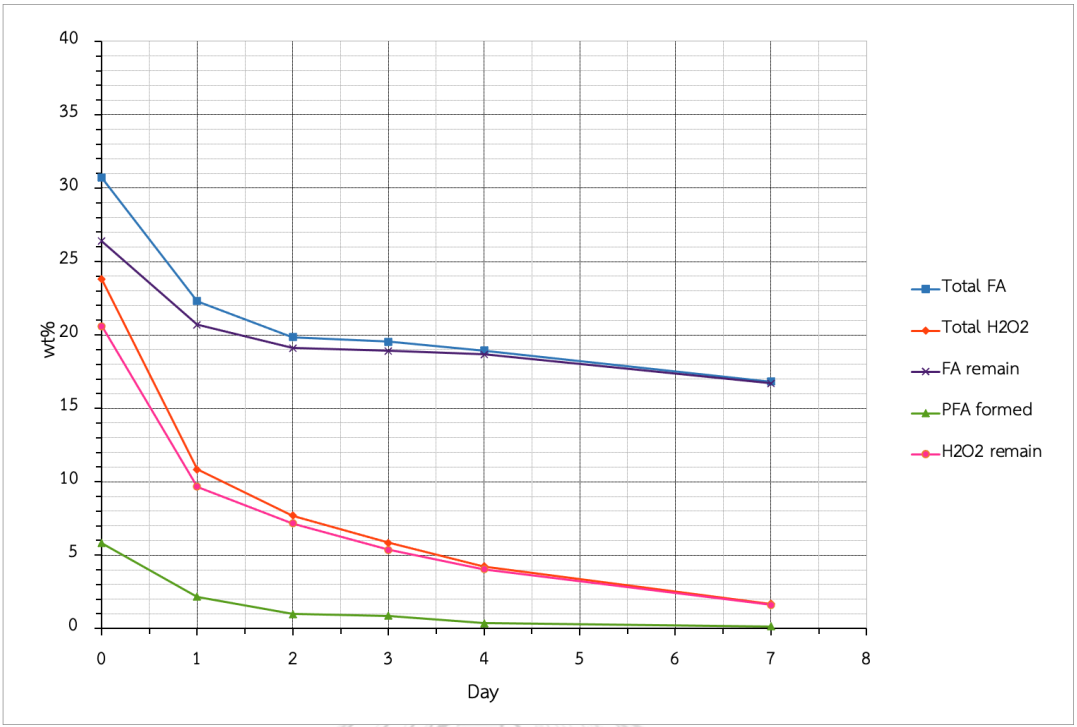



**รูปที่ 4. 6** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE

**ตารางที่ 4.2** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 30.71 | 23.79 | 26.39 | 5.823 | 20.60 |
| 1 | 23.28 | 10.32 | 21.98 | 1.751 | 9.360 |
| 2 | 20.37 | 7.970 | 19.42 | 1.273 | 7.271 |
| 3 | 19.99 | 5.949 | 19.41 | 0.7847 | 5.5197 |
| 4 | 18.46 | 4.386 | 18.16 | 0.4124 | 4.159 |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - | - |
| 7 | 16.56 | 1.769 | 16.35 | 0.2871 | 1.612 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 4.7** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP

**ตารางที่ 4.3** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

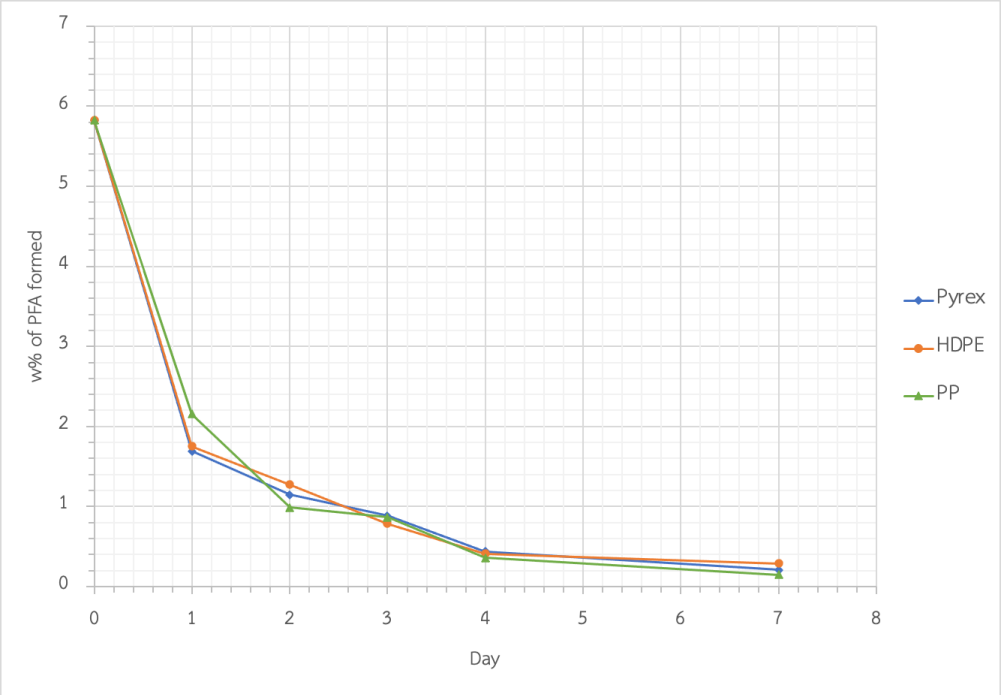
| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 30.71 | 23.79 | 26.39 | 5.823 | 20.60 |
| 1 | 22.29 | 10.83 | 20.69 | 2.155 | 9.654 |
| 2 | 19.84 | 7.694 | 19.11 | 0.9849 | 7.154 |
| 3 | 19.54 | 5.834 | 18.90 | 0.8635 | 5.360 |
| 4 | 18.92 | 4.238 | 18.66 | 0.3573 | 4.042 |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - | - |
| 7 | 16.81 | 1.694 | 16.70 | 0.1464 | 1.613 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8**

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.4 เห็นได้ว่าภาชนะบรรจุทั้ง 3 ขนิดได้แก่ แก้วไพเร็กซ์ HDPE และ PP มีแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิกอยู่ในขอบเขตเดียวกัน ต่อมาเมื่อมาพิจารณาจากรูปที่ 4.7–4.8 และตารางที่ 4.5-4.6 จะพบว่าแก้วไพเร็กซ์ และ HDPE มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกอยู่ในขอบเขตเดียวกันในขณะที่ PP มีแนวโน้มการลดลงที่มากกว่าภาชนะอีก 2 ชนิด และในส่วนของแนวโน้มการลดลงของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะพบว่า HDPE และ PP มีแนวโน้มการลดลงอยู่ในขอบเขตเดียวกันและมีแนวโน้มการลดลงมากกว่าแก้วไพเร็กซ์ ซึ่งการหายไปของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากนี้จะบ่งชี้ได้ว่า HDPE และPP นั้นมีการถูกโจมตีจากกรดเปอร์ฟอร์มิก นั้นหมายความว่าในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 1:0.8 นี้ HDPE และPP ถูกโจมตีจากกรดเปอร์ฟอร์มิกได้ง่ายกว่าแก้วไพเร็กซ์ โดยความยากง่ายของการถูกโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกของ HDPE และPP นั้นไม่ต่างกันมากนัก

การที่กรดเปอร์ฟอร์มิกโจมตีภาชนะบรรจุนั้นเป็นการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกในรูปแบบที่กรดเปอร์ฟอร์มิกมีการทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่น (สมการที่ 1.2) ซึ่งหมายความได้ว่ากรดเปอร์ฟอร์มิกมีการทำปฏิกิริยากับตัวภาชนะบรรจุการสลายตัวในลักษณะนี้จะทำให้เกิดกรดฟอร์มิกขึ้นมาใหม่และกรดฟอร์มิกนี้จะกลับเข้าไปทำปฏิกริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเกิดเป็นกรดเปอร์ฟอร์มิกใหม่อีกครั้ง ผลของการสลายตัวในลักษณะนี้อาจทำให้เห็นปริมาณของกรดเปอร์ฟอร์มิกและปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกเพิ่มขึ้นหรือมีแนวโน้มการลดลงค่อนข้างจะคงที่ได้ สังเกตุเห็นผลในลักษณะนี้ได้ในวันที่ 2 ถึงวันที่ 4 ของการติดตามผลใน PP (รูปที่ 4.7) จะพบว่าแนวโน้มการลดลงของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่อยู่ใน PP มีแนวโน้มการลดลงค่อนข้างที่จะคงที่ ในขณะที่แนวโน้มการลดลงของปริมาณทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นมีมากกว่าแก้วไพเร็กซ์

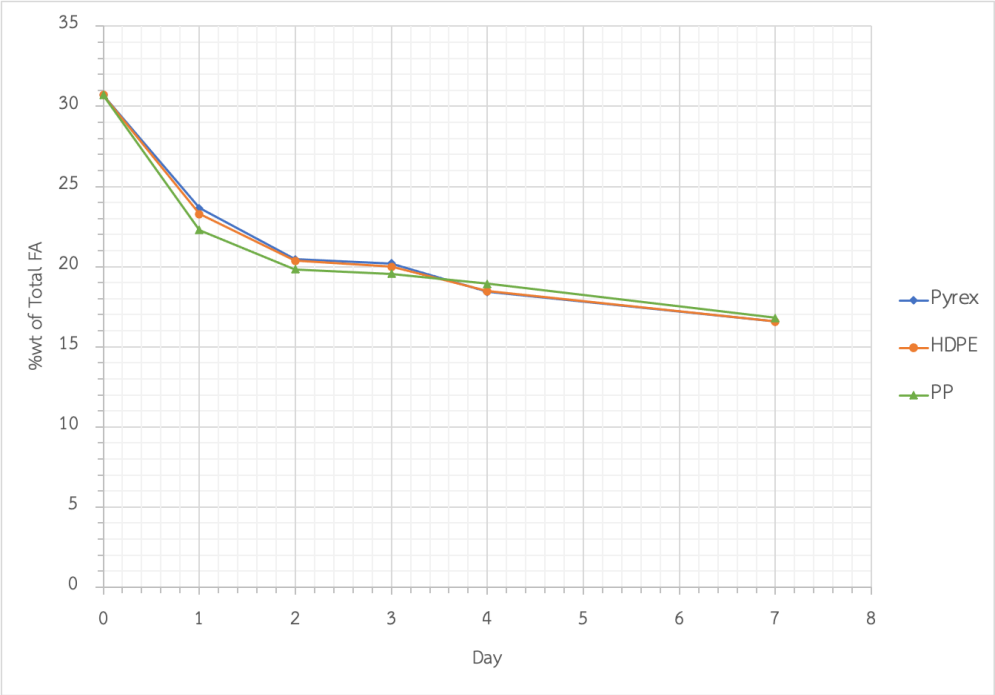



**รูปที่ 4.8** %wt ของปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

**ตารางที่ 4.4** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกขึ้นในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 5.823 | 5.823 | 5.823 |
| 1 | 1.691 | 1.751 | 2.155 |
| 2 | 1.146 | 1.273 | 0.9849 |
| 3 | 0.8856 | 0.7847 | 0.8635 |
| 4 | 0.4378 | 0.4124 | 0.3573 |
| 5 | - | - | - |
| 6 | - | - | - |
| 7 | 0.2093 | 0.2871 | 0.1464 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

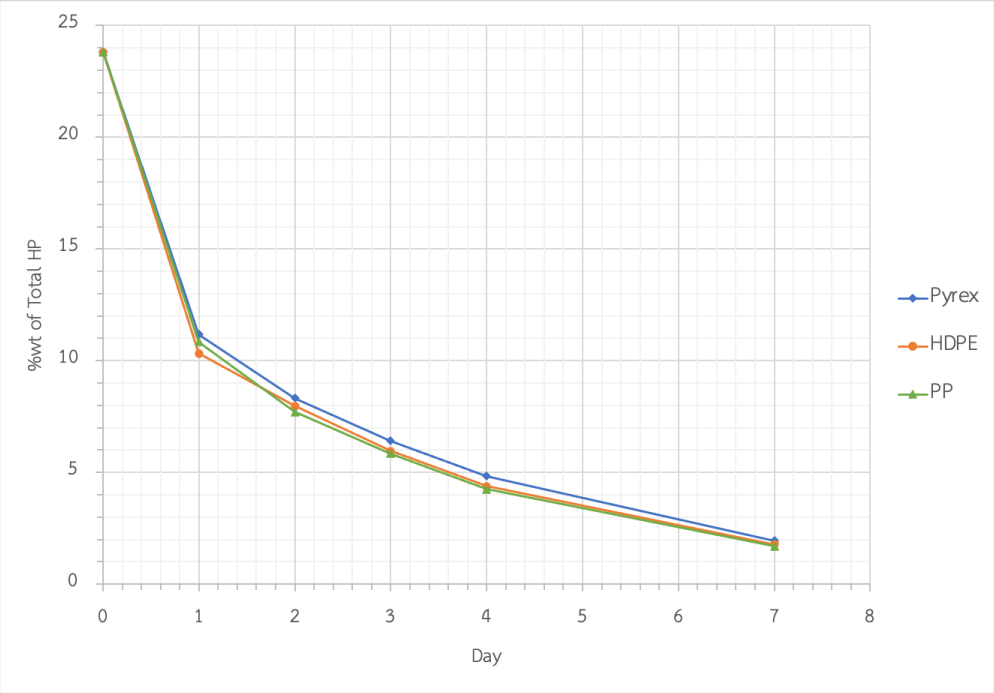



**รูปที่ 4.9** %wt ของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

**ตารางที่ 4.5** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 30.71 | 30.71 | 30.71 |
| 1 | 23.64 | 23.28 | 22.29 |
| 2 | 20.45 | 20.37 | 19.84 |
| 3 | 20.21 | 19.99 | 19.54 |
| 4 | 18.41 | 18.46 | 18.92 |
| 5 | - | - | - |
| 6 | - | - | - |
| 7 | 16.56 | 16.56 | 16.81 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 4.10** %wt ของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

**ตารางที่ 4.6** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 23.79 | 23.79 | 23.79 |
| 1 | 11.17 | 10.32 | 10.83 |
| 2 | 8.317 | 7.970 | 7.694 |
| 3 | 6.415 | 5.949 | 5.834 |
| 4 | 4.829 | 4.386 | 4.238 |
| 5 | - | - | - |
| 6 | - | - | - |
| 7 | 1.947 | 1.769 | 1.694 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**(ข) ผลจากการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:1.6**

การเตรียมตัวอย่างการทดลองเริ่มต้นจากการผสม $H_2O_2$ (50%w/w) 40 ml + น้ำกลั่น 40 ml ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันในขวดรูปชมพู่ (Pyrex flask) จากนั้นค่อยทำการเติมกรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml ลงไป ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ติดตามการเปลี่ยนแปลงที่ 10, 60, 90 และ 120 นาที การติดตามการเปลี่ยนแปลงนี้จะใช้เป็นข้อมูลในวันที่ 0 ของการทดลอง เมื่อครบ 120 นาทีแล้วจะทำการแบ่งสารละลายลงในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดได้แก่ แก้วไพเร็กซ์, HDPE และPP ในปริมาณที่เท่าๆกันโดยจะทำการเก็บสารละลายที่อยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดนี้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์โดยนำตัวอย่างมาทำการไทเทรตด้วยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ลงไปเพื่อหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นและกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในการไทเทรตนี้เราจะใช้น้ำกลั่นเย็นในการละลายตัวอย่างที่นำมาไทเทรต โดยในวันเริ่มการทดลอง (วันที่ 0) จะเห็นจุดสมมูลทั้ง 2 จุดได้ตั้งแต่ 10 นาทีแรกโดยจุดสมมูลที่เห็นจุดแรกจะเป็นของกรดฟอร์มิกส่วนจุดที่สองจะเป็นของกรดเปอร์ฟอร์มิก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสมมูลจุดแรกจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดฟอร์มิก ส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตระหว่างจุดสมมูลแรกและจุดสมมูลที่สองจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดเปอร์ฟอร์มิก ต่อมาในการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะทำโดยการนำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ข้อมูลที่จะใช้ในติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารละลายตัวอย่างในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์จะใช้ข้อมูลของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาทีเป็นข้อมูลตั้งต้น (ข้อมูลดิบจากการไทเทรตแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ)

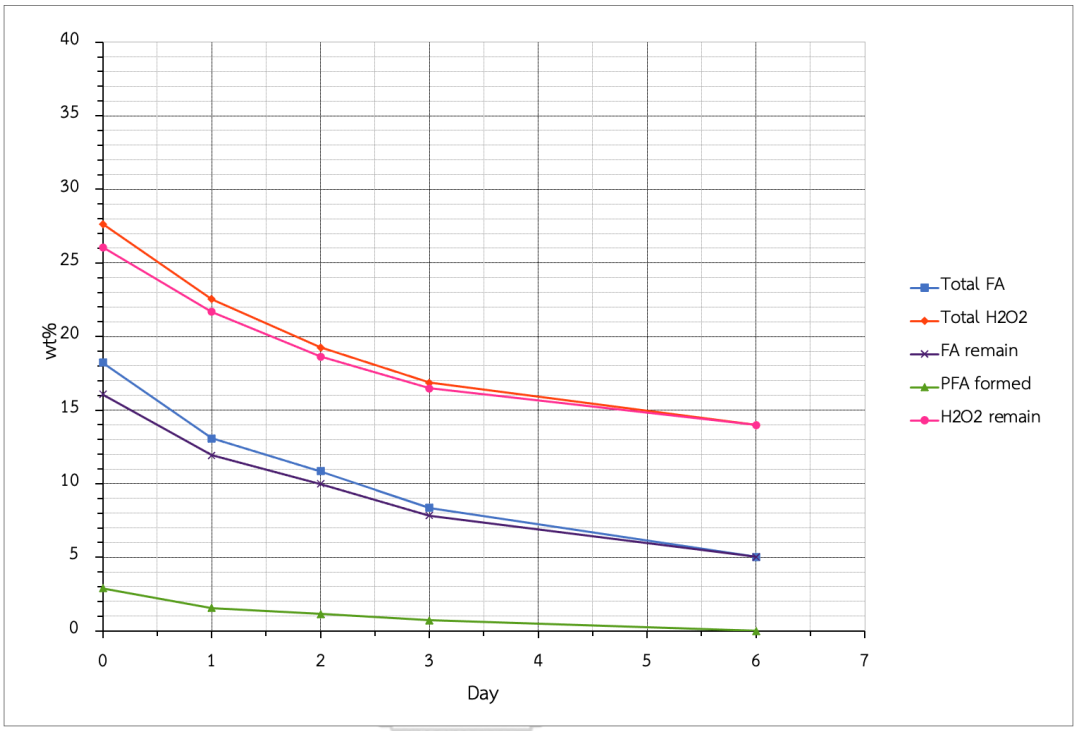
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์และการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

“ส่วนผสม: กรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml + $H_2O_2$ (50%w/w) 40 ml + น้ำกลั่น 40 ml”

จากรูปที่ 4.9-4.11 และตารางที่ 4.7-4.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ปริมาณกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในส่วนของกรดเปอร์ฟอร์มิกนั้นจะมีความเข้มข้นมากที่สุดในวันแรก (วันที่ 0) และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของกรดเปอร์ฟอร์มิกก็จะค่อยๆลดลงเช่นเดียวกัน แม้ว่ากรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงแต่ปริมาณกรดเปอร์

ฟอร์มิกไม่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะเกิดการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิก (สมการที่ 1.2 และ1.3) ทำให้มีการหายไปของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

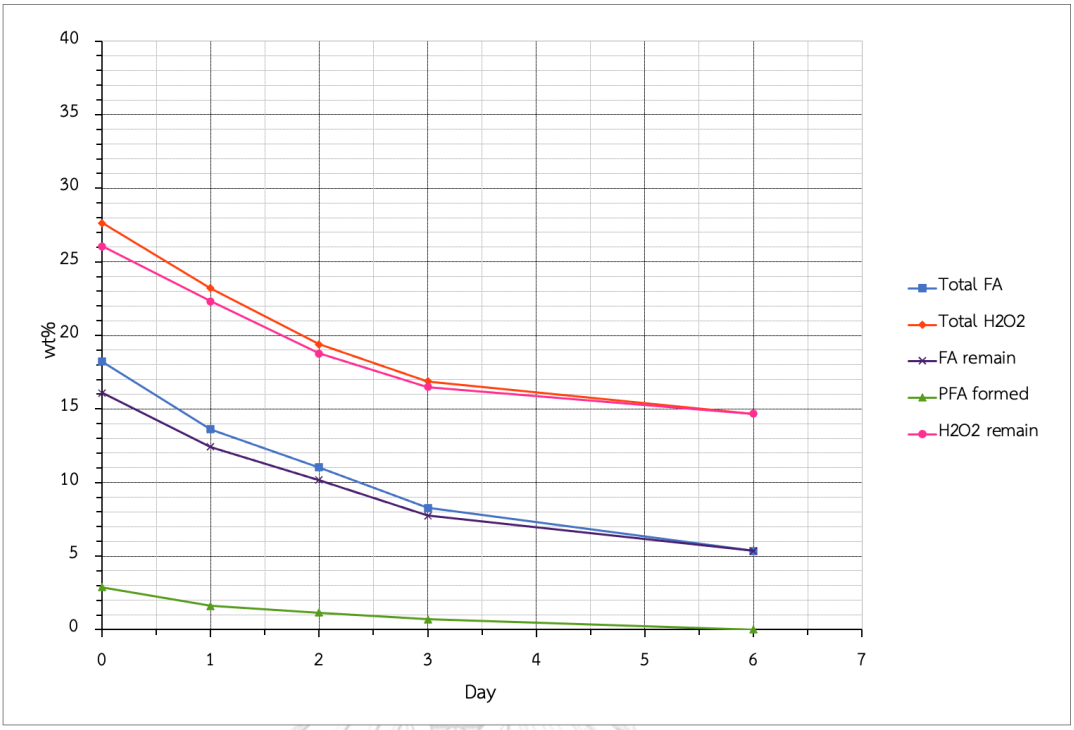



**รูปที่ 4.11** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ 4.7** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 18.22 | 27.63 | 16.07 | 2.894 | 26.04 |
| 1 | 13.08 | 22.53 | 11.92 | 1.554 | 21.68 |
| 2 | 10.83 | 19.25 | 9.994 | 1.134 | 18.63 |
| 3 | 8.353 | 16.85 | 7.831 | 0.7035 | 16.47 |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | 5.024 | 13.98 | 5.024 | 0 | 13.98 |

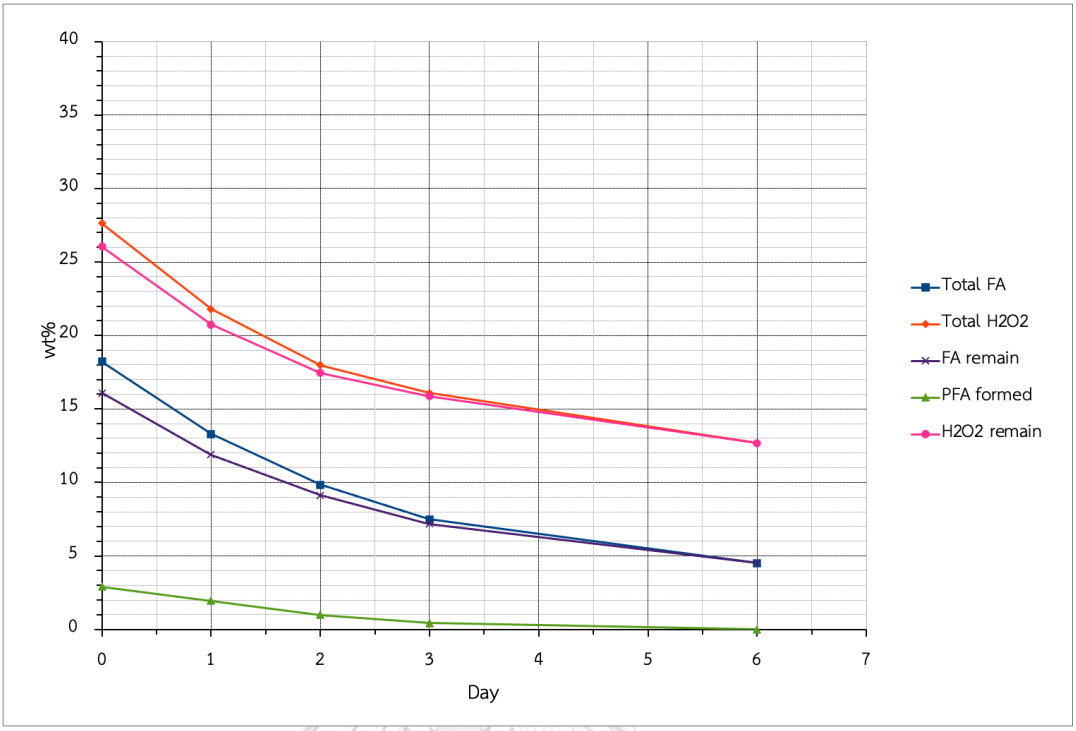



**รูปที่ 4.12** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE

**ตารางที่ 4.8** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 18.22 | 27.63 | 16.07 | 2.894 | 26.04 |
| 1 | 13.62 | 23.19 | 12.41 | 1.624 | 22.31 |
| 2 | 11.02 | 19.40 | 10.15 | 1.164 | 18.76 |
| 3 | 8.264 | 16.86 | 7.741 | 0.7048 | 16.48 |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | 5.360 | 14.66 | 5.360 | 0 | 14.66 |




**รูปที่ 4.13** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP

**ตารางที่ 4.9** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

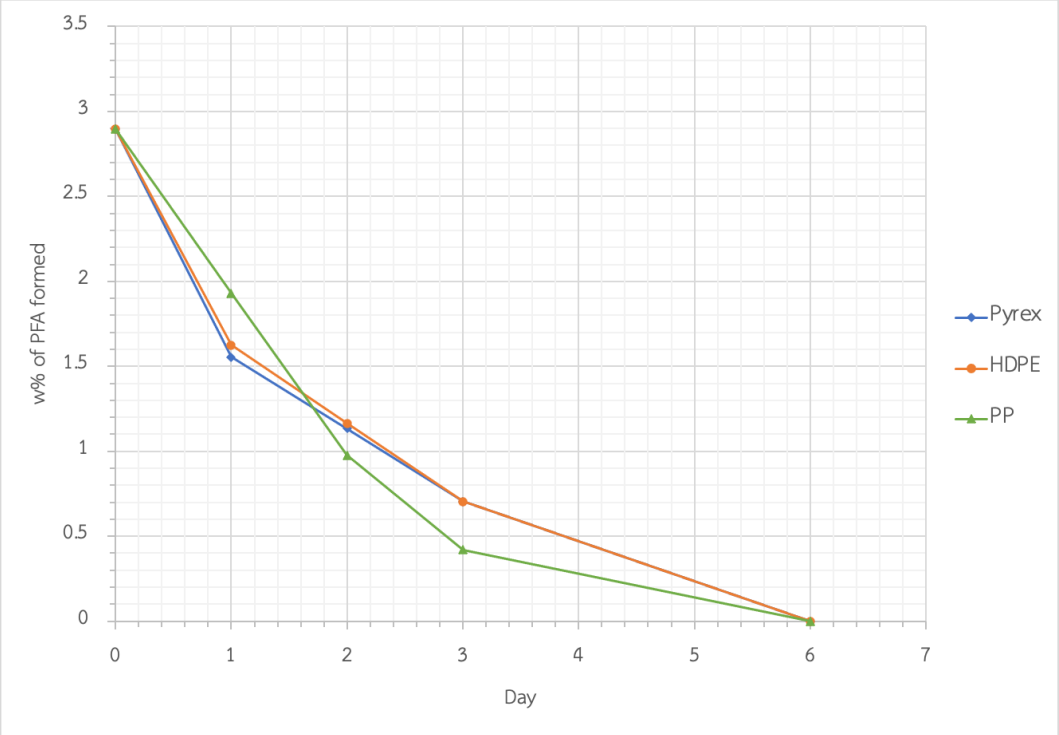
| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 18.22 | 27.63 | 16.07 | 2.894 | 26.04 |
| 1 | 13.3 | 21.79 | 11.87 | 1.930 | 20.73 |
| 2 | 9.838 | 17.99 | 9.113 | 0.9767 | 17.45 |
| 3 | 7.476 | 16.09 | 7.165 | 0.4197 | 15.86 |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | - | - |
| 6 | 4.498 | 12.67 | 4.498 | 0 | 12.67 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6**

จากรูปที่ 4.12-4.14 และตารางที่ 4.10-4.12 พบว่าภาชนะบรรจุ PP มีแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิก ปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกและไฮโดรจนเปอร์ออกไซด์มากกว่าแก้วไพเร็กซ์และHDPE โดยที่ภาชนะทั้ง 2 ชนิดนี้นั้นมีแนวโน้มการลดลงของสารทั้ง 3 ชนิดอยู่ในขอบเขตเดียวกัน สิ่งนี้บ่งชี้ได้ว่าที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนจาก 1:0.8 เป็น 1:1.6 PP ถูกโจมตีจากกรดเปอร์ฟอร์มิกได้ง่ายกว่าภาชนะอีกทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราส่วนนี้การสลายตัวของตัวกรดเปอร์ฟอร์มิกเอง (สมการที่ 1.3) จะเกิดขึ้นใน PP ได้ง่ายกว่าภาชนะบรรจุอีกทั้ง 2 ชนิดซึ่งการสลายตัวของตัวกรดเปอร์ฟอร์มิกเองนั้นเป็นการสลายตัวที่จะเกิดขึ้นพร้อมกับการก่อตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกการสลายตัวในลักษณะนี้จะทำให้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หายไป ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เห็นแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิก, ปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อยู่ใน PP มีแนวโน้มการลดลงมากกว่าแก้วไพเร็กซ์ และ HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

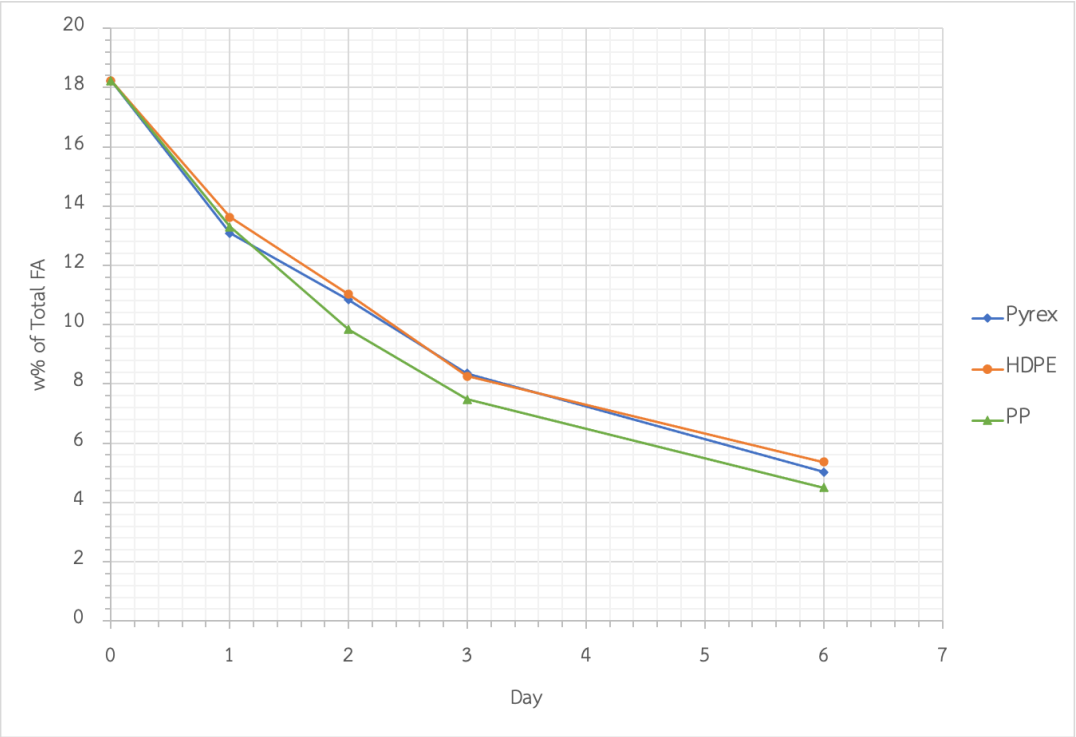



**รูปที่ 4.14** %wt ของปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

**ตารางที่ 4.10** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกขึ้นในภาชนะบรรจุทั้ง3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 2.894 | 2.894 | 2.894 |
| 1 | 1.554 | 1.624 | 1.930 |
| 2 | 1.134 | 1.164 | 0.9767 |
| 3 | 0.7035 | 0.7048 | 0.4197 |
| 4 | - | - | - |
| 5 | - | - | - |
| 6 | 0 | 0 | 0 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

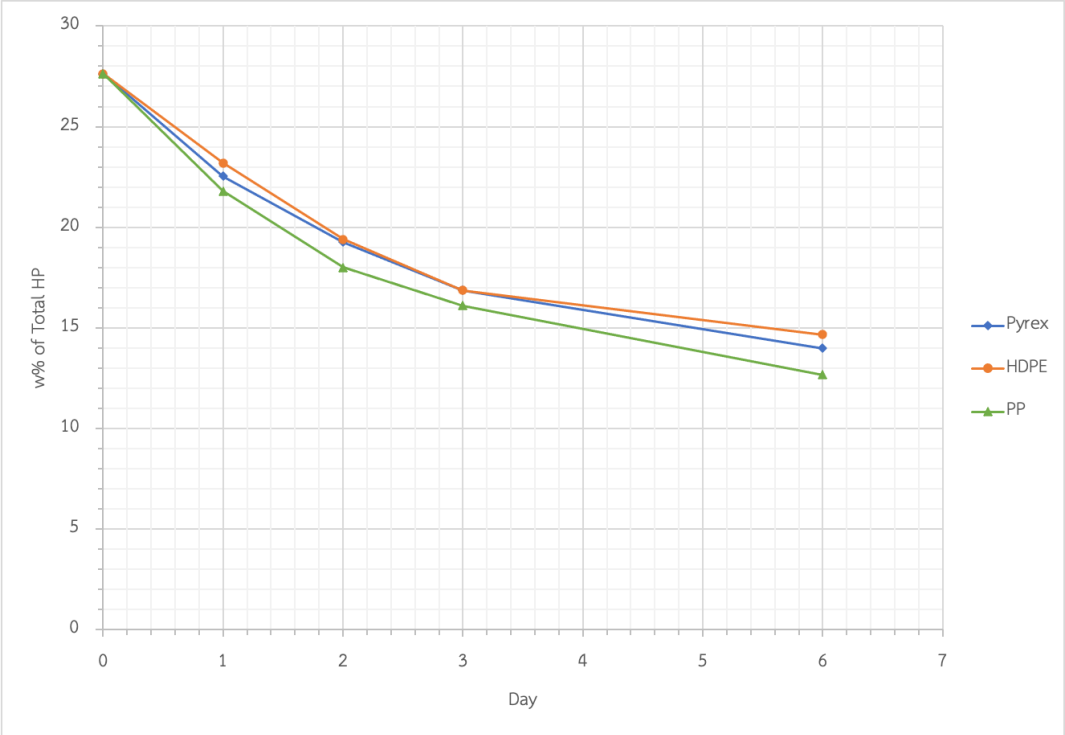



**รูปที่ 4.15** %wt ของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันวันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

**ตารางที่ 4.11** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 18.22 | 18.22 | 18.22 |
| 1 | 13.08 | 13.62 | 13.30 |
| 2 | 10.83 | 11.02 | 9.838 |
| 3 | 8.353 | 8.264 | 7.476 |
| 4 | - | - | - |
| 5 | - | - | - |
| 6 | 5.024 | 5.360 | 4.498 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 4.16** %wt ของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วันวันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

**ตารางที่ 4.12** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 27.63 | 27.63 | 27.63 |
| 1 | 22.53 | 23.19 | 21.79 |
| 2 | 19.25 | 19.40 | 17.99 |
| 3 | 16.85 | 16.86 | 16.09 |
| 4 | - | - | - |
| 5 | - | - | - |
| 6 | 13.98 | 14.66 | 12.67 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย Chulalongkorn University

**(ค) ผลจากการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:3.2**

การเตรียมตัวอย่างการทดลองเริ่มต้นจากการผสม $H_2O_2$ (50%w/w) 40 ml + น้ำกลั่น 50 ml ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันในขวดรูปชมพู่ (Pyrex flask) จากนั้นค่อยทำการเติมกรดฟอร์มิก (99%w/w) 10 ml ลงไป ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ติดตามการเปลี่ยนแปลงที่ 10, 60, 90 และ 120 นาที การติดตามการเปลี่ยนแปลงนี้จะใช้เป็นข้อมูลในวันที่ 0 ของการทดลอง เมื่อครบ 120 นาทีแล้วจะทำการแบ่งสารละลายลงในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดได้แก่ แก้วไพเร็กซ์, HDPE และPP ในปริมาณที่เท่าๆกันโดยจะทำการเก็บสารละลายที่อยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดนี้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์โดยนำตัวอย่างมาทำการไทเทรตด้วยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ลงไปเพื่อหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นและกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในการไทเทรตนี้เราจะใช้น้ำกลั่นเย็นในการละลายตัวอย่างที่นำมาไทเทรต โดยในวันเริ่มการทดลอง (วันที่ 0) จะเห็นจุดสมมูลทั้ง 2 จุดได้ตั้งแต่ 10 นาทีแรกโดยจุดสมมูลที่เห็นจุดแรกจะเป็นของกรดฟอร์มิกส่วนจุดที่สองจะเป็นของกรดเปอร์ฟอร์มิก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสมมูลจุดแรกจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดฟอร์มิก ส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตระหว่างจุดสมมูลแรกและจุดสมมูลที่สองจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดเปอร์ฟอร์มิก ต่อมาในการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะทำโดยการนำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ข้อมูลที่จะใช้ในติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารละลายตัวอย่างในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์จะใช้ข้อมูลของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาทีเป็นข้อมูลตั้งต้น (ข้อมูลดิบจากการไทเทรตแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ)

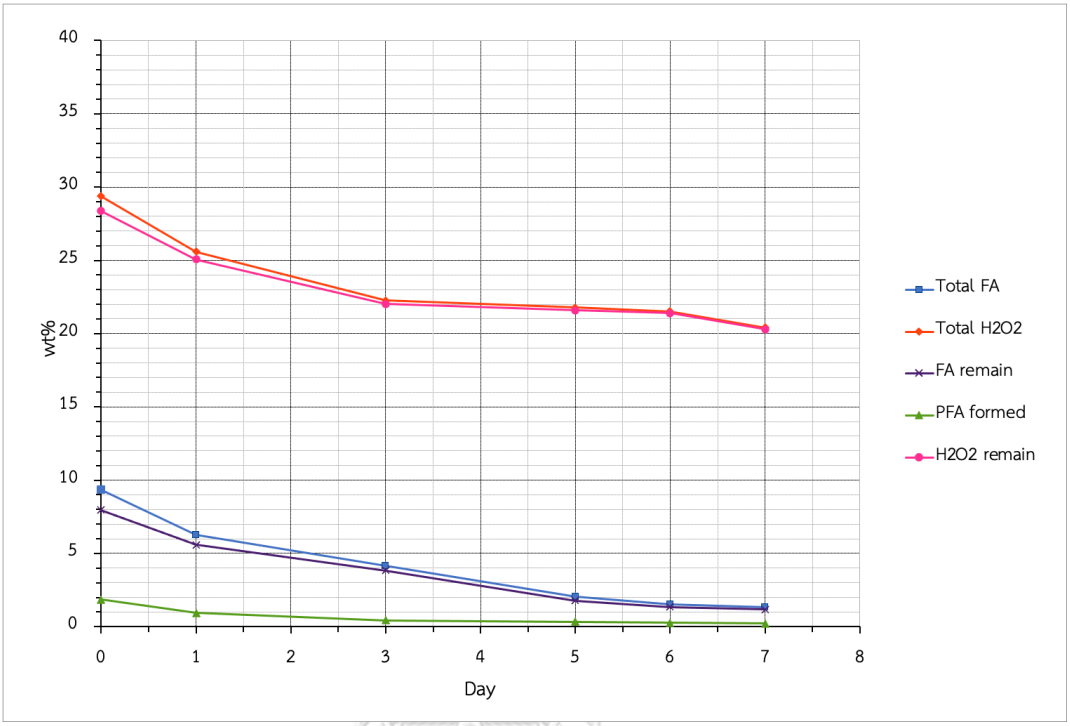
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการทดลองที่ได้จากการสังเคราะห์และการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

“ส่วนผสม: กรดฟอร์มิก (99%w/w) 10 ml + $H_2O_2$ (50%w/w) 40 ml + น้ำกลั่น 50 ml”

จากรูปที่ 4.15-4.17 และตารางที่ 4.13-4.15 จะเห็นได้ว่าเมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ปริมาณกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ในส่วนของกรดเปอร์ฟอร์มิกนั้นจะมีความเข้มข้นมากที่สุดในวันแรก (วันที่ 0) และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของกรดเปอร์ฟอร์มิกก็จะค่อยๆลดลงเช่นเดียวกัน แม้ว่ากรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะลดลงแต่ปริมาณกรด

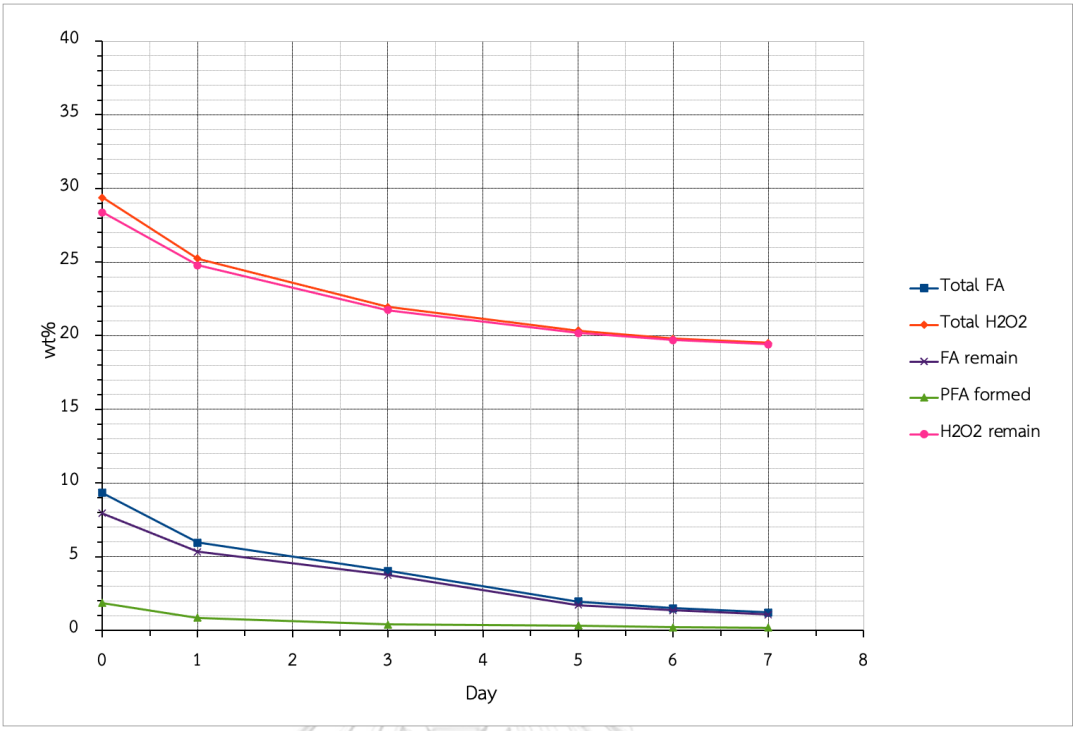
เปอร์ฟอร์มิกไม่เพิ่มขึ้นนั้นเป็นเพราะเกิดการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิก (สมการที่ 2และ3) ทำให้มีการหายไปของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์




**รูปที่ 4.17** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ วันที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์

**ตารางที่ 4.13** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 9.317 | 29.38 | 7.947 | 1.846 | 28.37 |
| 1 | 6.265 | 25.57 | 5.575 | 0.9301 | 25.06 |
| 2 | - | - | - | - | - |
| 3 | 4.156 | 22.25 | 3.83 | 0.4410 | 22.01 |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | 2.039 | 21.78 | 1.784 | 0.3435 | 21.59 |
| 6 | 1.542 | 21.52 | 1.352 | 0.2562 | 21.38 |
| 7 | 1.347 | 20.41 | 1.185 | 0.2192 | 20.29 |

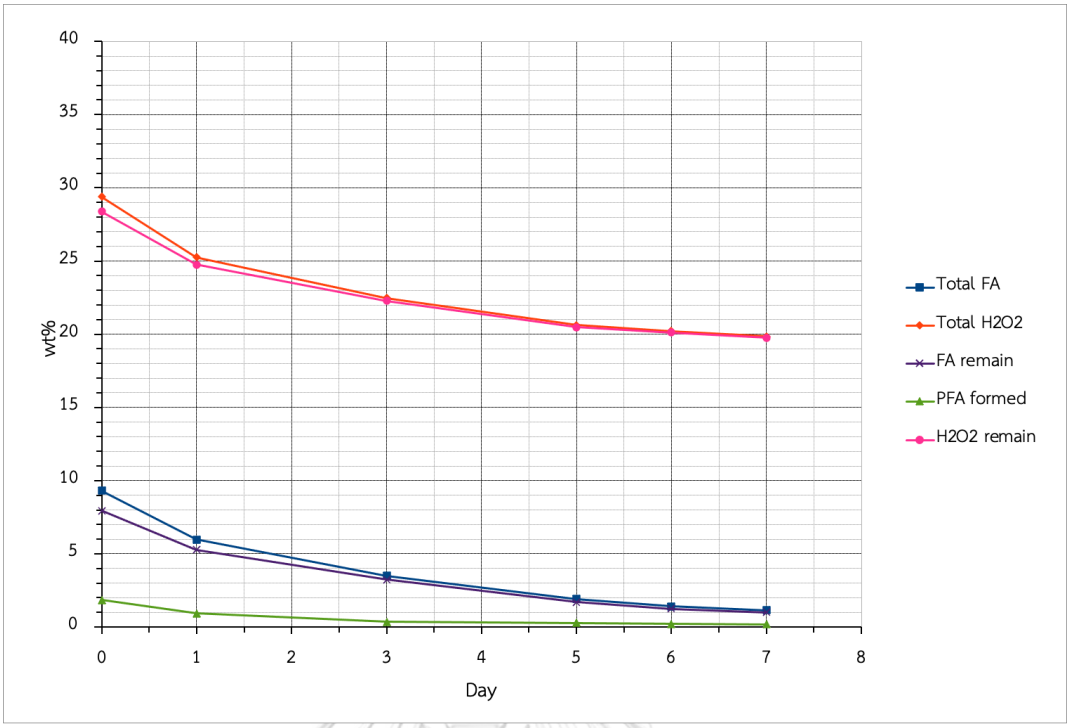



**รูปที่ 4.18** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE

**ตารางที่ 4.14** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ HDPE ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 9.317 | 29.38 | 7.947 | 1.846 | 28.37 |
| 1 | 5.951 | 25.23 | 5.330 | 0.8368 | 24.77 |
| 2 | - | - | - | - | - |
| 3 | 4.028 | 21.95 | 3.736 | 0.3940 | 21.73 |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | 1.942 | 20.35 | 1.708 | 0.3152 | 20.18 |
| 6 | 1.493 | 19.80 | 1.342 | 0.2038 | 19.69 |
| 7 | 1.203 | 19.51 | 1.065 | 0.1871 | 19.40 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 4.19** การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP

**ตารางที่ 4.15** ข้อมูลตัวเลขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารต่างๆ ที่เก็บในภาชนะบรรจุ PP ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

| Day | Total FA (%wt) | Total $H_2O_2$ (%wt) | FA remains (%wt) | PFA formed (%wt) | $H_2O_2$ remains (%wt) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 9.317 | 29.38 | 7.947 | 1.846 | 28.37 |
| 1 | 5.961 | 25.25 | 5.269 | 0.9323 | 24.74 |
| 2 | - | - | - | - | - |
| 3 | 3.492 | 22.47 | 3.233 | 0.3485 | 22.28 |
| 4 | - | - | - | - | - |
| 5 | 1.917 | 20.62 | 1.707 | 0.2835 | 20.46 |
| 6 | 1.398 | 20.21 | 1.245 | 0.2064 | 20.10 |
| 7 | 1.149 | 19.86 | 1.003 | 0.1971 | 19.75 |

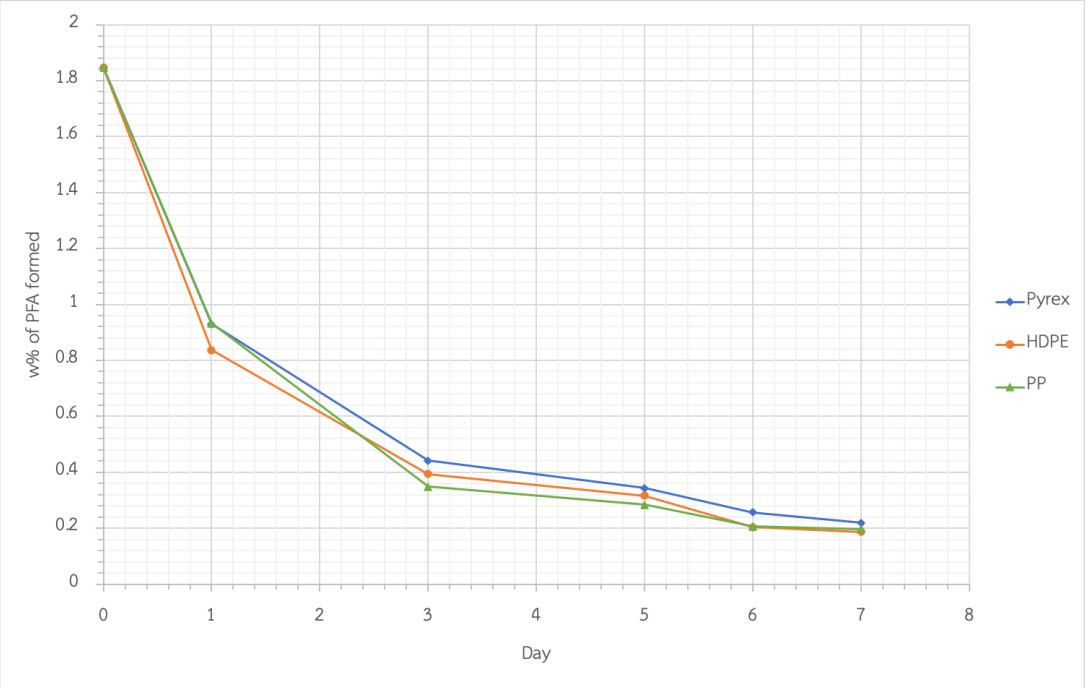
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2**

จากกราฟที่ 4.18-4.20 และตารางที่ 4.16-4.18 พบว่าภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ HDPE และ PP มีแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิก และปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในขอบเขตเดียวกัน สิ่งนี้บ่งชี้ว่าเมื่ออัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เปลี่ยนเป็น 1:3.2 การสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกทั้ง 2 รูปแบบ (สมการที่ 1.2 และ 1.3) สมารถเกิดขึ้นได้ง่ายในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

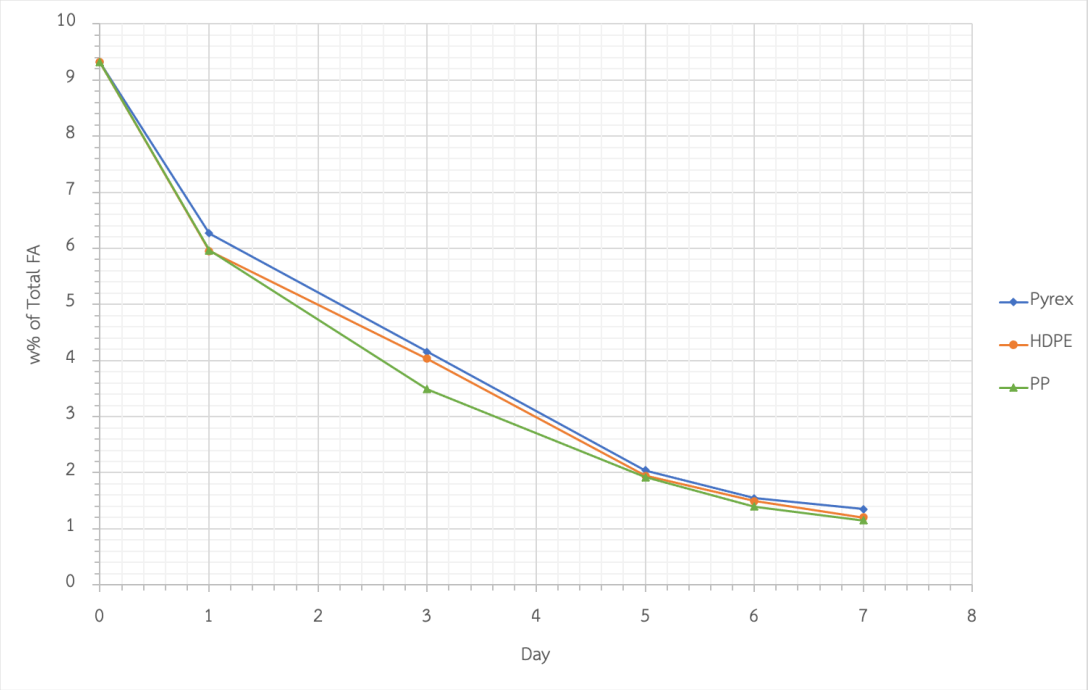



**รูปที่ 4.20** ของปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

**ตารางที่ 4.16** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 1.846 | 1.846 | 1.846 |
| 1 | 0.9301 | 0.8368 | 0.9323 |
| 2 | - | - | - |
| 3 | 0.4410 | 0.3940 | 0.3485 |
| 4 | - | - | - |
| 5 | 0.3435 | 0.3152 | 0.2835 |
| 6 | 0.2562 | 0.2038 | 0.2064 |
| 7 | 0.2192 | 0.1871 | 0.1971 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

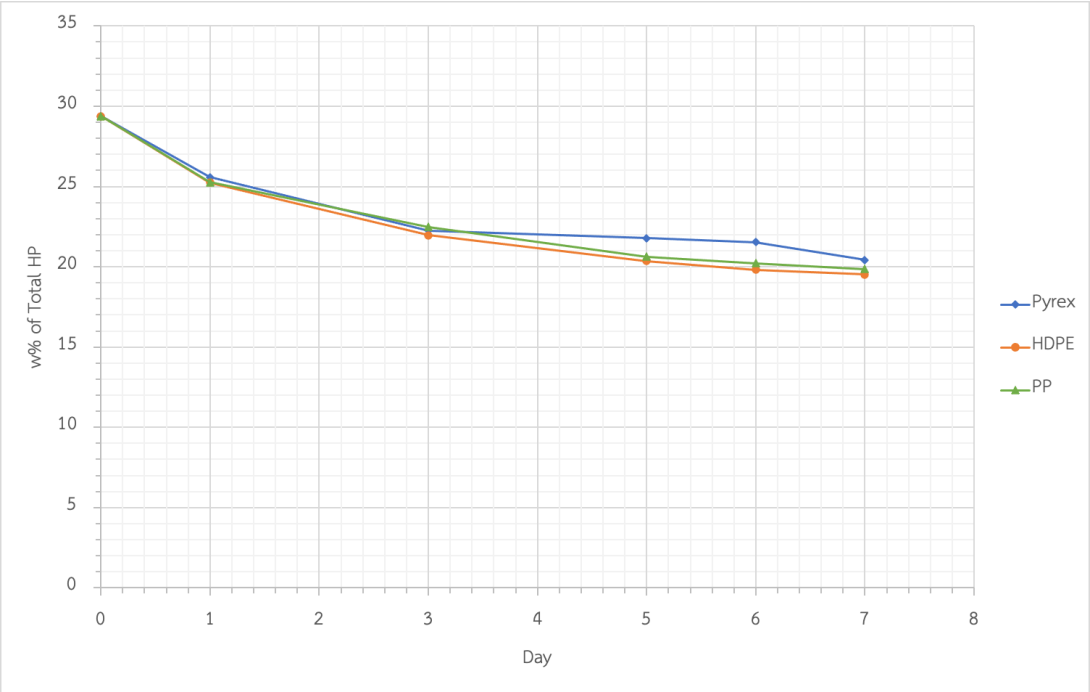



**รูปที่ 4.21** %wt ของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

**ตารางที่ 4.17** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 9.317 | 9.317 | 9.317 |
| 1 | 6.265 | 5.951 | 5.961 |
| 2 | - | - | - |
| 3 | 4.156 | 4.028 | 3.492 |
| 4 | - | - | - |
| 5 | 2.039 | 1.942 | 1.917 |
| 6 | 1.542 | 1.493 | 1.398 |
| 7 | 1.347 | 1.203 | 1.149 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University




**รูปที่ 4.22** %wt ของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ในช่วงเวลา 7 วัน ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

**ตารางที่ 4.18** ข้อมูลตัวเลขของการเปลี่ยนความเข้มข้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2

| Day | Pyrex | HDPE | PP |
|---|---|---|---|
| 0 | 29.38 | 29.38 | 29.38 |
| 1 | 25.57 | 25.23 | 25.25 |
| 2 | - | - | - |
| 3 | 22.25 | 21.95 | 22.47 |
| 4 | - | - | - |
| 5 | 21.78 | 20.35 | 20.62 |
| 6 | 21.52 | 19.80 | 20.21 |
| 7 | 20.41 | 19.51 | 19.86 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การเปรียบเทียบความต้านทานต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกระหว่างภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมลแตกต่างกัน 3 สัดส่วนได้แก่ 1:0.8, 1:1.6 และ 1:3.2**

จากผลการทดลองที่กล่าวไปในหัวข้อ (ก)-(ค) พบว่าที่อัตราส่วน 1:0.8 ภาชนะบรรจุ HDPE และPP ถูกโจมตีจากกรดเปอร์ฟอร์มิกได้ง่ายกว่าแก้วไพเร็กซ์เห็นได้จากแนวโน้มการลดลงของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มากกว่าแก้วไพเร็กซ์ในขณะที่แนวโน้มการลดลงของกรดฟอร์มิกอยู่ในขอบเขตเดียวกัน โดยในอัตราส่วนนี้ความยากง่ายของการโจมตีจากกรดเปอร์ฟอร์มิกระหว่าง HDPE และPP ไม่ต่างกันมากนะ แต่เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนเป็น 1:1.6 จะพบว่า PP นั้นถูกโจมตีจากกรดเปอร์ฟอร์มิกได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับภาชนะบรรจุอีก 2 ชนิดนอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราส่วนนี้การสลายตัวของตัวกรดเปอร์ฟอร์มิกเองจะเกิดขึ้นใน PP ได้ง่ายกว่าภาชนะบรรจุอีกทั้ง 2 ชนิดอีกด้วย เห็นได้จากแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิก, ปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อยู่ใน PP ที่มีแนวโน้มการลดลงมากที่สุด และในสัดส่วนสุดท้ายนี้เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนเป็น 1:3.2 จะเห็นการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกทั้ง 2 รูปแบบในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดเนื่องจากแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิก ปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดนั้นอยู่ในขอบเขตเดียวกัน จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกันส่งผลให้เห็นการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกในภาชนะบรรจุที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในการศึกษานี้ได้มีการทำการทดลองในแต่ละตัวอย่างซ้ำพบว่าในการทำซ้ำนั้นแนวโน้มการลดลงของ PP มีแนวโน้มเหมือนเดิมเสมอคือเส้นแนวโน้มของ PP จะอยู่ล่างสุดเสมอโดยจะมีเส้นแนวโน้มของ HDPE อยู่ตรงกลางระหว่าง PP และแก้วไพเร็กซ์ และจากที่กล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับการสลายตัวของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นได้ 2 รูปแบบโดยรูปแบบที่หนึ่งคือการสลายตัวของตัวกรดเปอร์ฟอร์มิกเองและรูปแบบถัดมาคือการสลายตัวเมื่อกรดเปอร์ฟอร์มิกมีการทำปฏิกิริยากับสารตัวอื่นซึ่งรูปแบบนี้นั้นก็คือการที่กรดเปอร์ฟอร์มิกมีการโจมตีต่อภาชนะบรรจุนั้นคือหมายความว่ากรดเปอร์ฟอร์มิกมีการทำฏิกิริยากับตัวภาชนะบรรจุทำให้เกิดการสลายตัวกลายเป็นกรดฟอร์มิกและออกซิเจนซึ่งกรดฟอร์มิกจะกลับเข้าไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อเกิดเป็นกรดเปอร์ฟอร์มิกใหม่อีกครั้งและจากผลการทดลองที่พบว่าแนวโน้มการลดลงของปริมาณทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน PP มีมากที่สุดรองลงมาคือ HDPE และลำดับสุดท้ายคือแก้วไพเร็กซ์ สิ่งนี้ทำให้บ่งชี้ได้ถึงลำดับความต้านทานการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่มีต่อภาชนะบรรจุนั้นคือหมายความว่ากรดเปอร์ฟอร์มิกสามารถทำปฏิกิริยากับ PP ได้ง่ายที่สุดรองลงมาคือ HDPE และลำดับสุดท้ายคือแก้วไพเร็กซ์ ซึ่งในกรณีของ PP และ HDPE ที่เป็นพอลิเมอร์นั้นการทำปฏิกิริยากับกรดเปอร์ฟอร์มิกอาจนำไปสู่การถูกตัดของสายโซ่ในตัวโครงสร้างซึ่งอาจส่งผลให้ตัวบรรจุภัณฑ์มีการเสื่อมภาพลงได้ แต่เมื่อมาพิจารณาถึงการใช้งานแม้แก้วไพเร็กซ์จะมีความต้านทานการโจมตีของกรดเปอร์-

ฟอร์มิกมากที่สุดแต่ในด้านการใช้งานแล้ว HDPE จะเหมาะสมมากกว่าแก้วไพเร็กซ์เช่น ในเรื่องการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว HDPE จะเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่า

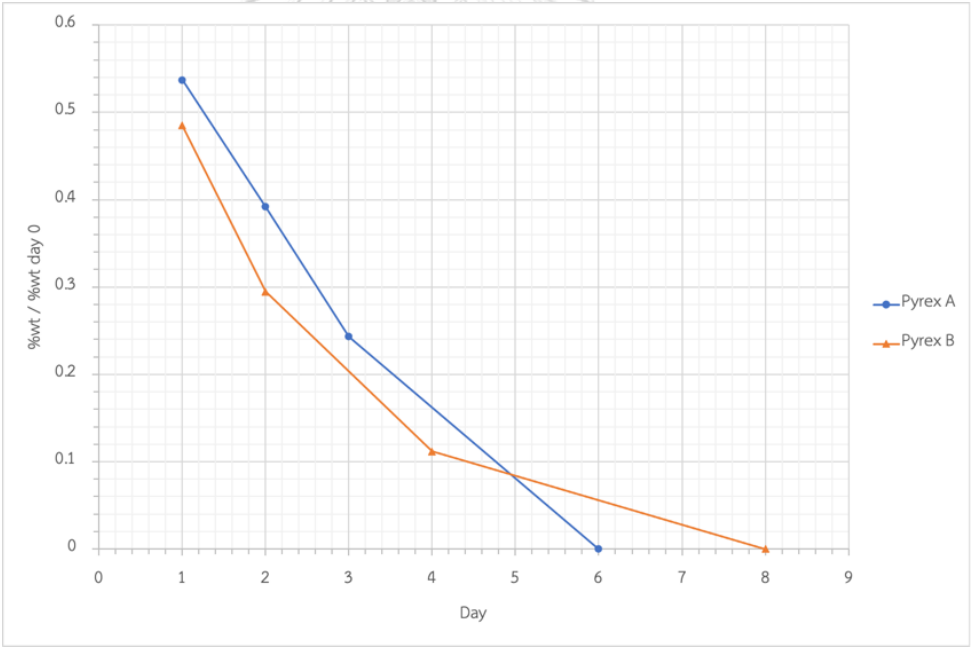
## 4.2 ผลของการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันแต่แต่ความเข้มข้นต่างกัน

เตรียมตัวอย่างกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 1:1.6 ซึ่งเท่ากับตัวอย่างที่กล่าวไปก่อนหน้านี้แต่คนละความเข้มข้น (หัวข้อ ข)

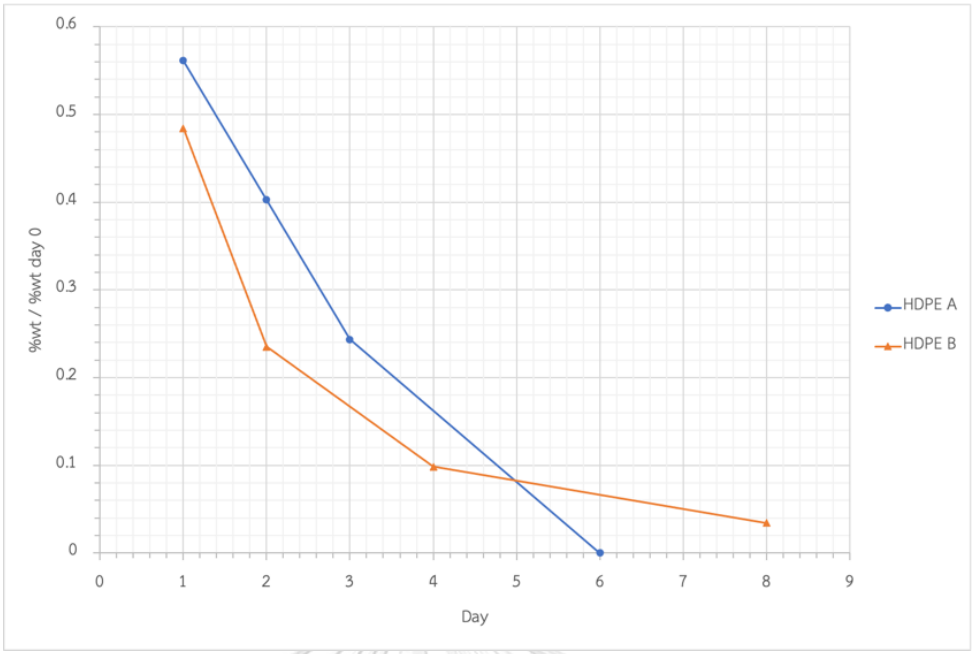
การเตรียมตัวอย่างการทดลองเริ่มต้นจากการปิเปต $H_2O_2$ (50%w/w) 40 ml ลงในขวดรูปชมพู่ (Pyrex flask) จากนั้นค่อยทำการเติมกรดฟอร์มิก (99%w/w) 20 ml ลงไป ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ติดตามการเปลี่ยนแปลงที่ 10, 60, 90 และ 120 นาที การติดตามการเปลี่ยนแปลงนี้จะใช้เป็นข้อมูลในวันที่ 0 ของการทดลอง เมื่อครบ 120 นาทีแล้วจะทำการแบ่งสารละลายลงในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดได้แก่ แก้วไพเร็กซ์, HDPE และPP ในปริมาณที่เท่าๆกันโดยจะทำการเก็บสารละลายที่อยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดนี้ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และติดตามการเปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลาประมาณ 1 สัปดาห์โดยนำตัวอย่างมาทำการไทเทรตด้วยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ลงไปเพื่อหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นและกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในการไทเทรตนี้เราจะใช้น้ำกลั่นเย็นในการละลายตัวอย่างที่นำมาไทเทรต โดยในวันเริ่มการทดลอง (วันที่ 0) จะเห็นจุดสมมูลทั้ง 2 จุดได้ตั้งแต่ 10 นาทีแรกโดยจุดสมมูลที่เห็นจุดแรกจะเป็นของกรดฟอร์มิกส่วนจุดที่สองจะเป็นของกรดเปอร์ฟอร์มิก ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสมมูลจุดแรกจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดฟอร์มิก ส่วนปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตระหว่างจุดสมมูลแรกและจุดสมมูลที่สองจะเป็นปริมาณเบสที่ใช้ในการไทเทรตกรดเปอร์ฟอร์มิก ต่อมาในการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่จะทำโดยการนำสารละลายตัวอย่างมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ข้อมูลที่จะใช้ในติดตามการเปลี่ยนแปลงของสารละลายตัวอย่างในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์จะใช้ข้อมูลของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาทีเป็นข้อมูลตั้งต้น (ข้อมูลดิบจากการไทเทรตแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ)

**ผลการทดลองเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมลเท่ากัน แต่ความเข้มข้นต่างกัน**

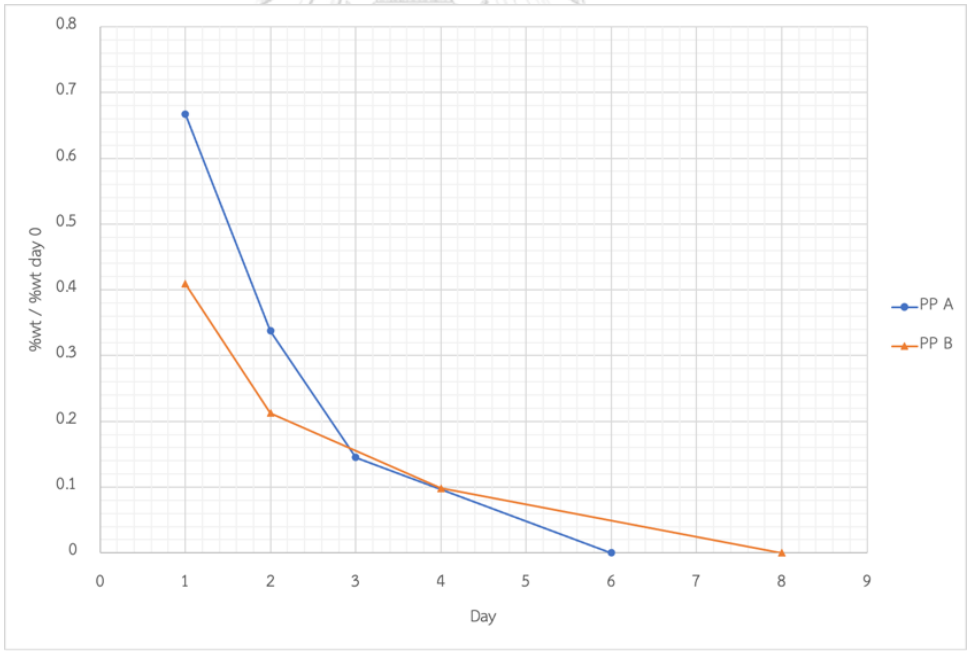
จากรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.19 พบว่าตัวอย่างที่ความเข้มข้นน้อยกว่าในภาชนะทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มอัตราการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิกน้อยกว่าตัวอย่างที่ความเข้มข้นมากกว่า ต่อมาพิจารณาจากรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.20 พบว่าแนวโน้มอัตราการลดลงของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกของภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่ความเข้มข้นต่างกันมีแนวโน้มการลดลงอยู่ในขอบเขตเดียวกัน และเมื่อมาพิจารณาที่รูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.21 พบว่าที่ภาชนะแก้วไพเร็กซ์ และPP ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันนั้นมีแนวโน้มอัตราการลดลงของปริมาณทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ในขอบเขตเดียวกัน ในขณะที่ภาชนะ HDPE ตัวอย่างที่ความเข้มข้นมากกว่ามีแนวโน้มอัตราการลดลงของปริมาณทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่าตัวอย่างที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ดังนั้นเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นมีผลต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกต่อภาชนะ HDPE เพียงชนิดเดียว




(ก)




(ข)



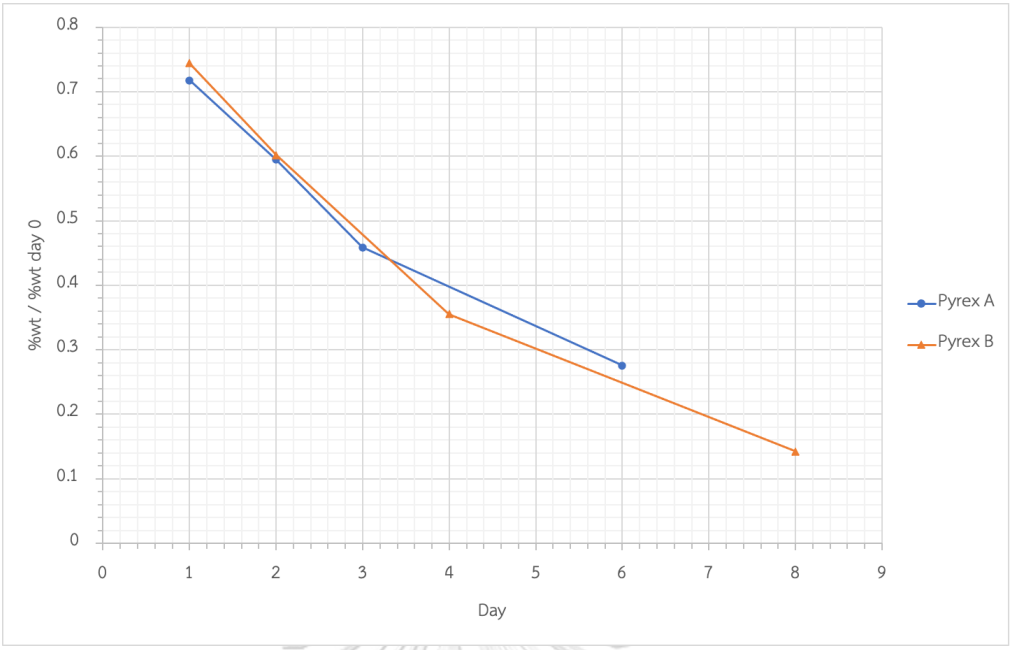

(ค)

**รูปที่ 4.23** อัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ก คือ แก้วไพเร็กซ์, ข คือ HDPE และ ค คือ PP โดยที่ A เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้มน้อยกว่า และB เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นมากกว่า

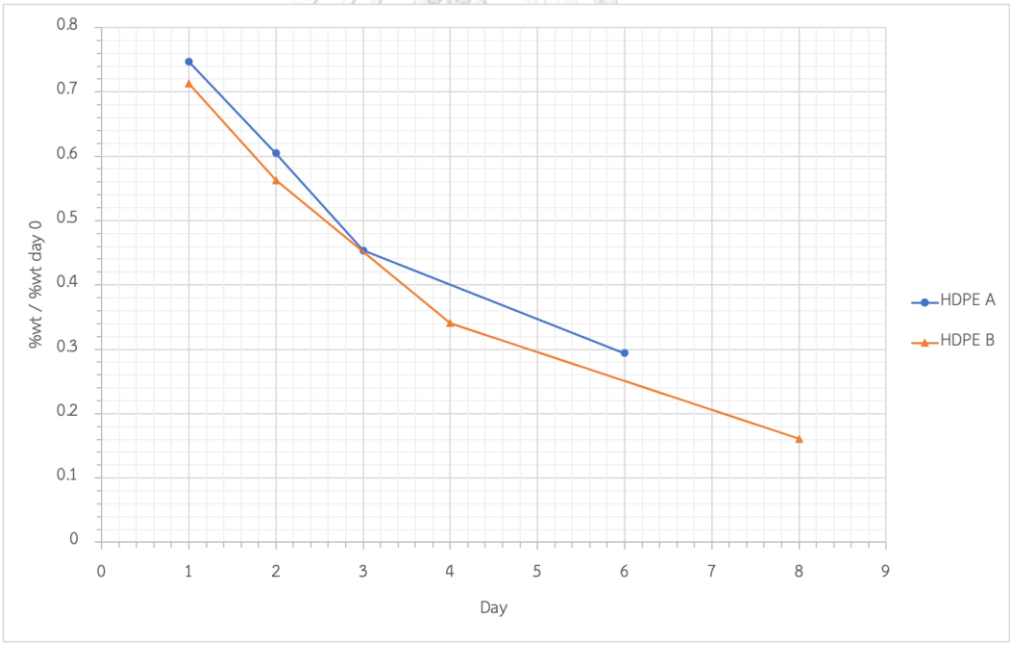
**ตารางที่ 4.19** ข้อมูลตัวเลขของอัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน

| Day | Pyrex A | Pyrex B | HDPE A | HDPE B | PP A | PP B |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | - | - | - | - | - | - |
| 1 | 0.5369 | 0.4850 | 0.5613 | 0.4843 | 0.6670 | 0.4088 |
| 2 | 0.3918 | 0.2946 | 0.4024 | 0.2353 | 0.3375 | 0.2126 |
| 3 | 0.2431 | - | 0.2435 | - | 0.1450 | - |
| 4 | - | 0.1118 | - | 0.0984 | - | 0.0983 |
| 5 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 0 | - | 0 | - | 0 | - |
| 7 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | - | 0 | - | 0.0342 | - | 0 |

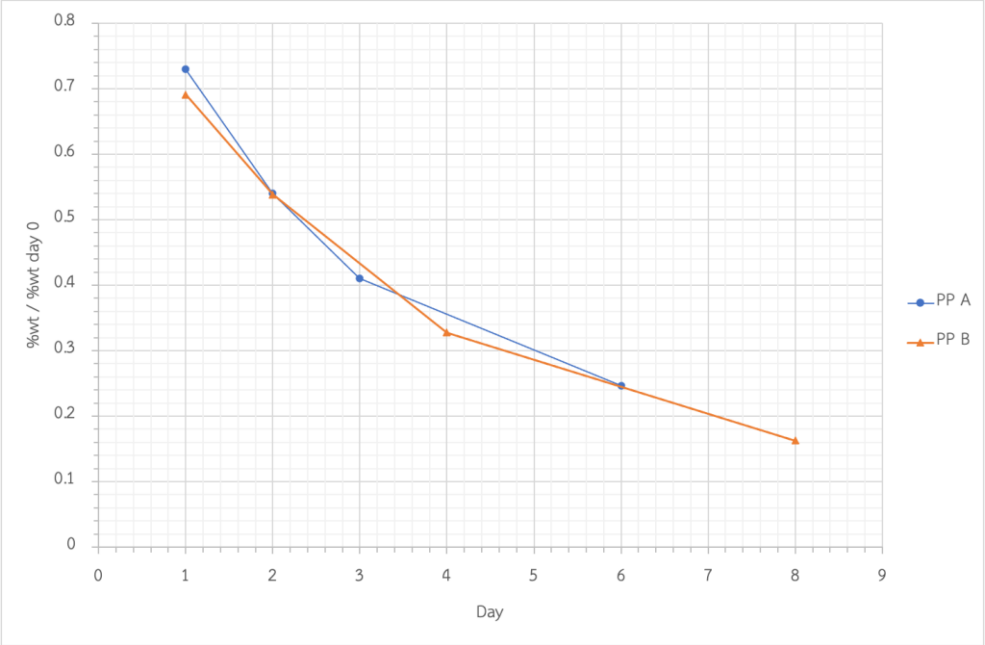
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University


0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
%wt / %wt day 0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Day
Pyrex A
Pyrex B

(ก)


0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
%wt / %wt day 0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Day
HDPE A
HDPE B

(ข)



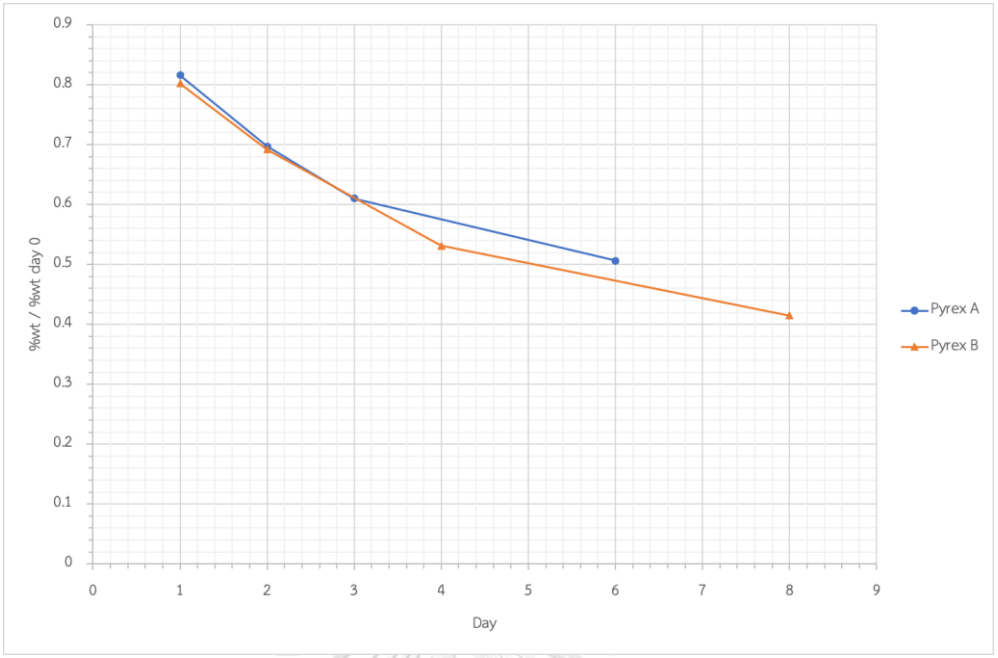

(ค)

**รูปที่ 4.24** อัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ก คือ แก้วไพเร็กซ์, ข คือ HDPE และ ค คือ PP โดยที่ A เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นน้อยกว่าและ B เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นมากกว่า

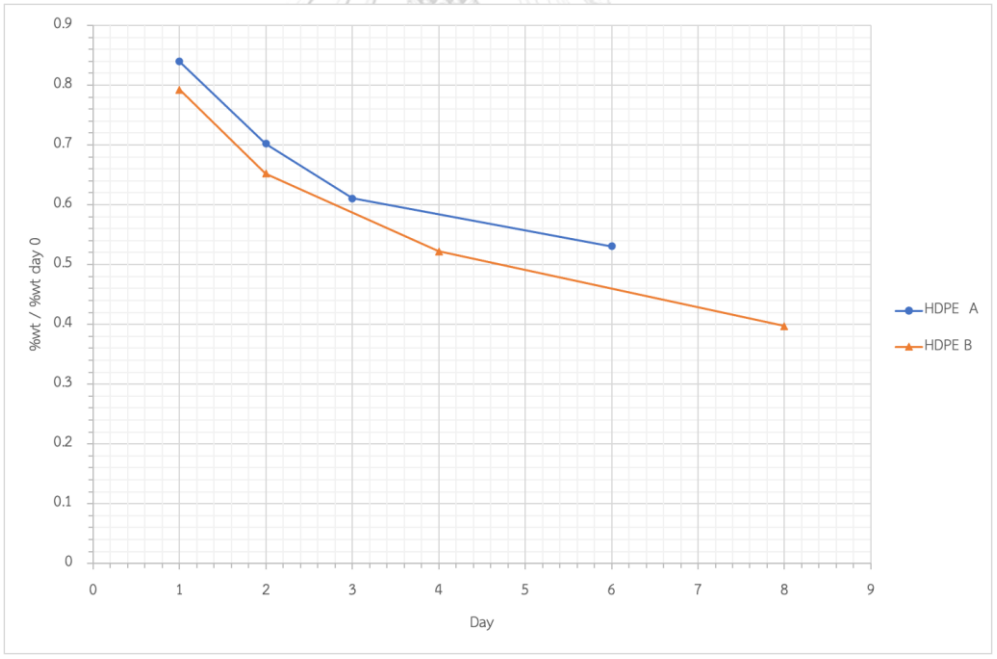
**ตารางที่ 4.20** ข้อมูลตัวเลขของอัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกที่เหลืออยู่ในภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน

Chulalongkorn University

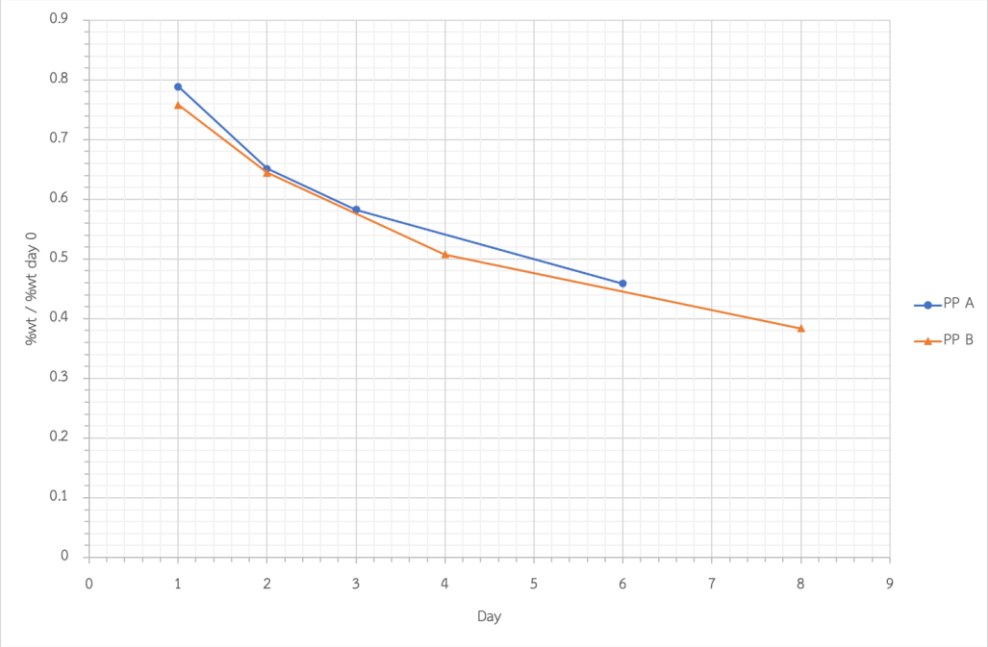
| Day | Pyrex A | Pyrex B | HDPE A | HDPE B | PP A | PP B |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | - | - | - | - | - | - |
| 1 | 0.7177 | 0.7441 | 0.7474 | 0.7132 | 0.7299 | 0.6909 |
| 2 | 0.5945 | 0.6018 | 0.6046 | 0.5626 | 0.5398 | 0.5384 |
| 3 | 0.4583 | - | 0.4534 | - | 0.4102 | - |
| 4 | - | 0.3552 | - | 0.3407 | - | 0.3273 |
| 5 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 0.2757 | - | 0.2941 | - | 0.2468 | - |
| 7 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | - | 0.1424 | - | 0.1608 | - | 0.1626 |


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
%wt / %wt day 0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Day
Pyrex A
Pyrex B

(ก)


0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
%wt / %wt day 0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
Day
HDPE A
HDPE B

(ข)




(ค)

**รูปที่ 4.25** อัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด ที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ก คือ แก้วไพเร็กซ์, ข คือ HDPE และค คือ PP โดยที่ A เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นน้อยกว่าและ B เป็นผลของตัวอย่างที่ความเข้มข้นมากกว่า

**ตารางที่ 4.21** ข้อมูลตัวเลขของอัตราส่วนระหว่าง %wt ณ วันใดๆต่อ %wt ที่วันเริ่มต้นของปริมาณทั้งหมดของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ในภาชนะทั้ง 3 ชนิดที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| Day | Pyrex A | Pyrex B | HDPE A | HDPE B | PP A | PP B |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | - | - | - | - | - | - |
| 1 | 0.8155 | 0.8020 | 0.8395 | 0.7921 | 0.7885 | 0.7577 |
| 2 | 0.6966 | 0.6915 | 0.7020 | 0.6523 | 0.6511 | 0.6441 |
| 3 | 0.6100 | - | 0.6103 | - | 0.5823 | - |
| 4 | - | 0.5308 | - | 0.5221 | - | 0.5077 |
| 5 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | 0.5061 | - | 0.5306 | - | 0.4585 | - |
| 7 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | - | 0.4145 | - | 0.3970 | - | 0.38358 |

# บทที่ 5
# สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

บทนี้จะเป็นการสรุปผลการทดลองจากการศึกษาความต้านทานต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกของภาชนะบรรจุที่ทำจาก แก้วไพเร็กซ์, พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิโพรพิลีน (PP) ที่ได้บรรยายในบทที่ 4 รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆที่คาดว่าจะนำไปพัฒนากระบวนการผลิตต่อไป

## 5.1 สรุปผลการทดลองการศึกษาผลของชนิดภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลที่แตกต่างกันส่งผลให้เห็นผลของการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกต่อภาชนะบรรจุที่แตกต่างกันโดย PP นั้นถูกโจมตีจากกรดเปอร์ฟอร์มิกได้ง่ายที่สุด รองลงมาคือ HDPE และลำดับสุดท้ายคือแก้วไพเร็กซ์ สิ่งนี้บ่งชี้ได้จากผลการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลที่ 1:0.8 และ 1:1.6 พบว่าแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิก, ปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน PP จะแสดงผลในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 อัตราส่วน คือมีแนวโน้มการลดลงที่มากกว่าภาชนะบรรจุอีกทั้ง 2 ชนิดสังเกตุได้จาก PP นั้นจะมีเส้นแนวโน้มการลดลงอยู่ล่างสุดเสมอโดยจะมีเส้นแนวโน้มการลดลงของ HDPE อยู่ตรงกลางระหว่าง PP และแก้วไพเร็กซ์ และในส่วนอัตราส่วนโดยโมลที่ 1:3.2 นั้นจะพบว่าการสลายตัวทั้ง 2 รูปแบบของกรดเปอร์ฟอร์มิกสามารถเกิดขึ้นได้ง่ายในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดสังเกตุได้จากแนวโน้มการลดลงของกรดเปอร์ฟอร์มิก, ปริมาณทั้งหมดของกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิดนั้นมีแนวโน้มการลดลงอยู่ในขอบเขตเดียวกันและสำหรับการพิจารณาถึงการใช้งานนั้นแม้แก้วไพเร็กซ์จะมีความต้านทานการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกมากที่สุดแต่ในด้านการใช้งาน HDPE จะเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**5.2 สรุปผลการทดลองการศึกษาชนิดของภาชนะบรรจุในการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตรส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกัน**

จากการทดลองนี้เป็นการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือ 1:1.6 เท่ากันแต่ความเข้มข้นต่างกันพบว่าที่ความเข้มข้นต่างกันจะเห็นการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกในภาชนะบรรจุ HDPE เห็นได้จากแนวโน้มอัตราการลดลงของปริมาณทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างที่มีความเข้มข้นมากกว่ามีแนวโน้มการลดลงที่มากกว่าตัวอย่างที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า ในขณะที่แนวโน้มอัตราการลดลงของปริมาณทั้งหมดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในแก้วไพเร็กซ์ และPP มีแนวโน้มอยู่ในขอบเขตเดียวกันแม้ความเข้มข้นจะต่างกัน จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันมีผลต่อการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกในภาชนะบรรจุ HDPE

**5.3 ข้อเสนอแนะ**

ข้อเสนอแนะที่อาจนำไปใช้ต่อในกระบวนการผลิตกรดเปอร์ฟอร์มิกในอนาคตมีดังนี้

- เพื่อความปลอดภัยในการเตรียมกรดเปอร์ฟอร์มิกควรมีการศึกษาอัตราส่วนระหว่างกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้ดีเนื่องจากปฏิกิริยาเป็นแบบคายความร้อนความแตกต่างของอัตราส่วนนั้นมีผลต่อความร้อนที่จะเกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยา

- ใช้วัสดุที่มีความหลากหลายมากขึ้น เพื่อหาวัสดุที่สามารถทนการโจมตีของกรดเปอร์ฟอร์มิกได้มากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ภาคผนวก ก
# การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโพสแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เตรียมขึ้นมาเพื่อใช้ในการไทเทรตหาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$C_{KMnO_4} = W_{oxalic}/(90.03 \times 2.5 \times V_{KMnO_4})$$

เมื่อ $C_{KMnO_4}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (M)

$W_{oxalic}$ คือ น้ำหนักของกรดออกซาลิก (g)

90.03 คือ น้ำหนักโมเลกุลของกรดออกซาลิก (g/mol)

$V_{KMnO_4}$ คือ ปริมาตรสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ (ml)

2.5 คือ อัตราส่วนการทำปฏิกิริยาระหว่าง $MnO_{4-}$ กับ $C_2O_4^{2-}$

ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ในการทดลอง โดยมีข้อมูลการไทเทรตหาความเข้มข้น ดังนี้

| ขวดที่ | น้ำหนัก Oxalic (g) | $KMnO_4$ เริ่มต้น (ml) | $KMnO_4$ สุดท้าย (ml) | $KMnO_4$ ที่ใช้ไป (ml) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.0508 | 0.6 | 8.6 | 8 |
| 2 | 0.0516 | 8.6 | 16.7 | 8.1 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แทนค่าข้อมูลการไทเทรตลงในสูตรการหาความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ขวดที่ 1 $C_{KMnO_{4,1}} = 0.0508/(90.03 \times 2.5 \times 8)$

$= 0.0282$ M

ขวดที่ 2 $C_{KMnO_{4,2}} = 0.0516/(90.03 \times 2.5 \times 8.1)$

$= 0.0283$ M

ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเฉลี่ยทั้ง 2 ขวด

$$C_{KMnO_4} = (C_{KMnO_{4,1}} + C_{KMnO_{4,2}})/2$$
$$= (0.0282 + 0.0283)/2$$
$$= 0.0282 \text{ M}$$

# ภาคผนวก ข
# การคำนวณค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมขึ้นมาเพื่อใช้ในการไทเทรตหาปริมาณกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นและกรดฟอร์มิกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$C_{NaOH} = W_{KHP} / (204.22 \times 1 \times V_{NaOH}) \times 100$$

เมื่อ $C_{NaOH}$ คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (M)

$W_{KHP}$ คือ น้ำหนักของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (g)

204.22 คือ น้ำหนักโมเลกุลของโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (g/mol)

$V_{NaOH}$ คือ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ (ml)

1 คือ อัตราส่วนการทำปฏิกิริยาระหว่าง KHP กับ NaOH

ตัวอย่างการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง โดยการชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) 0.3054 g และใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.0632 ml

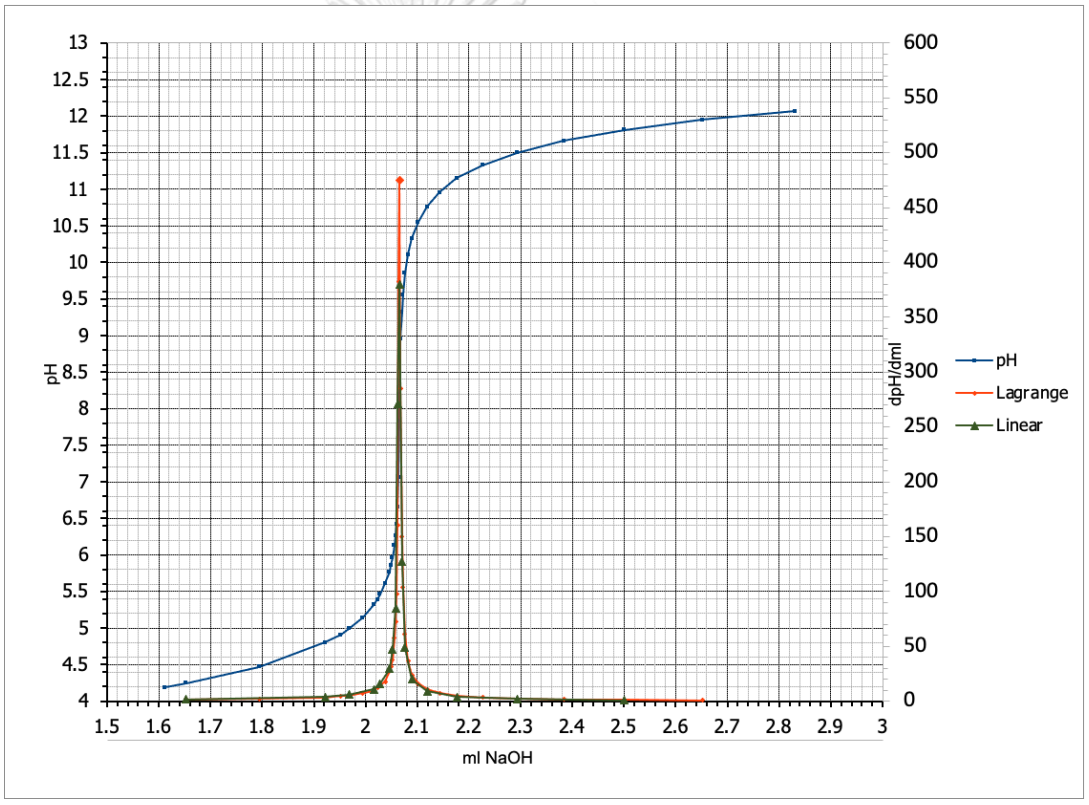
$$C_{NaOH} = 0.3054 / (204.22 \times 1 \times 3.0632) \times 100$$

$$= 0.4882 \text{ M}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก ค
# การหาจุดสมมูลจากกราฟการไทเทรต

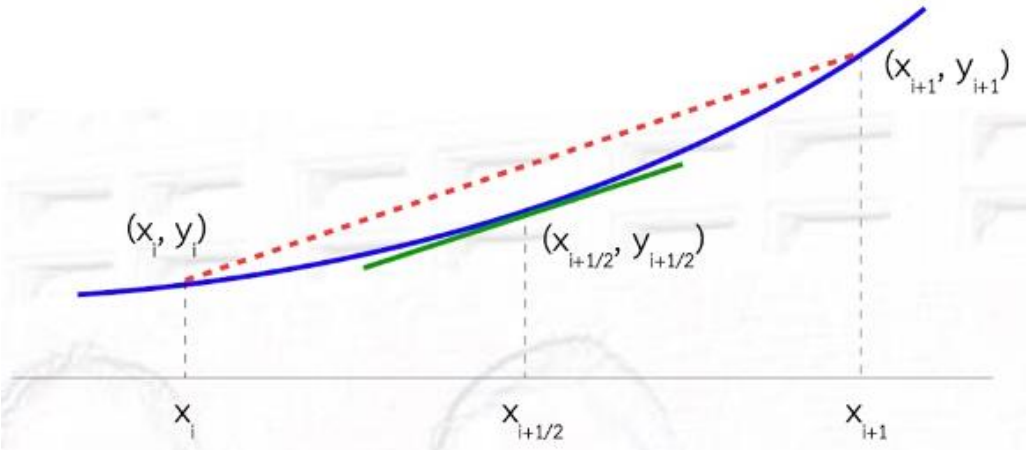
ทำการไทเทรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) แล้ววัดค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดลงไป ในช่วงที่ยังไม่ถึงจุดสมมูลนั้นค่า pH จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลง (ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงต่อปริมาตรNaOH ที่หยดลงไป) ที่ต่ำ และเมื่อเข้าสู่ช่วงใกล้จุดสมมูลอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH จะเพิ่มสูงขึ้นโดยจะมีค่าสูงสุดที่จุดสมมูล เมื่อพ้นจากจุดสมมูลแล้วอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH จะลดต่ำลง แสดงดังรูปที่ ค.1




**รปที่ ค.1** กราฟการไทเทรตตัวอย่างกรดฟอร์มิกมิก (HCOOH) ด้วยเบสแก่ (NaOH 0.4882 mol/l) ซึ่งเส้นสีน้ำเงินคือค่า pH ที่วัดได้เมื่อหยดเบสลงไป และเส้นสีแดงและเส้นสีเขียวคือค่าความชันของเส้นสีน้ำเงินที่คำนวณด้วยเทคนิคที่ต่างกัน

การระบุตำแหน่งค่า pH ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดจากกราฟค่า pH กับปริมาตรเบสที่หยดนั้นทำได้ยาก (เส้นน้ำเงินในรูปที่ ค.1) วิธีการหนึ่งที่จะช่วยในการระบุตำแหน่งดังกล่าวทำได้ง่ายขึ้นก็คือการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH แล้วนำมาสร้างกราฟใหม่เป็นกราฟระหว่างค่าอัตราการเปลี่ยนค่า pH หรือก็คือค่า d(pH)/d(ml) กับปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยด ตำแหน่งที่เป็นพีคของกราฟที่ได้คือตำแหน่งของจุดสมมูล

วิธีการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH วิธีแรกคือเทคนิค finite difference วิธีการนี้ทำได้โดยการที่ถ้ามีจุดข้อมูล 2 จุด คือ $(x_i, y_i)$ และ $(x_{i+1}, y_{i+1})$ ความชันที่ได้จากเส้นตรงที่เชื่อมต่อสองจุดนี้ด้วยกันคือ $(y_{i+1} + y_i)/ (x_{i+1} + x_i)$ ซึ่งความชันของเส้นตรงนี้จะเป็นค่าประมาณความชันของจุดกึ่งกลางระหว่าง $x_i$ และ $x_{i+1}$ ซึ่งก็คือจุด $(x_1+x_2)/2$ หรือ $x_{i+1/2}$ (รูปที่ ค.2)




จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**รูป ค.2** เส้นประสีแดงที่ลากเชื่อมจุด (xi, yi) และ (xi+1, yi+1) มีความชันเท่ากับ (yi+1- yi)/ (xi+1- xi) ความชันของเส้นสีแดงใกล้เคียงกับเส้นสัมผัสโค้งที่จุด (xi+1/2, yi+1/2) (เส้นสีเขียว)

วิธีการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH วิธีที่สองคือ การใช้ฟังก์ชันพหุนาม (polynomial) โดยการสร้าง interpolation function ขึ้นมาก่อน วิธีการนี้จะทำให้ได้ฟังก์ชันต่อเนื่องสำหรับคำนวณค่า y ที่จุด x ใดๆ จากนั้นทำการ differential หรือการหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่สร้างขึ้น ยกตัวอย่างเช่นถ้าใช้จุดข้อมูล 3 จุด ก็จะสามารถสร้างสมการกำลังสองได้ และวิธีการที่หนึ่งที่สามารถสร้างสมการกำลังสองได้โดยง่ายจากจุดข้อมูล 3 จุด (a, f(a), b, f(b) และ c, f(c)) คือการใช้ฟังก์ชันพหุนามลากรองจ์ (Lagrange polynomial) โดยในกรณีของจุดข้อมูล 3 จุด ฟังก์ชันจะเป็นดังสมการที่แสดงดังต่อไปนี้

$$P_2(x) = \frac{(x-b)(x-c)}{(a-b)(a-c)} f(a) + \frac{(x-a)(x-c)}{(b-a)(b-c)} f(b) + \frac{(x-a)(x-b)}{(c-a)(c-b)} f(c \quad (1)$$

เมื่อทำการ differential สมการที่ (1) 1 และ 2 ครั้ง จะได้สมการสำหรับการคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับ 1 และ 2 แสดงดังต่อไปนี้

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2x-(b+c)}{(a-b)(a-c)} f(a) + \frac{2x-(a+c)}{(b-a)(b-c)} f(b) + \frac{2x-(a+b)}{(c-a)(c-b)} f(c) \quad (2)$$

$$\frac{d^2y}{d^2x} = \frac{2f(a)}{(a-b)(a-c)} + \frac{2f(b)}{(b-a)(b-c)} + \frac{2f(c)}{(c-a)(c-b)} \quad (3)$$

รูปที่ ค.1 และ ค.3 ที่นำมาเป็นตัวอย่างนั้นได้มาจากการไทเทรตด้วยเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ โดยเครื่องจะทำการปรับปริมาตรเบสที่เติมตามอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH ทำให้จุดข้อมูลที่ได้มานั้นห่างกันเป็นระยะที่ไม่คงที่ คือ ช่วงที่ค่า pH เปลี่ยนช้าจุดก็จะห่างกัน แต่ถ้าเป็นช่วงที่ค่า pH เปลี่ยนเร็วจุดจะอยู่ใกล้กัน

เนื่องจากความละเอียดของการเติมเบสนั้นสูงกว่าความไวในการวัดค่า pH ดังนั้นเมื่อนำข้อมูลค่า pH ที่วัดได้จริงมาคำนวณค่าอนุพันธ์ กราฟอนุพันธ์จะมีการแกว่างไปมาได้ โดยเฉพาะตรงบริเวณจุดสมมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า pH อย่างรวดเร็ว

การใช้ค่าอนุพันธ์ในการหาตำแหน่งจุดสมมูลจะช่วยให้การแปลผลการไทเทรตที่การเปลี่ยนแปลงค่า pH นั้นไม่เด่นชัด (ตัวอย่างเช่นพีคในรูปที่ ค.3) หรือกรณีที่จุดสมมูลของกรดแต่ละตัวนั้นอยู่ใกล้กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ภาคผนวก ง

## ตัวอย่างการหาปริมาณรวมของกรดฟอร์มิก กรดฟอร์มิกที่ใช้ทำปฏิกิริยา กรดฟอร์มิกที่เหลือ ปริมาณรวมของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ทำปฏิกิริยา และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลือ

ยกตัวอย่างการคำนวณการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกโดยใช้ กรดฟอร์มิก 20 ml ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 20 ml ที่ผสมกับน้ำกลั่น 20 ml ที่เก็บในภาชนะบรรจุแก้วไพเร็กซ์ของวันที่ 1 ในหัวข้อที่ 4.1 (ผลการทดลองในกราฟที่ 4.2 และตารางที่ 4.1)

ตัวอย่างนี้เตรียมโดยการผสมกรดฟอร์มิก 20 ml + $H_2O_2$ 20 m + น้ำกลั่น 20 mll ปิเปตตัวอย่างที่จะไทเทรตมา 0.1164 g ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้คือ 0.4882 M ใช้ปริมาตรในการไทเทรตทั้งหมด 1.24 ml

<u>กรดฟอร์มิก</u>

จำนวนโมลของกรดฟอร์มิกที่เหลือ = 0.4882 x (1.085/1000) = $5.29 \times 10^{-4}$ mol

น้ำหนักกรดฟอร์มิกที่เหลือ = 46.03 x $4.22 \times 10^{-4}$ mol = $2.43 \times 10^{-2}$ g

%w/w ของกรดฟอร์มิกที่เหลือ = ($2.43 \times 10^{-2}$/0.1164) x 100 = 20.94 %w/w

%w/w ของกรดรวมทั้งหมดที่เป็นกรดฟอร์มิก = ($5.68 \times 10^{-4}$ x 46.03) / (0.1164 x 100)

= 22.49 %w/w

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

<u>กรดเปอร์ฟอร์มิก</u>

จำนวนโมลของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้น = 0.4882 x (1.165-1.085)/1000 = $3.905 \times 10^{-5}$ mol

น้ำหนักของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้น = 62.024 x $3.905 \times 10^{-5}$ = $2.42 \times 10^{-3}$ g

%w/w ของกรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้น = ($2.42 \times 10^{-3}$/0.1164) x 100 = 2.08 %w/w

จำนวนโมลรวมของกรดทั้งหมด (FA และ PFA) = $5.29 \times 10^{-4}$ + $3.905 \times 10^{-5}$ = $5.68 \times 10^{-4}$ mol

<u>ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์</u>

ใช้วิธีการไทเทรตด้วยสารละลาย $KMnO_4$ ความเข้มข้น 0.02991 M ในการหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยจะทำการไทเทรต 2 ครั้ง น้ำหนักโดยรวมของตัวอย่างที่ใช้คือ 0.2505 g ปริมาตรสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ในการไทเทรตรวมทั้งหมด 11.4 ml

จำนวนโมลของ $H_2O_2$ ที่เหลือ = ((0.02991 x 11.4)/1000) x 2.5 = $8.52 \times 10^{-4}$ mol

($KMnO_4$ ทำปฏิกิริยากับ $H_2O_2$ ในสัดส่วน $KMnO_4$ 1 ส่วนต่อ $H_2O_2$ 2.5 ส่วน)

น้ำหนักของ $H_2O_2$ ที่เหลือ = $8.52 \times 10^{-4} \times 34.015 = 2.90 \times 10^{-2}$ g

%w/w ของ $H_2O_2$ ที่เหลืออยู่ = $(2.90 \times 10^{-2}/0.2505) \times 100 = 11.57$ %w/w

%w/w ของ $H_2O_2$ ที่เปลี่ยนไปเป็น PFA 2.08 %w/w x (34.015/62.024) = 1.14 %w/w

%w/w ของ $H_2O_2$ ทั้งหมด = 11.57 + 1.14 = 12.71 %w/w

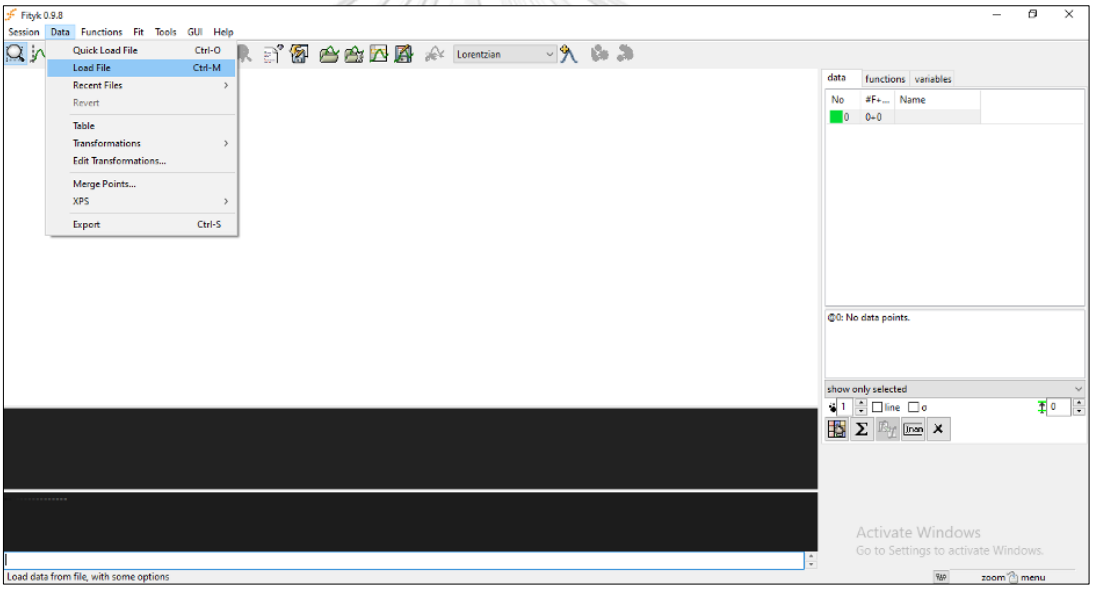


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก จ
# การหาตำแหน่งจุดสมมูลของกราฟการไทเทรตด้วยโปรแกรม fityk

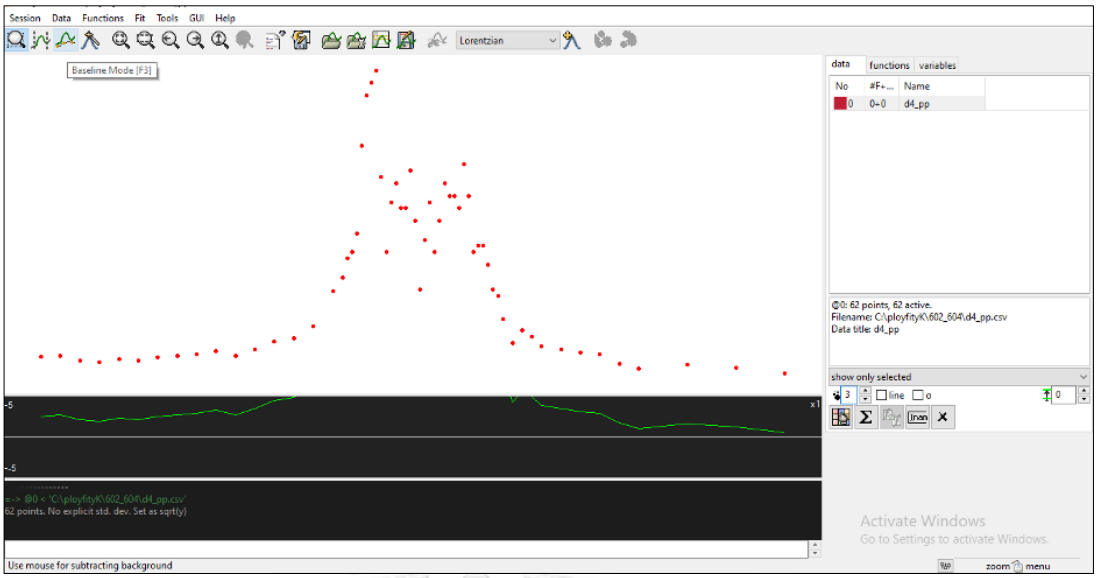
ข้อมูลที่ได้จากการไทเทรตคือ ค่า pH และปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดลงไปโดยจะข้อมูลที่ได้มานี้มาคำนวณค่า dpH/dml (ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไปกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า pH) ซึ่งข้อมูลที่จะนำเข้าโปรแกรม fityk ได้แก่ ปริมาตรสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดลงไป (ml) และ dpH/dml โดยในการใช้โปรแกรม fityk อ่านค่าข้อมูลนั้นจะต้องทำการบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ .csv (สำหรับ spredsheet)

ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม fityk อ่านค่าข้อมูลเริ่มต้นโดยการเปิดเมนู Data ที่แถบเครื่องมือด้านบน จากนั้นเลือกที่ Load File ตามรูปที่ จ.1 จากนั้นทำการเลือกไฟล์ที่ต้องการ



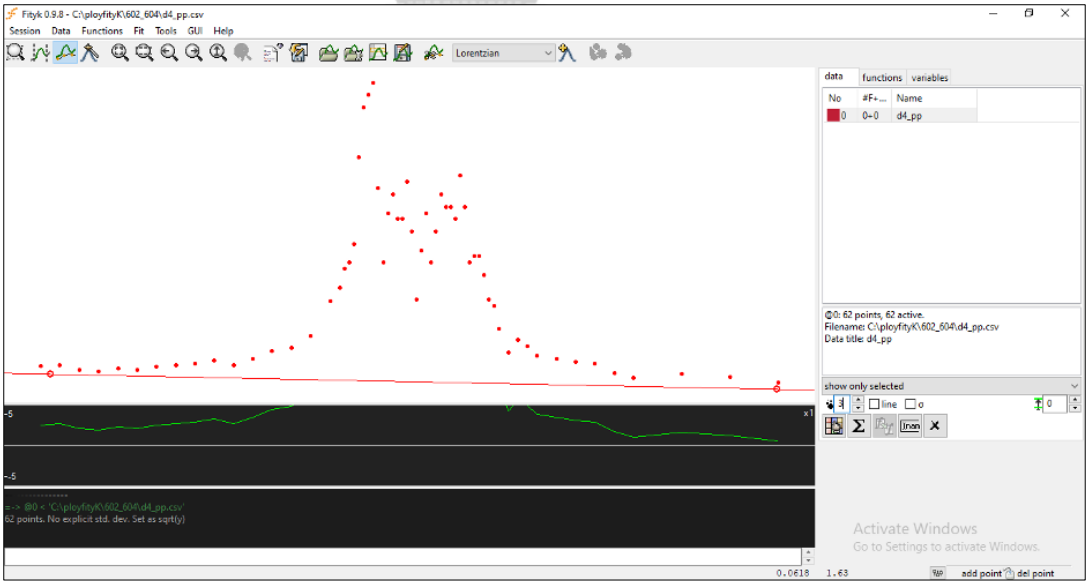

**รูปที่ จ.1** เมนู Load File

เมื่อเปิดไฟล์ข้อมูลที่เลือกแล้วจะมีจุดข้อมูลแสดงขึ้นมา ตามรูปที่ จ.2

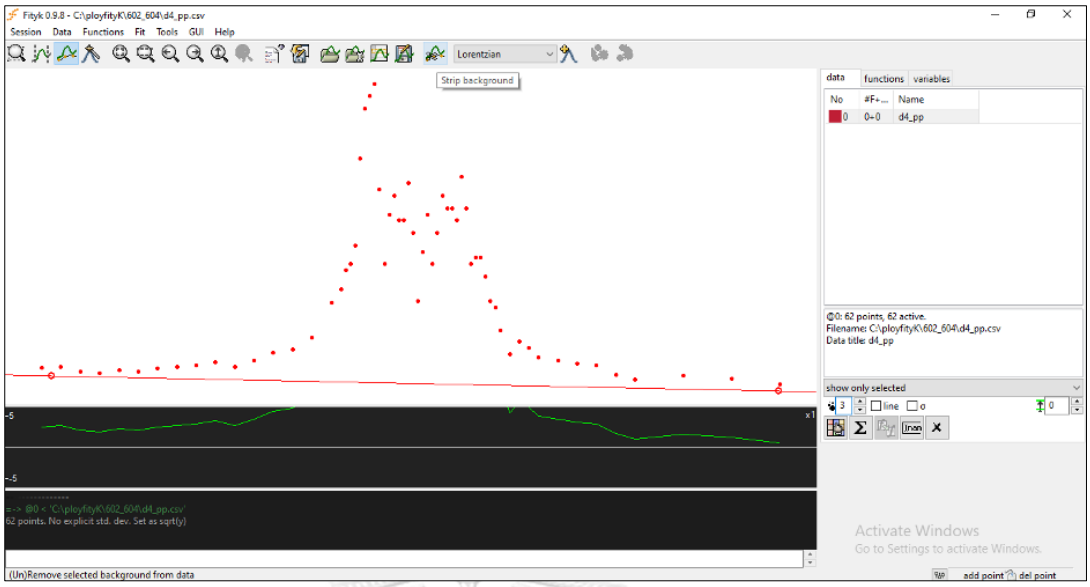



**รูปที่ จ.2** จุดข้อมูลที่แสดงขึ้นมาตามไฟล์ข้อมูล

จากนั้นเลือกเมนู Baseline Mode ตามรูปที่ จ.2 และทำการระบุตำแหน่งโดยเลือกตำแหน่งที่ต่ำที่สุดของข้อมูล ตามรูปที่ จ.3 จากนั้นทำการตัด Baseline โดยกดที่เมนู Strip background ตามรูปที่ จ.4

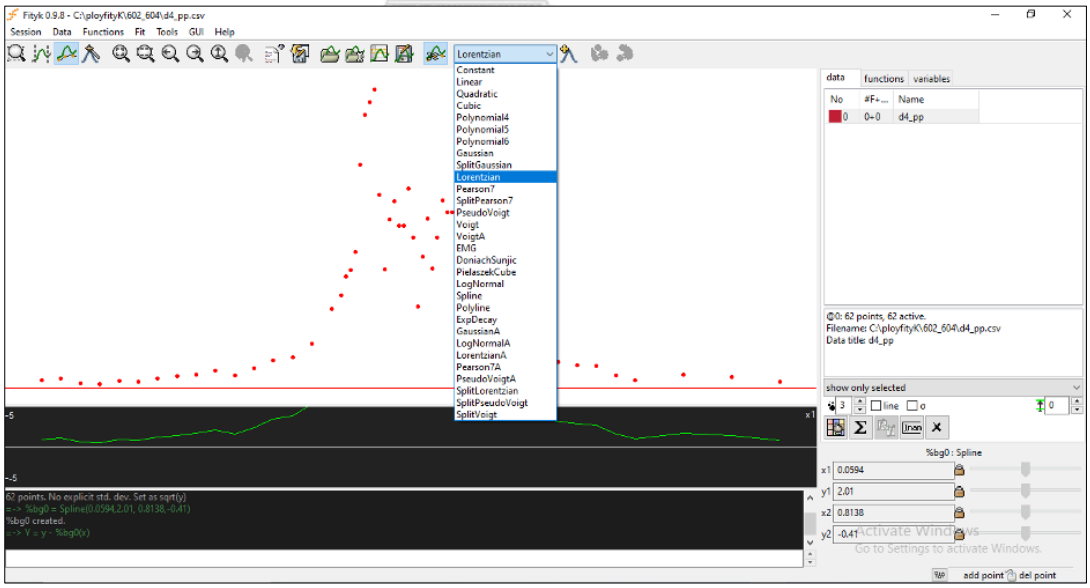



**รูปที่ จ.3** การระบุตำแหน่งเส้น Baseline

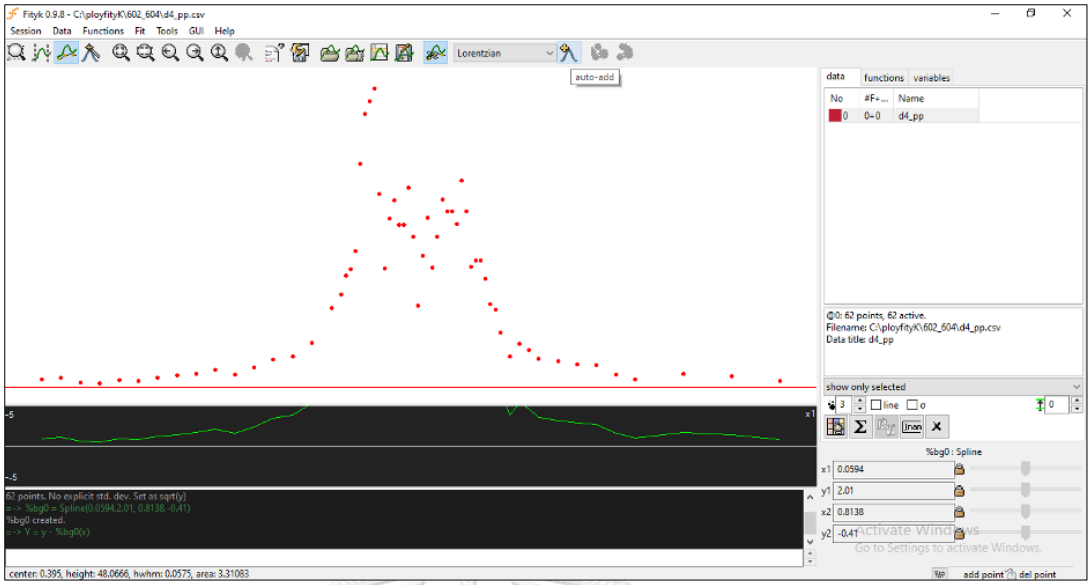



**รูปที่ จ.4** เมนู Strip background

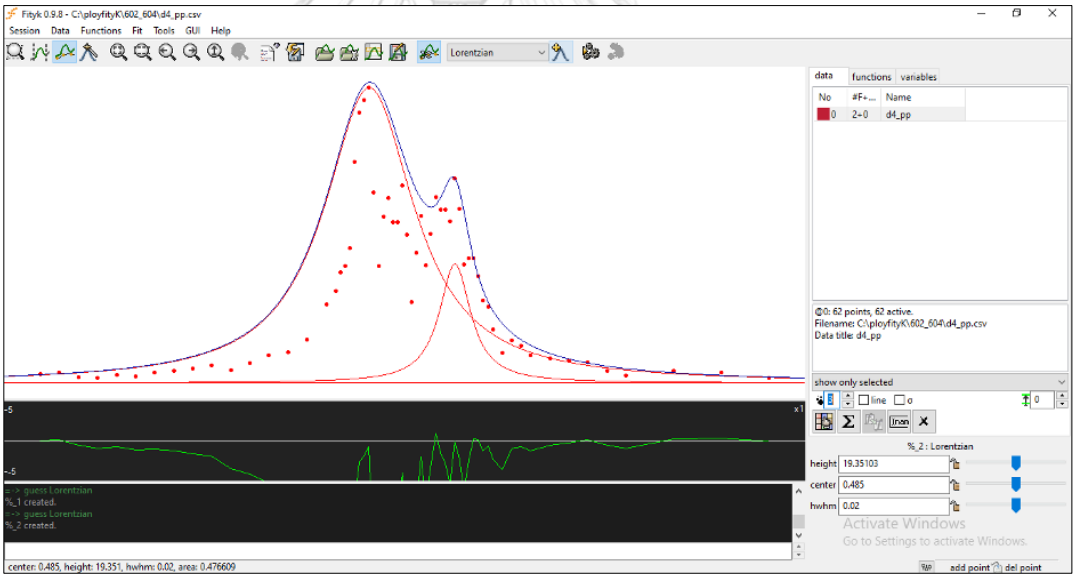
ต่อมาทำการเลือกชนิดของฟังก์ชันเป็น Lorentzian ตามรูปที่ จ.5 จากนั้นเลือกเมนู Auto-add เพื่อทำการเพิ่ม peak ของกราฟโดยจะเพิ่ม peak ที่ 2 พีค ตามรูปที่ จ.6 และรูปที่ จ.7




**รูปที่ จ.5** ชนิดของฟังก์ชัน

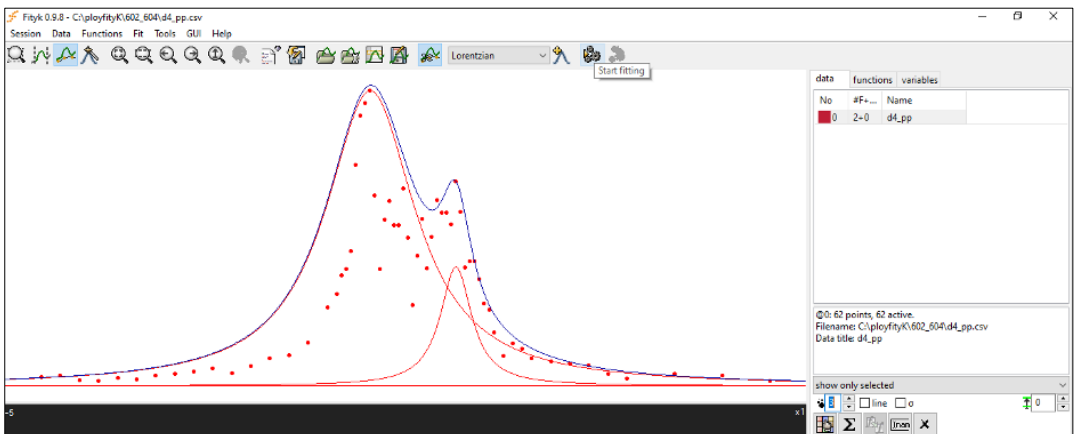



**รูปที่ จ.6** เมนู Auto-add

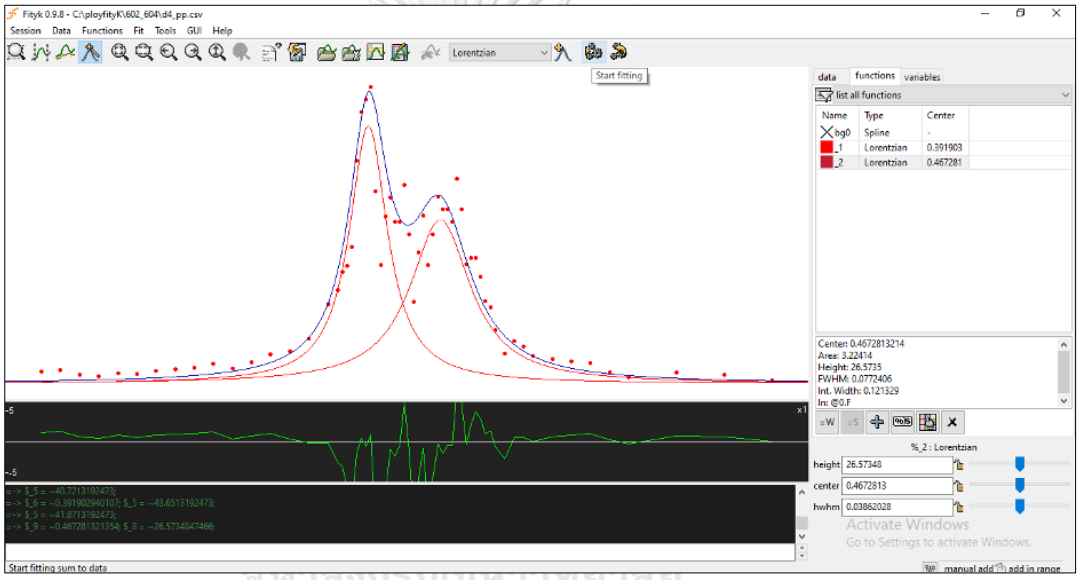



**รูปที่ จ.7** Peak ของกราฟข้อมูลที่ได้

ต่อมาทำการ peak fitting โดยเลือกเมนู Start fitting ตามรูปที่ จ.8 และรูปที่ จ.9



**รูปที่ จ.8** เมนู Start fitting




**รูปที่ จ.9** Peak fitting

จากการทำ Peak fitting จะทำให้ได้ตำแหน่งจุดสมมูลโดยค่าของตำแหน่งจุดสมมูลสามารถอ่านได้ที่เมนู list all function ที่อยู่ทางด้านขวาของกราฟ

# ภาคผนวก ฉ

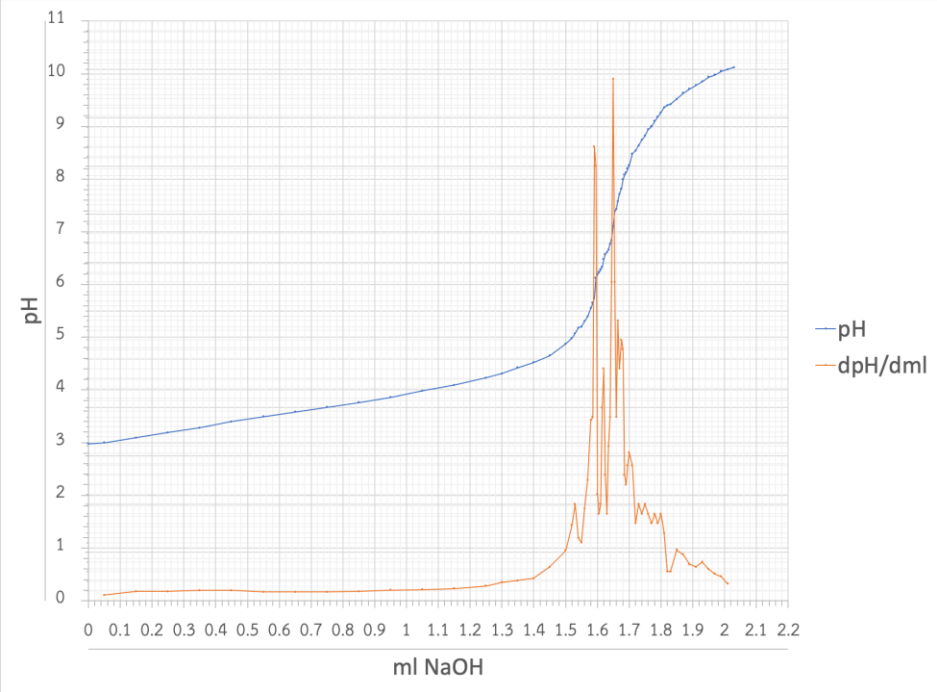
## ข้อมูลดิบการไทเทรตด้วยเครื่อง เครื่อง Mettle Toledo Sevencompact S220 pH/Ion meter

ข้อมูลการไทเทรตเพื่อใช้ในการคำนวณหากรดเปอร์ฟอร์มิกที่เกิดขึ้นและกรดฟอร์มิกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา โดยใช้น้ำกลั่นเย็น

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 10 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1173 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.1** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2343 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 20.7 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00154 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05266 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 22.47 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.8494 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 23.32 %wt |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตารางที่ ฉ.1** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

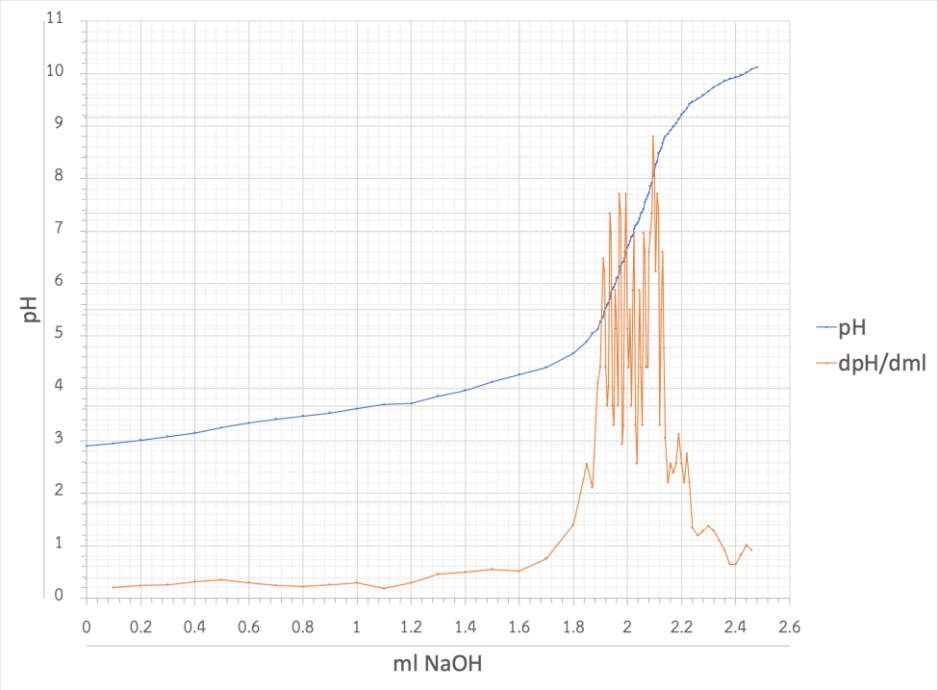
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.98 | |
| 0.05 | 3 | 0.56666667 |
| 0.15 | 3.09 | 0.95 |
| 0.25 | 3.19 | 0.95 |
| 0.35 | 3.28 | 1.05 |
| 0.45 | 3.4 | 1.05 |
| 0.55 | 3.49 | 0.9 |
| 0.65 | 3.58 | 0.9 |
| 0.75 | 3.67 | 0.9 |
| 0.85 | 3.76 | 0.95 |
| 0.95 | 3.86 | 1.1 |
| 1.05 | 3.98 | 1.15 |
| 1.15 | 4.09 | 1.25 |
| 1.25 | 4.23 | 1.53333333 |
| 1.3 | 4.31 | 1.9 |
| 1.35 | 4.42 | 2.1 |
| 1.4 | 4.52 | 2.3 |
| 1.45 | 4.65 | 3.5 |
| 1.5 | 4.87 | 5.18571429 |
| 1.52 | 4.98 | 7.83333333 |
| 1.53 | 5.07 | 10 |
| 1.54 | 5.18 | 6.5 |
| 1.55 | 5.2 | 6 |
| 1.56 | 5.3 | 9.5 |
| 1.57 | 5.39 | 12.5 |
| 1.58 | 5.55 | 18.6666667 |
| 1.585 | 5.65 | 19 |
| 1.59 | 5.74 | 47 |
| 1.595 | 6.12 | 45 |
| 1.6 | 6.19 | 11 |
| 1.605 | 6.23 | 9 |
| 1.61 | 6.28 | 10 |
| 1.615 | 6.33 | 20 |
| 1.62 | 6.48 | 24 |
| 1.625 | 6.57 | 13 |
| 1.63 | 6.61 | 9 |
| 1.635 | 6.66 | 16 |
| 1.64 | 6.77 | 19 |
| 1.645 | 6.85 | 33 |
| 1.65 | 7.1 | 54 |
| 1.655 | 7.39 | 33 |
| 1.66 | 7.43 | 19 |
| 1.665 | 7.58 | 29 |
| 1.67 | 7.72 | 24 |
| 1.675 | 7.82 | 27 |
| 1.68 | 7.99 | 26 |
| 1.685 | 8.08 | 13 |
| 1.69 | 8.12 | 12 |
| 1.695 | 8.2 | 14 |
| 1.7 | 8.26 | 15.3333333 |
| 1.71 | 8.48 | 14 |
| 1.72 | 8.54 | 8 |
| 1.73 | 8.64 | 10 |
| 1.74 | 8.74 | 9 |
| 1.75 | 8.82 | 10 |
| 1.76 | 8.94 | 9 |
| 1.77 | 9 | 8 |
| 1.78 | 9.1 | 9 |
| 1.79 | 9.18 | 8 |
| 1.8 | 9.26 | 9 |
| 1.81 | 9.36 | 7 |
| 1.82 | 9.4 | 3 |
| 1.83 | 9.42 | 3 |
| 1.85 | 9.52 | 5.25 |
| 1.87 | 9.63 | 4.75 |
| 1.89 | 9.71 | 3.75 |
| 1.91 | 9.78 | 3.5 |
| 1.93 | 9.85 | 4 |
| 1.95 | 9.94 | 3.25 |
| 1.97 | 9.98 | 2.75 |
| 1.99 | 10.05 | 2.5 |
| 2.01 | 10.08 | 1.75 |
| 2.03 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 60 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1173 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.2** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2343 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 20.7 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00154 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05266 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 22.47 %wt |
| wt% $H_2O_2$ไปเป็น PFA | 0.8494 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 23.32 %wt |

**ตารางที่ ฉ.2** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

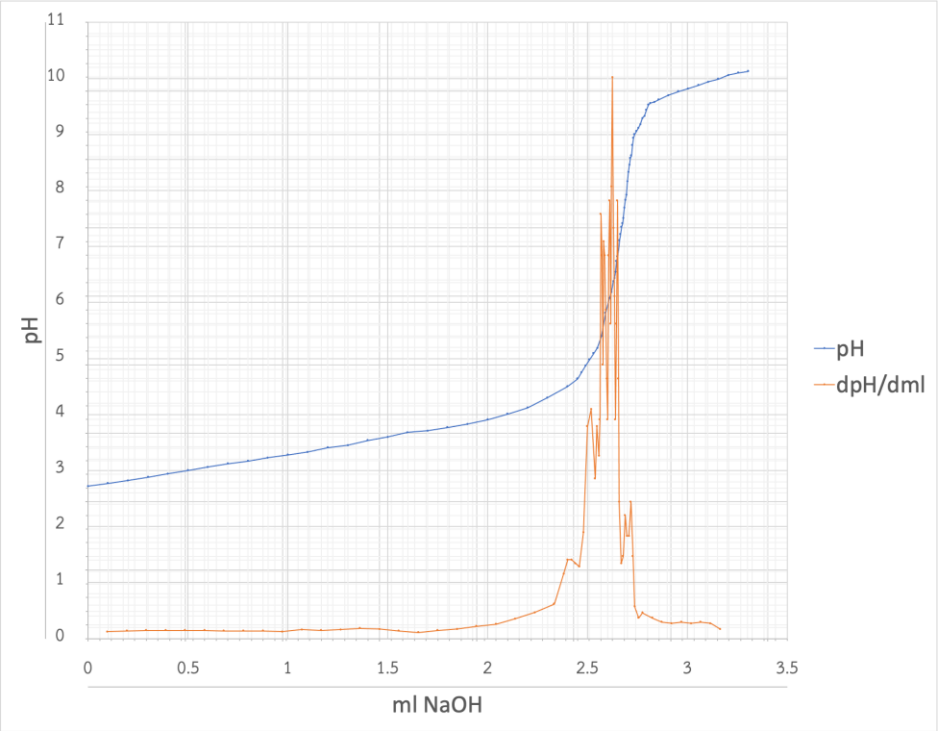
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.9 | |
| 0.1 | 2.95 | 0.55 |
| 0.2 | 3.01 | 0.65 |
| 0.3 | 3.08 | 0.7 |
| 0.4 | 3.15 | 0.85 |
| 0.5 | 3.25 | 0.95 |
| 0.6 | 3.34 | 0.8 |
| 0.7 | 3.41 | 0.65 |
| 0.8 | 3.47 | 0.6 |
| 0.9 | 3.53 | 0.7 |
| 1 | 3.61 | 0.8 |
| 1.1 | 3.69 | 0.5 |
| 1.2 | 3.71 | 0.8 |
| 1.3 | 3.85 | 1.25 |
| 1.4 | 3.96 | 1.35 |
| 1.5 | 4.12 | 1.5 |
| 1.6 | 4.26 | 1.4 |
| 1.7 | 4.4 | 2.05 |
| 1.8 | 4.67 | 3.83333333 |
| 1.85 | 4.89 | 6.97142857 |
| 1.87 | 5.05 | 5.75 |
| 1.89 | 5.12 | 11.1666667 |
| 1.9 | 5.27 | 12 |
| 1.91 | 5.36 | 17.6666667 |
| 1.915 | 5.47 | 17 |
| 1.92 | 5.53 | 12 |
| 1.925 | 5.59 | 10 |
| 1.93 | 5.63 | 11 |
| 1.935 | 5.7 | 20 |
| 1.94 | 5.83 | 19 |
| 1.945 | 5.89 | 10 |
| 1.95 | 5.93 | 9 |
| 1.955 | 5.98 | 16 |
| 1.96 | 6.09 | 14 |
| 1.965 | 6.12 | 10 |
| 1.97 | 6.19 | 21 |
| 1.975 | 6.33 | 20 |
| 1.98 | 6.39 | 8 |
| 1.985 | 6.41 | 9 |
| 1.99 | 6.48 | 18 |
| 1.995 | 6.59 | 21 |
| 2 | 6.69 | 14 |
| 2.005 | 6.73 | 12 |
| 2.01 | 6.81 | 15 |
| 2.015 | 6.88 | 10 |
| 2.02 | 6.91 | 16 |
| 2.025 | 7.04 | 19 |
| 2.03 | 7.1 | 9 |
| 2.035 | 7.13 | 7 |
| 2.04 | 7.17 | 11 |
| 2.045 | 7.24 | 16 |
| 2.05 | 7.33 | 12 |
| 2.055 | 7.36 | 9 |
| 2.06 | 7.42 | 19 |
| 2.065 | 7.55 | 18 |
| 2.07 | 7.6 | 12 |
| 2.075 | 7.67 | 12 |
| 2.08 | 7.72 | 18 |
| 2.085 | 7.85 | 19 |
| 2.09 | 7.91 | 20 |
| 2.095 | 8.05 | 24 |
| 2.1 | 8.15 | 22 |
| 2.105 | 8.27 | 17 |
| 2.11 | 8.32 | 21 |
| 2.115 | 8.48 | 20 |
| 2.12 | 8.52 | 9 |
| 2.125 | 8.57 | 15 |
| 2.13 | 8.67 | 18 |
| 2.135 | 8.75 | 13 |
| 2.14 | 8.8 | 8.33333333 |
| 2.15 | 8.85 | 6 |
| 2.16 | 8.92 | 7 |
| 2.17 | 8.99 | 6.5 |
| 2.18 | 9.05 | 7 |
| 2.19 | 9.13 | 8.5 |
| 2.2 | 9.22 | 7 |
| 2.21 | 9.27 | 6 |
| 2.22 | 9.34 | 7.5 |
| 2.23 | 9.42 | 6 |
| 2.24 | 9.46 | 3.66666667 |
| 2.26 | 9.52 | 3.25 |
| 2.28 | 9.59 | 3.5 |
| 2.3 | 9.66 | 3.75 |
| 2.32 | 9.74 | 3.5 |
| 2.34 | 9.8 | 3 |
| 2.36 | 9.86 | 2.5 |
| 2.38 | 9.9 | 1.75 |
| 2.4 | 9.93 | 1.75 |
| 2.42 | 9.97 | 2.25 |
| 2.44 | 10.02 | 2.75 |
| 2.46 | 10.08 | 2.5 |
| 2.48 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 90 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.2170 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.3** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2213 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 18.6 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00139 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04732 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 21.38 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.8417 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 22.22 %wt |

**ตารางที่ ฉ.3** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

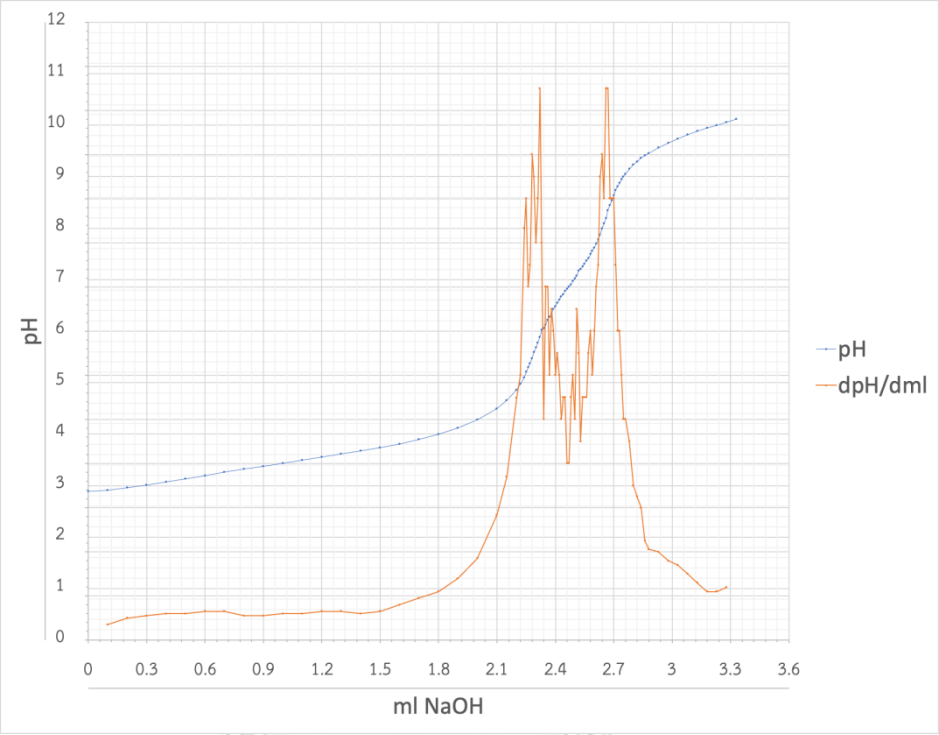
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.72 | |
| 0.1 | 2.77 | 0.5 |
| 0.2 | 2.82 | 0.55 |
| 0.3 | 2.88 | 0.6 |
| 0.4 | 2.94 | 0.6 |
| 0.5 | 3 | 0.6 |
| 0.6 | 3.06 | 0.6 |
| 0.7 | 3.12 | 0.55 |
| 0.8 | 3.17 | 0.55 |
| 0.9 | 3.23 | 0.55 |
| 1 | 3.28 | 0.5 |
| 1.1 | 3.33 | 0.65 |
| 1.2 | 3.41 | 0.6 |
| 1.3 | 3.45 | 0.65 |
| 1.4 | 3.54 | 0.75 |
| 1.5 | 3.6 | 0.7 |
| 1.6 | 3.68 | 0.55 |
| 1.7 | 3.71 | 0.45 |
| 1.8 | 3.77 | 0.6 |
| 1.9 | 3.83 | 0.7 |
| 2 | 3.91 | 0.9 |
| 2.1 | 4.01 | 1.05 |
| 2.2 | 4.12 | 1.45 |
| 2.3 | 4.3 | 1.9 |
| 2.4 | 4.5 | 2.53333333 |
| 2.45 | 4.64 | 4.72857143 |
| 2.47 | 4.75 | 5.75 |
| 2.49 | 4.87 | 5.75 |
| 2.51 | 4.98 | 5.5 |
| 2.53 | 5.09 | 5.25 |
| 2.55 | 5.19 | 7.75 |
| 2.57 | 5.4 | 15.5 |
| 2.59 | 5.81 | 16.75 |
| 2.61 | 6.07 | 11.6666667 |
| 2.62 | 6.18 | 15.5 |
| 2.63 | 6.38 | 13.3333333 |
| 2.635 | 6.43 | 16 |
| 2.64 | 6.54 | 31 |
| 2.645 | 6.74 | 28 |
| 2.65 | 6.82 | 20 |
| 2.655 | 6.94 | 29 |
| 2.66 | 7.11 | 28 |
| 2.665 | 7.22 | 24 |
| 2.67 | 7.35 | 19 |
| 2.675 | 7.41 | 16 |
| 2.68 | 7.51 | 28 |
| 2.685 | 7.69 | 32 |
| 2.69 | 7.83 | 23 |
| 2.695 | 7.92 | 33 |
| 2.7 | 8.16 | 41 |
| 2.705 | 8.33 | 30 |
| 2.71 | 8.46 | 25 |
| 2.715 | 8.58 | 16 |
| 2.72 | 8.62 | 23 |
| 2.725 | 8.81 | 32 |
| 2.73 | 8.94 | 19 |
| 2.735 | 9 | 10 |
| 2.745 | 9.06 | 5.5 |
| 2.755 | 9.11 | 6 |
| 2.765 | 9.18 | 9 |
| 2.775 | 9.29 | 7.5 |
| 2.785 | 9.33 | 7.5 |
| 2.795 | 9.44 | 10 |
| 2.805 | 9.53 | 6 |
| 2.815 | 9.56 | 2.33333333 |
| 2.835 | 9.58 | 1.5 |
| 2.855 | 9.62 | 1.88571429 |
| 2.905 | 9.7 | 1.5 |
| 2.955 | 9.77 | 1.2 |
| 3.005 | 9.82 | 1.1 |
| 3.055 | 9.88 | 1.2 |
| 3.105 | 9.94 | 1.1 |
| 3.155 | 9.99 | 1.2 |
| 3.205 | 10.06 | 1.1 |
| 3.255 | 10.1 | 0.7 |
| 3.305 | 10.13 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 120 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1950 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.4** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2050 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 16.6 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00124 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04223 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 20.60 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 3.193 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 23.79 %wt |

**ตารางที่ ฉ.4** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

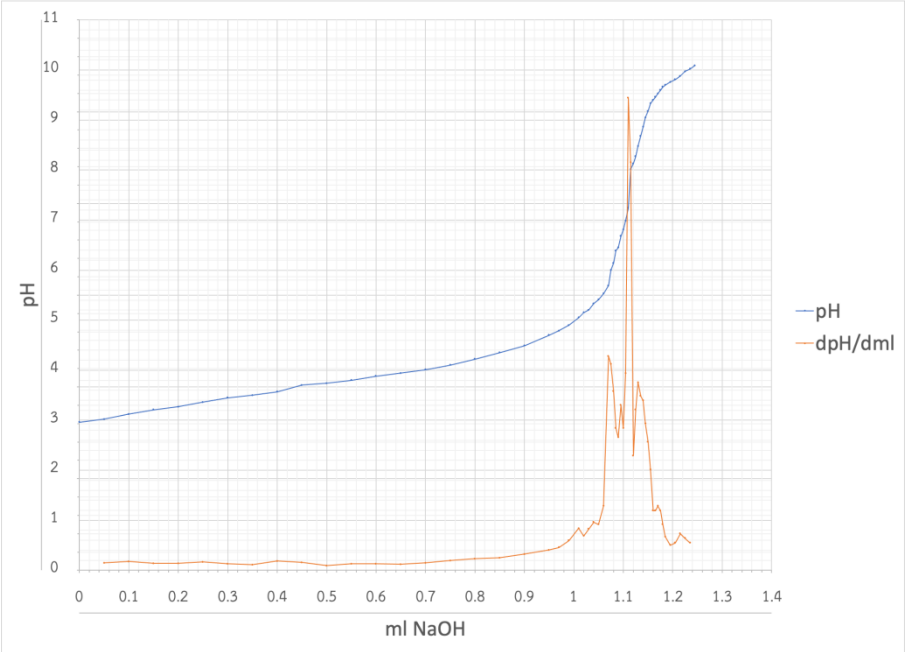
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.89 | |
| 0.1 | 2.91 | 0.35 |
| 0.2 | 2.96 | 0.5 |
| 0.3 | 3.01 | 0.55 |
| 0.4 | 3.07 | 0.6 |
| 0.5 | 3.13 | 0.6 |
| 0.6 | 3.19 | 0.65 |
| 0.7 | 3.26 | 0.65 |
| 0.8 | 3.32 | 0.55 |
| 0.9 | 3.37 | 0.55 |
| 1 | 3.43 | 0.6 |
| 1.1 | 3.49 | 0.6 |
| 1.2 | 3.55 | 0.65 |
| 1.3 | 3.62 | 0.65 |
| 1.4 | 3.68 | 0.6 |
| 1.5 | 3.74 | 0.65 |
| 1.6 | 3.81 | 0.8 |
| 1.7 | 3.9 | 0.95 |
| 1.8 | 4 | 1.1 |
| 1.9 | 4.12 | 1.4 |
| 2 | 4.28 | 1.85 |
| 2.1 | 4.49 | 2.83333333 |
| 2.15 | 4.65 | 3.7 |
| 2.2 | 4.86 | 5.48571429 |
| 2.22 | 4.98 | 6 |
| 2.24 | 5.1 | 9.33333333 |
| 2.25 | 5.21 | 10 |
| 2.26 | 5.3 | 8 |
| 2.27 | 5.37 | 8.5 |
| 2.28 | 5.47 | 11 |
| 2.29 | 5.59 | 10.5 |
| 2.3 | 5.68 | 9 |
| 2.31 | 5.77 | 10 |
| 2.32 | 5.88 | 12.5 |
| 2.33 | 6.02 | 9 |
| 2.34 | 6.06 | 5 |
| 2.35 | 6.12 | 8 |
| 2.36 | 6.22 | 8 |
| 2.37 | 6.28 | 6 |
| 2.38 | 6.34 | 7.5 |
| 2.39 | 6.43 | 7 |
| 2.4 | 6.48 | 6 |
| 2.41 | 6.55 | 6.5 |
| 2.42 | 6.61 | 6 |
| 2.43 | 6.67 | 5 |
| 2.44 | 6.71 | 5.5 |
| 2.45 | 6.78 | 5.5 |
| 2.46 | 6.82 | 4 |
| 2.47 | 6.86 | 4 |
| 2.48 | 6.9 | 5.5 |
| 2.49 | 6.97 | 6 |
| 2.5 | 7.02 | 5 |
| 2.51 | 7.07 | 7.5 |
| 2.52 | 7.17 | 6.5 |
| 2.53 | 7.2 | 4.5 |
| 2.54 | 7.26 | 5.5 |
| 2.55 | 7.31 | 5.5 |
| 2.56 | 7.37 | 5.5 |
| 2.57 | 7.42 | 6.5 |
| 2.58 | 7.5 | 7 |
| 2.59 | 7.56 | 6 |
| 2.6 | 7.62 | 7 |
| 2.61 | 7.7 | 8 |
| 2.62 | 7.78 | 8.5 |
| 2.63 | 7.87 | 10.5 |
| 2.64 | 7.99 | 11 |
| 2.65 | 8.09 | 10 |
| 2.66 | 8.19 | 12.5 |
| 2.67 | 8.34 | 12.5 |
| 2.68 | 8.44 | 10 |
| 2.69 | 8.54 | 10 |
| 2.7 | 8.64 | 10 |
| 2.71 | 8.74 | 8.5 |
| 2.72 | 8.81 | 7 |
| 2.73 | 8.88 | 7 |
| 2.74 | 8.95 | 6 |
| 2.75 | 9 | 5 |
| 2.76 | 9.05 | 5 |
| 2.78 | 9.15 | 4.5 |
| 2.8 | 9.23 | 3.5 |
| 2.82 | 9.29 | 3.25 |
| 2.84 | 9.36 | 3 |
| 2.86 | 9.41 | 2.25 |
| 2.88 | 9.45 | 2.05714286 |
| 2.93 | 9.56 | 2 |
| 2.98 | 9.65 | 1.8 |
| 3.03 | 9.74 | 1.7 |
| 3.08 | 9.82 | 1.5 |
| 3.13 | 9.89 | 1.3 |
| 3.18 | 9.95 | 1.1 |
| 3.23 | 10 | 1.1 |
| 3.28 | 10.06 | 1.2 |
| 3.33 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1074 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.5** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2161 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 8.7 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00065 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.02213 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 10.24 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.9277 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 11.17 %wt |

**ตารางที่ฉ.5** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.96 | |
| 0.05 | 3.02 | 1.6 |
| 0.1 | 3.12 | 1.9 |
| 0.15 | 3.21 | 1.5 |
| 0.2 | 3.27 | 1.5 |
| 0.25 | 3.36 | 1.8 |
| 0.3 | 3.45 | 1.4 |
| 0.35 | 3.5 | 1.2 |
| 0.4 | 3.57 | 2 |
| 0.45 | 3.7 | 1.7 |
| 0.5 | 3.74 | 1 |
| 0.55 | 3.8 | 1.4 |
| 0.6 | 3.88 | 1.4 |
| 0.65 | 3.94 | 1.3 |
| 0.7 | 4.01 | 1.6 |
| 0.75 | 4.1 | 2.1 |
| 0.8 | 4.22 | 2.5 |
| 0.85 | 4.35 | 2.7 |
| 0.9 | 4.49 | 3.5 |
| 0.95 | 4.7 | 4.41428571 |
| 0.97 | 4.79 | 5 |
| 0.99 | 4.9 | 6.5 |
| 1.01 | 5.05 | 9.16666667 |
| 1.02 | 5.15 | 7.5 |
| 1.03 | 5.2 | 9 |
| 1.04 | 5.33 | 10.5 |
| 1.05 | 5.41 | 10 |
| 1.06 | 5.53 | 14 |
| 1.07 | 5.69 | 46.6666667 |

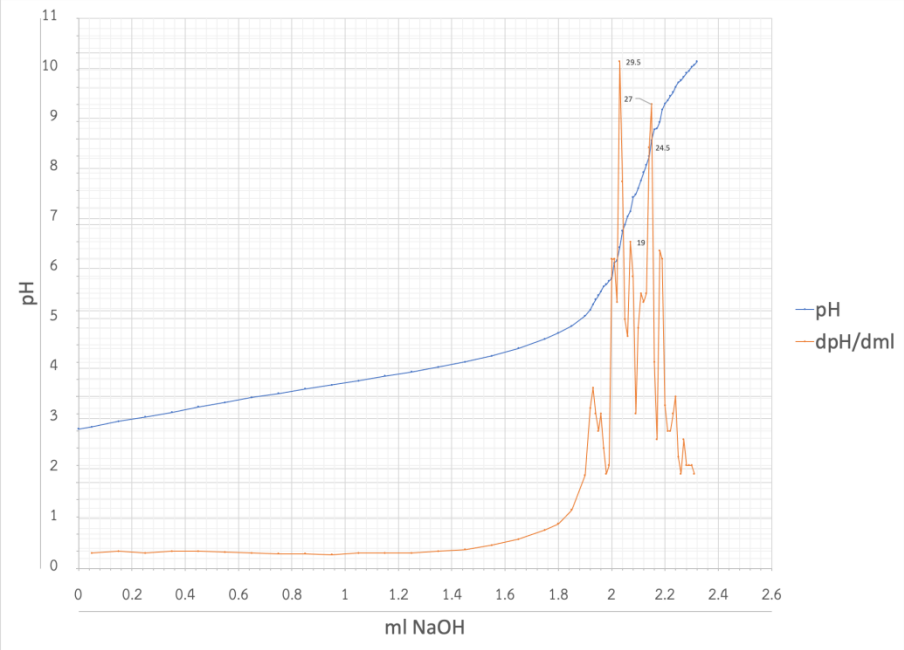
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 1.075 | 6 | 45 |
| 1.08 | 6.14 | 39 |
| 1.085 | 6.39 | 31 |
| 1.09 | 6.45 | 29 |
| 1.095 | 6.68 | 36 |
| 1.1 | 6.81 | 31 |
| 1.105 | 6.99 | 43 |
| 1.11 | 7.24 | 103 |
| 1.115 | 8.02 | 89 |
| 1.12 | 8.13 | 25 |
| 1.125 | 8.27 | 35 |
| 1.13 | 8.48 | 41 |
| 1.135 | 8.68 | 38 |
| 1.14 | 8.86 | 37 |
| 1.145 | 9.05 | 32 |
| 1.15 | 9.18 | 28 |
| 1.155 | 9.33 | 22 |
| 1.16 | 9.4 | 13 |
| 1.165 | 9.46 | 13 |
| 1.17 | 9.53 | 14 |
| 1.175 | 9.6 | 13 |
| 1.18 | 9.66 | 10 |
| 1.185 | 9.7 | 7.33333333 |
| 1.195 | 9.76 | 5.5 |
| 1.205 | 9.81 | 6 |
| 1.215 | 9.88 | 8 |
| 1.225 | 9.97 | 7 |
| 1.235 | 10.02 | 6 |
| 1.245 | 10.09 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.2075 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.6** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2147 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 7.9 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00059 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.02009 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 9.36 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.9603 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 10.32 %wt |

**ตารางที่ฉ.6** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 1 ของขวด HDPE

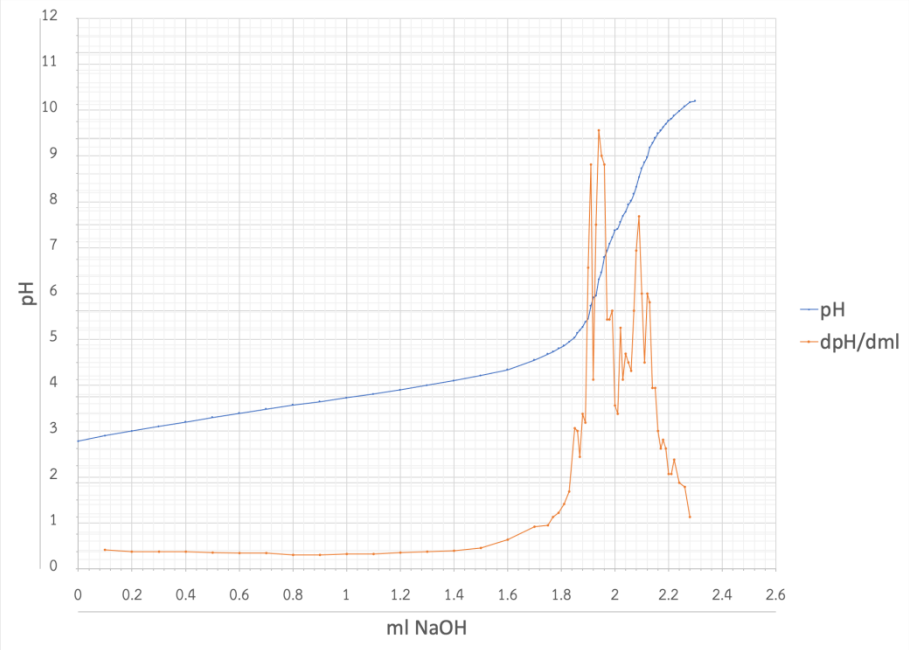
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.79 | |
| 0.05 | 2.83 | 0.9 |
| 0.15 | 2.94 | 1 |
| 0.25 | 3.03 | 0.9 |
| 0.35 | 3.12 | 1 |
| 0.45 | 3.23 | 1 |
| 0.55 | 3.32 | 0.95 |
| 0.65 | 3.42 | 0.9 |
| 0.75 | 3.5 | 0.85 |
| 0.85 | 3.59 | 0.85 |
| 0.95 | 3.67 | 0.8 |
| 1.05 | 3.75 | 0.9 |
| 1.15 | 3.85 | 0.9 |
| 1.25 | 3.93 | 0.9 |
| 1.35 | 4.03 | 1 |
| 1.45 | 4.13 | 1.1 |
| 1.55 | 4.25 | 1.35 |
| 1.65 | 4.4 | 1.7 |
| 1.75 | 4.59 | 2.23333333 |
| 1.8 | 4.71 | 2.6 |
| 1.85 | 4.85 | 3.4 |
| 1.9 | 5.05 | 5.42857143 |
| 1.92 | 5.17 | 9.33333333 |
| 1.93 | 5.28 | 10.5 |
| 1.94 | 5.38 | 9 |
| 1.95 | 5.46 | 8 |
| 1.96 | 5.54 | 9 |
| 1.97 | 5.64 | 7 |
| 1.98 | 5.68 | 5.5 |
| 1.99 | 5.75 | 6 |
| 2 | 5.8 | 18 |
| 2.01 | 6.11 | 18 |
| 2.02 | 6.16 | 15.5 |
| 2.03 | 6.42 | 29.5 |
| 2.04 | 6.75 | 22.5 |
| 2.05 | 6.87 | 14.5 |
| 2.06 | 7.04 | 13.5 |
| 2.07 | 7.14 | 19 |
| 2.08 | 7.42 | 17 |
| 2.09 | 7.48 | 9 |
| 2.1 | 7.6 | 14 |
| 2.11 | 7.76 | 16 |
| 2.12 | 7.92 | 15.5 |
| 2.13 | 8.07 | 16 |
| 2.14 | 8.24 | 24.5 |
| 2.15 | 8.56 | 27 |
| 2.16 | 8.78 | 12 |
| 2.17 | 8.8 | 7.5 |
| 2.18 | 8.93 | 18.5 |
| 2.19 | 9.17 | 18 |
| 2.2 | 9.29 | 9.5 |
| 2.21 | 9.36 | 8 |
| 2.22 | 9.45 | 8 |
| 2.23 | 9.52 | 9 |
| 2.24 | 9.63 | 10 |
| 2.25 | 9.72 | 6.5 |
| 2.26 | 9.76 | 5.5 |
| 2.27 | 9.83 | 7.5 |
| 2.28 | 9.91 | 6 |
| 2.29 | 9.95 | 6 |
| 2.3 | 10.03 | 6 |
| 2.31 | 10.07 | 5.5 |
| 2.32 | 10.14 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.2107 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.7** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2187 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 8.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00062 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.02111 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 9.65 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.182 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 10.83 %wt |

**ตารางที่ฉ.7** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 1 ของขวด PP

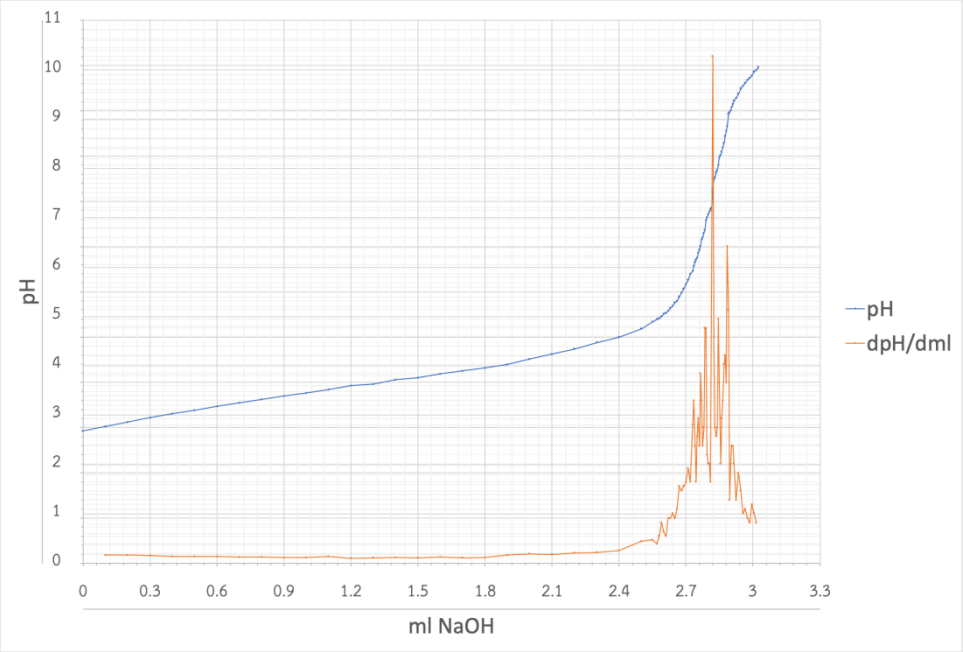
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.78 | |
| 0.1 | 2.9 | 1.1 |
| 0.2 | 3 | 1 |
| 0.3 | 3.1 | 1 |
| 0.4 | 3.2 | 1 |
| 0.5 | 3.3 | 0.95 |
| 0.6 | 3.39 | 0.9 |
| 0.7 | 3.48 | 0.9 |
| 0.8 | 3.57 | 0.8 |
| 0.9 | 3.64 | 0.8 |
| 1 | 3.73 | 0.85 |
| 1.1 | 3.81 | 0.85 |
| 1.2 | 3.9 | 0.95 |
| 1.3 | 4 | 1 |
| 1.4 | 4.1 | 1.05 |
| 1.5 | 4.21 | 1.2 |
| 1.6 | 4.34 | 1.7 |
| 1.7 | 4.55 | 2.43333333 |
| 1.75 | 4.68 | 2.52857143 |
| 1.77 | 4.73 | 3 |
| 1.79 | 4.8 | 3.25 |
| 1.81 | 4.86 | 3.75 |
| 1.83 | 4.95 | 4.5 |
| 1.85 | 5.04 | 8.16666667 |
| 1.86 | 5.14 | 8 |
| 1.87 | 5.2 | 6.5 |
| 1.88 | 5.27 | 9 |
| 1.89 | 5.38 | 8.5 |
| 1.9 | 5.44 | 17.5 |
| 1.91 | 5.73 | 23.5 |
| 1.92 | 5.91 | 11 |
| 1.93 | 5.95 | 20 |
| 1.94 | 6.31 | 25.5 |
| 1.95 | 6.46 | 24 |
| 1.96 | 6.79 | 23.5 |
| 1.97 | 6.93 | 14.5 |
| 1.98 | 7.08 | 14.5 |
| 1.99 | 7.22 | 15 |
| 2 | 7.38 | 9.5 |
| 2.01 | 7.41 | 9 |
| 2.02 | 7.56 | 14 |
| 2.03 | 7.69 | 11 |
| 2.04 | 7.78 | 12.5 |
| 2.05 | 7.94 | 12 |
| 2.06 | 8.02 | 11.5 |
| 2.07 | 8.17 | 15 |
| 2.08 | 8.32 | 18.5 |
| 2.09 | 8.54 | 20.5 |
| 2.1 | 8.73 | 16 |
| 2.11 | 8.86 | 12 |
| 2.12 | 8.97 | 16 |
| 2.13 | 9.18 | 15.5 |
| 2.14 | 9.28 | 10.5 |
| 2.15 | 9.39 | 10.5 |
| 2.16 | 9.49 | 8 |
| 2.17 | 9.55 | 7 |
| 2.18 | 9.63 | 7.5 |
| 2.19 | 9.7 | 7 |
| 2.2 | 9.77 | 5.5 |
| 2.21 | 9.81 | 5.5 |
| 2.22 | 9.88 | 6.33333333 |
| 2.24 | 9.98 | 5 |
| 2.26 | 10.08 | 4.75 |
| 2.28 | 10.17 | 3 |
| 2.3 | 10.2 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3197 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.8** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2250 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 6.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00051 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.01729 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 7.69 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.6288 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 8.32 %wt |

**ตารางที่ฉ.8** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 2 ของแก้วไพเร็กซ์

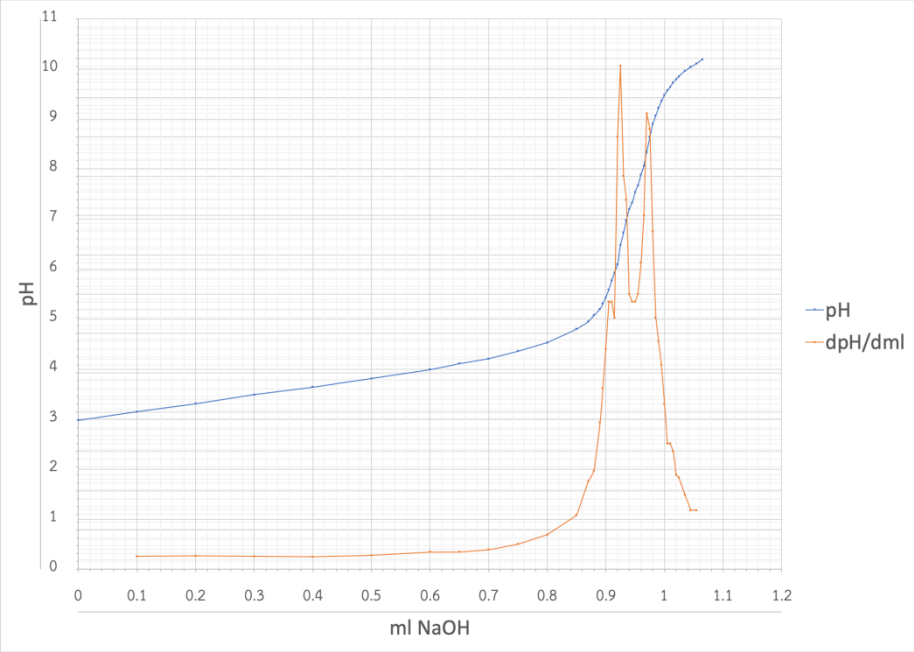
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.68 | |
| 0.1 | 2.77 | 0.9 |
| 0.2 | 2.86 | 0.9 |
| 0.3 | 2.95 | 0.85 |
| 0.4 | 3.03 | 0.75 |
| 0.5 | 3.1 | 0.75 |
| 0.6 | 3.18 | 0.75 |
| 0.7 | 3.25 | 0.7 |
| 0.8 | 3.32 | 0.7 |
| 0.9 | 3.39 | 0.65 |
| 1 | 3.45 | 0.65 |
| 1.1 | 3.52 | 0.75 |
| 1.2 | 3.6 | 0.55 |
| 1.3 | 3.63 | 0.6 |
| 1.4 | 3.72 | 0.65 |
| 1.5 | 3.76 | 0.6 |
| 1.6 | 3.84 | 0.7 |
| 1.7 | 3.9 | 0.6 |
| 1.8 | 3.96 | 0.65 |
| 1.9 | 4.03 | 0.9 |
| 2 | 4.14 | 1.05 |
| 2.1 | 4.24 | 1 |
| 2.2 | 4.34 | 1.15 |
| 2.3 | 4.47 | 1.2 |
| 2.4 | 4.58 | 1.4 |
| 2.5 | 4.75 | 2.43333333 |
| 2.55 | 4.89 | 2.58571429 |
| 2.57 | 4.94 | 2.16666667 |
| 2.58 | 4.96 | 3 |
| 2.59 | 5 | 4.5 |
| 2.6 | 5.05 | 3.5 |
| 2.61 | 5.07 | 3 |
| 2.62 | 5.11 | 5 |
| 2.63 | 5.17 | 5 |
| 2.64 | 5.21 | 5.5 |
| 2.65 | 5.28 | 5 |
| 2.66 | 5.31 | 6 |
| 2.67 | 5.4 | 8.5 |
| 2.68 | 5.48 | 8 |
| 2.69 | 5.56 | 8.5 |
| 2.7 | 5.65 | 9 |
| 2.71 | 5.74 | 10.5 |
| 2.72 | 5.86 | 9 |
| 2.73 | 5.92 | 15.3333333 |
| 2.735 | 6.02 | 18 |
| 2.74 | 6.1 | 13 |
| 2.745 | 6.15 | 9 |
| 2.75 | 6.19 | 14 |
| 2.755 | 6.29 | 16 |
| 2.76 | 6.35 | 13 |
| 2.765 | 6.42 | 21 |
| 2.77 | 6.56 | 18 |
| 2.775 | 6.6 | 13 |
| 2.78 | 6.69 | 15 |
| 2.785 | 6.75 | 26 |
| 2.79 | 6.95 | 26 |
| 2.795 | 7.01 | 12 |
| 2.8 | 7.07 | 11 |
| 2.805 | 7.12 | 11 |
| 2.81 | 7.18 | 9 |
| 2.815 | 7.21 | 39 |
| 2.82 | 7.57 | 56 |
| 2.825 | 7.77 | 25 |
| 2.83 | 7.82 | 15 |
| 2.835 | 7.92 | 14 |
| 2.84 | 7.96 | 15 |
| 2.845 | 8.07 | 27 |
| 2.85 | 8.23 | 20 |
| 2.855 | 8.27 | 11 |
| 2.86 | 8.34 | 16 |
| 2.865 | 8.43 | 18 |
| 2.87 | 8.52 | 22 |
| 2.875 | 8.65 | 23 |
| 2.88 | 8.75 | 20 |
| 2.885 | 8.85 | 35 |
| 2.89 | 9.1 | 28 |
| 2.895 | 9.13 | 7 |
| 2.9 | 9.17 | 11 |
| 2.905 | 9.24 | 13 |
| 2.91 | 9.3 | 13 |
| 2.915 | 9.37 | 11 |
| 2.925 | 9.42 | 7 |
| 2.935 | 9.51 | 10 |
| 2.945 | 9.62 | 8 |
| 2.955 | 9.67 | 5.5 |
| 2.965 | 9.73 | 6 |
| 2.975 | 9.79 | 5 |
| 2.985 | 9.83 | 4.5 |
| 2.995 | 9.88 | 6.5 |
| 3.005 | 9.96 | 5.5 |
| 3.015 | 9.99 | 4.5 |
| 3.025 | 10.05 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1070 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.9** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2239 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 6.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00048 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.01628 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 7.27 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.6983 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 7.97 %wt |

**ตารางที่ ฉ.9** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 2 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.98 | |
| 0.1 | 3.15 | 1.65 |
| 0.2 | 3.31 | 1.7 |
| 0.3 | 3.49 | 1.65 |
| 0.4 | 3.64 | 1.6 |
| 0.5 | 3.81 | 1.75 |
| 0.6 | 3.99 | 2.2 |
| 0.65 | 4.11 | 2.2 |
| 0.7 | 4.21 | 2.5 |
| 0.75 | 4.36 | 3.2 |
| 0.8 | 4.53 | 4.4 |
| 0.85 | 4.8 | 6.9 |
| 0.87 | 4.95 | 11.1666667 |
| 0.88 | 5.08 | 12.5 |
| 0.89 | 5.2 | 18.6666667 |
| 0.895 | 5.31 | 23 |
| 0.9 | 5.43 | 28 |
| 0.905 | 5.59 | 34 |
| 0.91 | 5.77 | 34 |
| 0.915 | 5.93 | 32 |
| 0.92 | 6.09 | 55 |
| 0.925 | 6.48 | 64 |
| 0.93 | 6.73 | 50 |
| 0.935 | 6.98 | 47 |
| 0.94 | 7.2 | 35 |
| 0.945 | 7.33 | 34 |
| 0.95 | 7.54 | 34 |
| 0.955 | 7.67 | 35 |
| 0.96 | 7.89 | 39 |
| 0.965 | 8.06 | 45 |
| 0.97 | 8.34 | 58 |
| 0.975 | 8.64 | 56 |

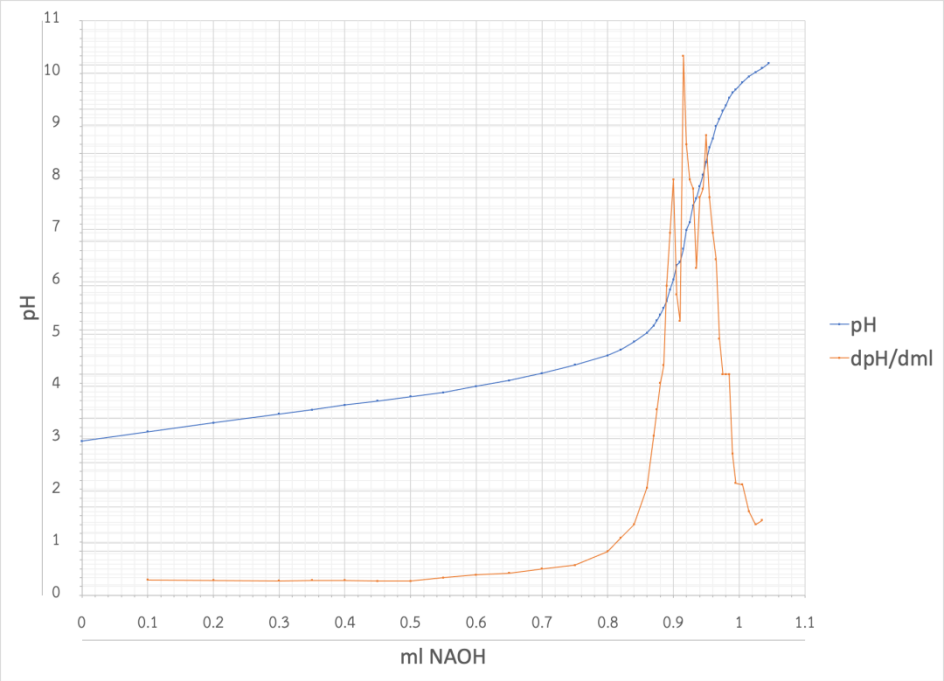
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.98 | 8.9 | 43 |
| 0.985 | 9.07 | 32 |
| 0.99 | 9.22 | 29 |
| 0.995 | 9.36 | 26 |
| 1 | 9.48 | 21 |
| 1.005 | 9.57 | 16 |
| 1.01 | 9.64 | 16 |
| 1.015 | 9.73 | 15 |
| 1.02 | 9.79 | 12 |
| 1.025 | 9.85 | 11.6666667 |
| 1.035 | 9.96 | 9.5 |
| 1.045 | 10.04 | 7.5 |
| 1.055 | 10.11 | 7.5 |
| 1.065 | 10.19 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1076 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.10** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2169 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 6.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00045 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.01552 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 7.15 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.5401 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 7.69 %wt |

**ตารางที่ ฉ.10** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 2 ของขวด PP

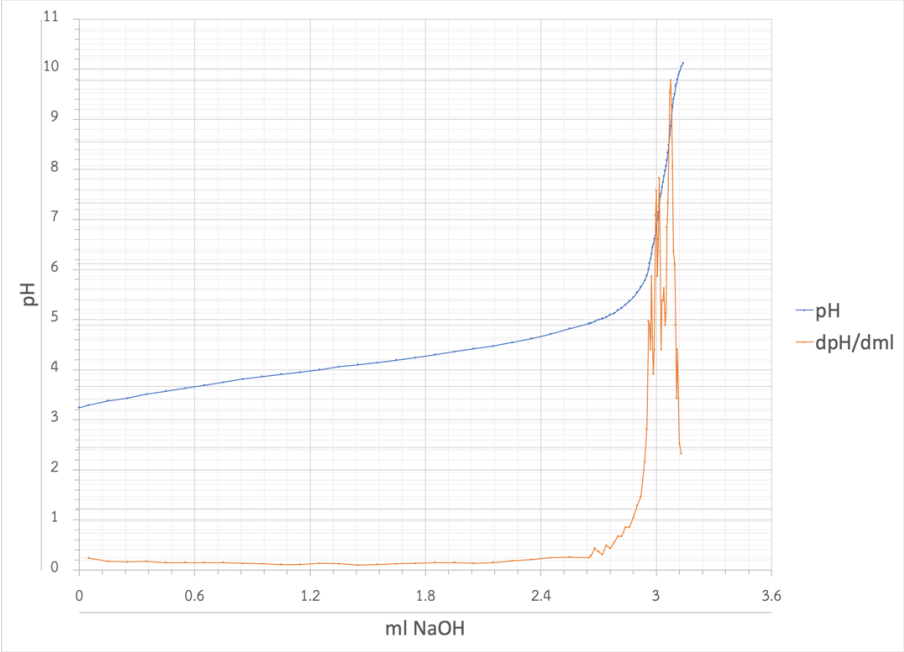
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.95 | |
| 0.1 | 3.13 | 1.75 |
| 0.2 | 3.3 | 1.7 |
| 0.3 | 3.47 | 1.63333333 |
| 0.35 | 3.55 | 1.7 |
| 0.4 | 3.64 | 1.7 |
| 0.45 | 3.72 | 1.6 |
| 0.5 | 3.8 | 1.6 |
| 0.55 | 3.88 | 2 |
| 0.6 | 4 | 2.3 |
| 0.65 | 4.11 | 2.5 |
| 0.7 | 4.25 | 3 |
| 0.75 | 4.41 | 3.4 |
| 0.8 | 4.59 | 4.95714286 |
| 0.82 | 4.7 | 6.5 |
| 0.84 | 4.85 | 8 |
| 0.86 | 5.02 | 12.1666667 |
| 0.87 | 5.16 | 18 |
| 0.875 | 5.26 | 21 |
| 0.88 | 5.37 | 24 |
| 0.885 | 5.5 | 26 |
| 0.89 | 5.63 | 35 |
| 0.895 | 5.85 | 41 |
| 0.9 | 6.04 | 47 |
| 0.905 | 6.32 | 34 |
| 0.91 | 6.38 | 31 |
| 0.915 | 6.63 | 61 |
| 0.92 | 6.99 | 51 |
| 0.925 | 7.14 | 47 |
| 0.93 | 7.46 | 46 |
| 0.935 | 7.6 | 37 |
| 0.94 | 7.83 | 45 |
| 0.945 | 8.05 | 46 |
| 0.95 | 8.29 | 52 |
| 0.955 | 8.57 | 45 |
| 0.96 | 8.74 | 41 |
| 0.965 | 8.98 | 38 |
| 0.97 | 9.12 | 29 |
| 0.975 | 9.27 | 25 |
| 0.98 | 9.37 | 25 |
| 0.985 | 9.52 | 25 |
| 0.99 | 9.62 | 16 |
| 0.995 | 9.68 | 12.6666667 |
| 1.005 | 9.82 | 12.5 |
| 1.015 | 9.93 | 9.5 |
| 1.025 | 10.01 | 8 |
| 1.035 | 10.09 | 8.5 |
| 1.045 | 10.18 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3237 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.11** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2184 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 5.2 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00038 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.01294 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 5.93 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.4857 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 6.42 %wt |

**ตารางที่ ฉ.11** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 3 ของแก้วไพเร็กซ์

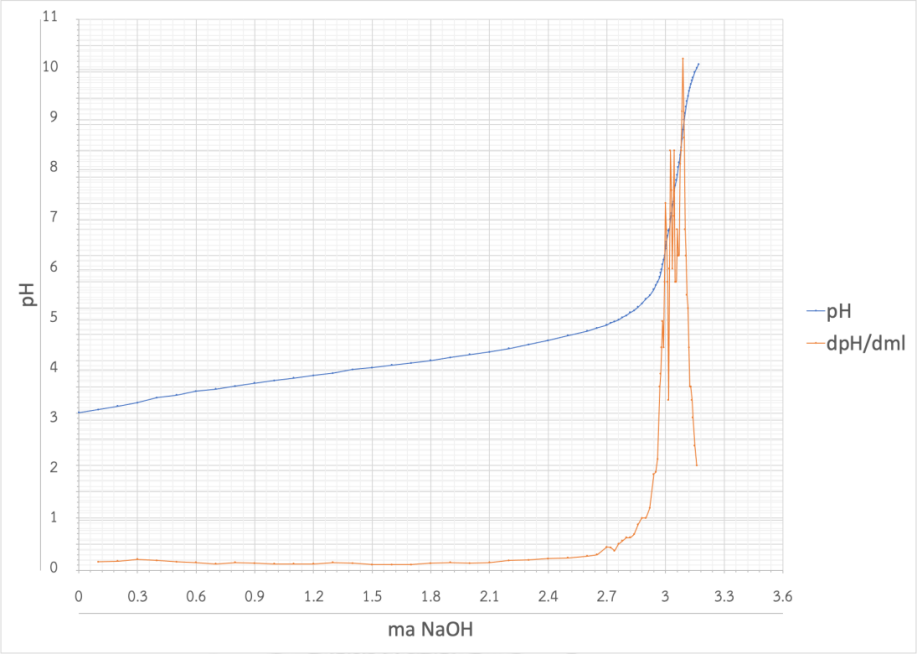
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.24 | |
| 0.05 | 3.29 | 0.96666667 |
| 0.15 | 3.38 | 0.7 |
| 0.25 | 3.43 | 0.65 |
| 0.35 | 3.51 | 0.7 |
| 0.45 | 3.57 | 0.6 |
| 0.55 | 3.63 | 0.6 |
| 0.65 | 3.69 | 0.6 |
| 0.75 | 3.75 | 0.6 |
| 0.85 | 3.81 | 0.55 |
| 0.95 | 3.86 | 0.5 |
| 1.05 | 3.91 | 0.45 |
| 1.15 | 3.95 | 0.45 |
| 1.25 | 4 | 0.55 |
| 1.35 | 4.06 | 0.5 |
| 1.45 | 4.1 | 0.4 |
| 1.55 | 4.14 | 0.45 |
| 1.65 | 4.19 | 0.5 |
| 1.75 | 4.24 | 0.55 |
| 1.85 | 4.3 | 0.6 |
| 1.95 | 4.36 | 0.6 |
| 2.05 | 4.42 | 0.55 |
| 2.15 | 4.47 | 0.6 |
| 2.25 | 4.54 | 0.75 |
| 2.35 | 4.62 | 0.85 |
| 2.45 | 4.71 | 1 |
| 2.55 | 4.82 | 1.05 |
| 2.65 | 4.92 | 1 |
| 2.66 | 4.93 | 1.16666667 |
| 2.68 | 4.96 | 1.75 |
| 2.7 | 5 | 1.5 |
| 2.72 | 5.02 | 1.25 |
| 2.74 | 5.05 | 2 |
| 2.76 | 5.1 | 1.75 |
| 2.78 | 5.12 | 2.25 |
| 2.8 | 5.19 | 2.75 |
| 2.82 | 5.23 | 2.75 |
| 2.84 | 5.3 | 3.5 |
| 2.86 | 5.37 | 3.5 |
| 2.88 | 5.44 | 4.25 |
| 2.9 | 5.54 | 5.25 |
| 2.92 | 5.65 | 6 |
| 2.94 | 5.78 | 8.83333333 |
| 2.95 | 5.88 | 11.5 |
| 2.96 | 6.01 | 20.3333333 |
| 2.965 | 6.13 | 20 |
| 2.97 | 6.21 | 18 |
| 2.975 | 6.31 | 24 |
| 2.98 | 6.45 | 19 |
| 2.985 | 6.5 | 16 |
| 2.99 | 6.61 | 18 |
| 2.995 | 6.68 | 29 |
| 3 | 6.9 | 31 |
| 3.005 | 6.99 | 24 |
| 3.01 | 7.14 | 27 |
| 3.015 | 7.26 | 32 |
| 3.02 | 7.46 | 26 |
| 3.025 | 7.52 | 18 |
| 3.03 | 7.64 | 22 |
| 3.035 | 7.74 | 22 |
| 3.04 | 7.86 | 23 |
| 3.045 | 7.97 | 20 |
| 3.05 | 8.06 | 21 |
| 3.055 | 8.18 | 28 |
| 3.06 | 8.34 | 30 |
| 3.065 | 8.48 | 34 |
| 3.07 | 8.68 | 39 |
| 3.075 | 8.87 | 40 |
| 3.08 | 9.08 | 38 |
| 3.085 | 9.25 | 33 |
| 3.09 | 9.41 | 26 |
| 3.095 | 9.51 | 25 |
| 3.1 | 9.66 | 20 |
| 3.105 | 9.71 | 14 |
| 3.11 | 9.8 | 18 |
| 3.115 | 9.89 | 14 |
| 3.12 | 9.94 | 10.3333333 |
| 3.13 | 10.05 | 9.5 |
| 3.14 | 10.13 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3288 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.12** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2211 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 4.9 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00036 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.01220 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 5.52 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.4303 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 5.95 %wt |

**ตารางที่ ฉ.12** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 3 ของขวด HDPE

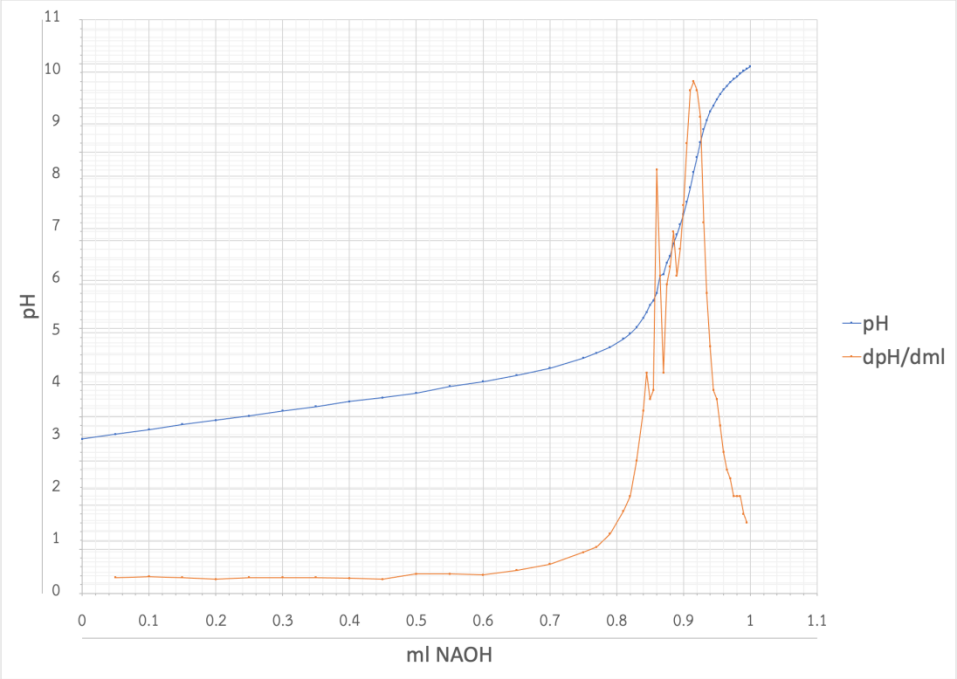
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.15 | |
| 0.1 | 3.21 | 0.65 |
| 0.2 | 3.28 | 0.7 |
| 0.3 | 3.35 | 0.85 |
| 0.4 | 3.45 | 0.75 |
| 0.5 | 3.5 | 0.65 |
| 0.6 | 3.58 | 0.6 |
| 0.7 | 3.62 | 0.5 |
| 0.8 | 3.68 | 0.6 |
| 0.9 | 3.74 | 0.55 |
| 1 | 3.79 | 0.5 |
| 1.1 | 3.84 | 0.5 |
| 1.2 | 3.89 | 0.5 |
| 1.3 | 3.94 | 0.6 |
| 1.4 | 4.01 | 0.55 |
| 1.5 | 4.05 | 0.45 |
| 1.6 | 4.1 | 0.45 |
| 1.7 | 4.14 | 0.45 |
| 1.8 | 4.19 | 0.55 |
| 1.9 | 4.25 | 0.6 |
| 2 | 4.31 | 0.55 |
| 2.1 | 4.36 | 0.6 |
| 2.2 | 4.43 | 0.75 |
| 2.3 | 4.51 | 0.8 |
| 2.4 | 4.59 | 0.9 |
| 2.5 | 4.69 | 0.95 |
| 2.6 | 4.78 | 1.1 |
| 2.65 | 4.84 | 1.2 |
| 2.7 | 4.9 | 1.77142857 |
| 2.72 | 4.94 | 1.75 |
| 2.74 | 4.97 | 1.5 |
| 2.76 | 5 | 2 |
| 2.78 | 5.05 | 2.25 |
| 2.8 | 5.09 | 2.5 |
| 2.82 | 5.15 | 2.5 |
| 2.84 | 5.19 | 2.75 |
| 2.86 | 5.26 | 3.5 |
| 2.88 | 5.33 | 4 |
| 2.9 | 5.42 | 4 |
| 2.92 | 5.49 | 4.75 |
| 2.94 | 5.61 | 7.33333333 |
| 2.95 | 5.69 | 7.5 |
| 2.96 | 5.76 | 8.5 |
| 2.97 | 5.86 | 14 |
| 2.975 | 5.94 | 15 |
| 2.98 | 6.01 | 17 |
| 2.985 | 6.11 | 19 |
| 2.99 | 6.2 | 17 |
| 2.995 | 6.28 | 22 |
| 3 | 6.42 | 28 |
| 3.005 | 6.56 | 26 |
| 3.01 | 6.68 | 22 |
| 3.015 | 6.78 | 13 |
| 3.02 | 6.81 | 23 |
| 3.025 | 7.01 | 32 |
| 3.03 | 7.13 | 29 |
| 3.035 | 7.3 | 23 |
| 3.04 | 7.36 | 27 |
| 3.045 | 7.57 | 32 |
| 3.05 | 7.68 | 22 |
| 3.055 | 7.79 | 22 |
| 3.06 | 7.9 | 26 |
| 3.065 | 8.05 | 24 |
| 3.07 | 8.14 | 24 |
| 3.075 | 8.29 | 31 |
| 3.08 | 8.45 | 32 |
| 3.085 | 8.61 | 35 |
| 3.09 | 8.8 | 39 |
| 3.095 | 9 | 33 |
| 3.1 | 9.13 | 26 |
| 3.105 | 9.26 | 24 |
| 3.11 | 9.37 | 21 |
| 3.115 | 9.47 | 20 |
| 3.12 | 9.57 | 17 |
| 3.125 | 9.64 | 14 |
| 3.13 | 9.71 | 14 |
| 3.135 | 9.78 | 13 |
| 3.14 | 9.84 | 11.6666667 |
| 3.15 | 9.95 | 9.5 |
| 3.16 | 10.03 | 8 |
| 3.17 | 10.11 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1052 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.13** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2088 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 4.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00033 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.0112 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 5.36 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.4735 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 5.83 %wt |

**ตารางที่ ฉ.13** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 3 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.96 | |
| 0.05 | 3.05 | 1.8 |
| 0.1 | 3.14 | 1.9 |
| 0.15 | 3.24 | 1.8 |
| 0.2 | 3.32 | 1.6 |
| 0.25 | 3.4 | 1.8 |
| 0.3 | 3.5 | 1.8 |
| 0.35 | 3.58 | 1.8 |
| 0.4 | 3.68 | 1.7 |
| 0.45 | 3.75 | 1.6 |
| 0.5 | 3.84 | 2.2 |
| 0.55 | 3.97 | 2.2 |
| 0.6 | 4.06 | 2.1 |
| 0.65 | 4.18 | 2.6 |
| 0.7 | 4.32 | 3.3 |
| 0.75 | 4.51 | 4.65714286 |
| 0.77 | 4.61 | 5.25 |
| 0.79 | 4.72 | 6.75 |
| 0.81 | 4.88 | 9.33333333 |
| 0.82 | 4.98 | 11 |
| 0.83 | 5.1 | 15 |
| 0.84 | 5.28 | 20.6666667 |
| 0.845 | 5.39 | 25 |
| 0.85 | 5.53 | 22 |
| 0.855 | 5.61 | 23 |
| 0.86 | 5.76 | 48 |
| 0.865 | 6.09 | 36 |
| 0.87 | 6.12 | 25 |
| 0.875 | 6.34 | 35 |
| 0.88 | 6.47 | 37 |
| 0.885 | 6.71 | 41 |
| 0.89 | 6.88 | 36 |

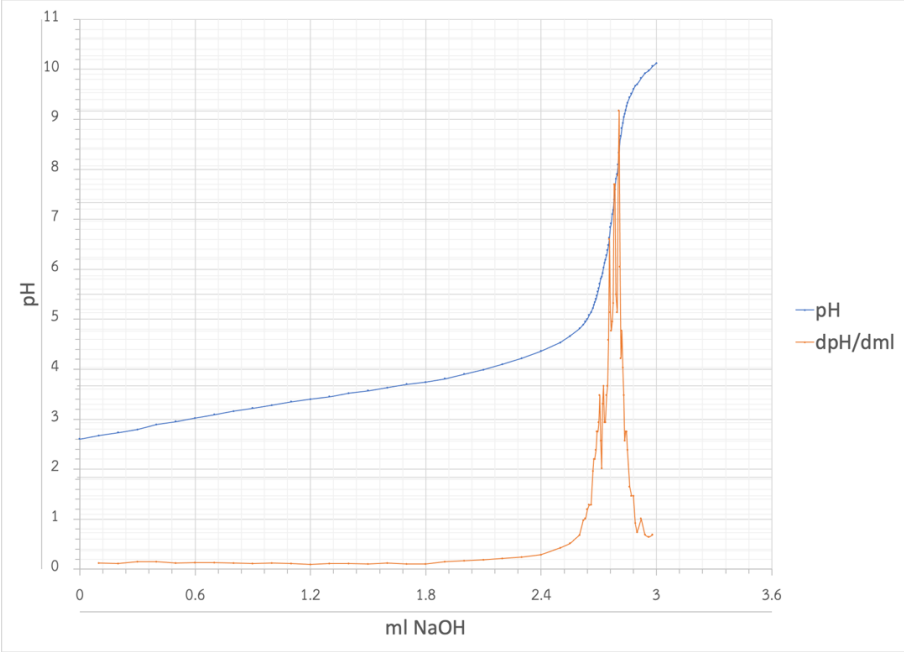
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.895 | 7.07 | 39 |
| 0.9 | 7.27 | 44 |
| 0.905 | 7.51 | 51 |
| 0.91 | 7.78 | 57 |
| 0.915 | 8.08 | 58 |
| 0.92 | 8.36 | 57 |
| 0.925 | 8.65 | 54 |
| 0.93 | 8.9 | 42 |
| 0.935 | 9.07 | 34 |
| 0.94 | 9.24 | 28 |
| 0.945 | 9.35 | 23 |
| 0.95 | 9.47 | 22 |
| 0.955 | 9.57 | 19 |
| 0.96 | 9.66 | 16 |
| 0.965 | 9.73 | 14 |
| 0.97 | 9.8 | 13 |
| 0.975 | 9.86 | 11 |
| 0.98 | 9.91 | 11 |
| 0.985 | 9.97 | 11 |
| 0.99 | 10.02 | 9 |
| 0.995 | 10.06 | 8 |
| 1 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 4 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3241 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.14** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 4 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 4**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2225 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 4.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00030 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.01021 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 4.59 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.2401 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 4.83 %wt |

**ตารางที่ ฉ.14** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 4 ของแก้วไพเร็กซ์

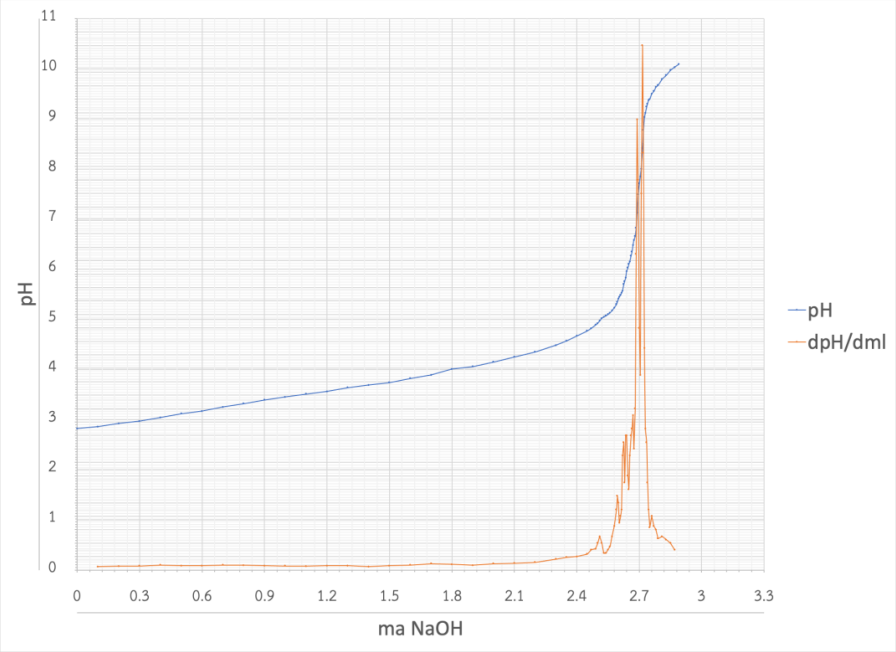
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.6 | |
| 0.1 | 2.67 | 0.65 |
| 0.2 | 2.73 | 0.6 |
| 0.3 | 2.79 | 0.8 |
| 0.4 | 2.89 | 0.8 |
| 0.5 | 2.95 | 0.65 |
| 0.6 | 3.02 | 0.7 |
| 0.7 | 3.09 | 0.7 |
| 0.8 | 3.16 | 0.65 |
| 0.9 | 3.22 | 0.6 |
| 1 | 3.28 | 0.65 |
| 1.1 | 3.35 | 0.6 |
| 1.2 | 3.4 | 0.5 |
| 1.3 | 3.45 | 0.6 |
| 1.4 | 3.52 | 0.6 |
| 1.5 | 3.57 | 0.55 |
| 1.6 | 3.63 | 0.65 |
| 1.7 | 3.7 | 0.55 |
| 1.8 | 3.74 | 0.55 |
| 1.9 | 3.81 | 0.8 |
| 2 | 3.9 | 0.9 |
| 2.1 | 3.99 | 1 |
| 2.2 | 4.1 | 1.15 |
| 2.3 | 4.22 | 1.3 |
| 2.4 | 4.36 | 1.55 |
| 2.5 | 4.53 | 2.3 |
| 2.55 | 4.66 | 2.8 |
| 2.6 | 4.81 | 3.71428571 |
| 2.62 | 4.89 | 5.33333333 |
| 2.63 | 4.95 | 5.5 |
| 2.64 | 5 | 6.5 |
| 2.65 | 5.08 | 7 |
| 2.66 | 5.14 | 7 |
| 2.67 | 5.22 | 10.6666667 |
| 2.675 | 5.28 | 12 |
| 2.68 | 5.34 | 12 |
| 2.685 | 5.4 | 13 |
| 2.69 | 5.47 | 15 |
| 2.695 | 5.55 | 15 |
| 2.7 | 5.62 | 16 |
| 2.705 | 5.71 | 19 |
| 2.71 | 5.81 | 14 |
| 2.715 | 5.85 | 11 |
| 2.72 | 5.92 | 18 |
| 2.725 | 6.03 | 20 |
| 2.73 | 6.12 | 16 |
| 2.735 | 6.19 | 16 |
| 2.74 | 6.28 | 19 |
| 2.745 | 6.38 | 20 |
| 2.75 | 6.48 | 25 |
| 2.755 | 6.63 | 36 |
| 2.76 | 6.84 | 28 |
| 2.765 | 6.91 | 26 |
| 2.77 | 7.1 | 27 |
| 2.775 | 7.18 | 29 |
| 2.78 | 7.39 | 42 |
| 2.785 | 7.6 | 42 |
| 2.79 | 7.81 | 30 |
| 2.795 | 7.9 | 28 |
| 2.8 | 8.09 | 43 |
| 2.805 | 8.33 | 50 |
| 2.81 | 8.59 | 33 |
| 2.815 | 8.66 | 23 |
| 2.82 | 8.82 | 26 |
| 2.825 | 8.92 | 22 |
| 2.83 | 9.04 | 19 |
| 2.835 | 9.11 | 14 |
| 2.84 | 9.18 | 15 |
| 2.845 | 9.26 | 15 |
| 2.85 | 9.33 | 13 |
| 2.86 | 9.44 | 9 |
| 2.87 | 9.51 | 8 |
| 2.88 | 9.6 | 8 |
| 2.89 | 9.67 | 5 |
| 2.9 | 9.7 | 4 |
| 2.92 | 9.82 | 5.5 |
| 2.94 | 9.92 | 3.75 |
| 2.96 | 9.97 | 3.5 |
| 2.98 | 10.06 | 3.75 |
| 3 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 4 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3128 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.15** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 4 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 4**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2275 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 3.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00028 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.00946 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 4.16 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.2262 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 4.39 %wt |

**ตารางที่ ฉ.15** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 4 ของขวด HDPE

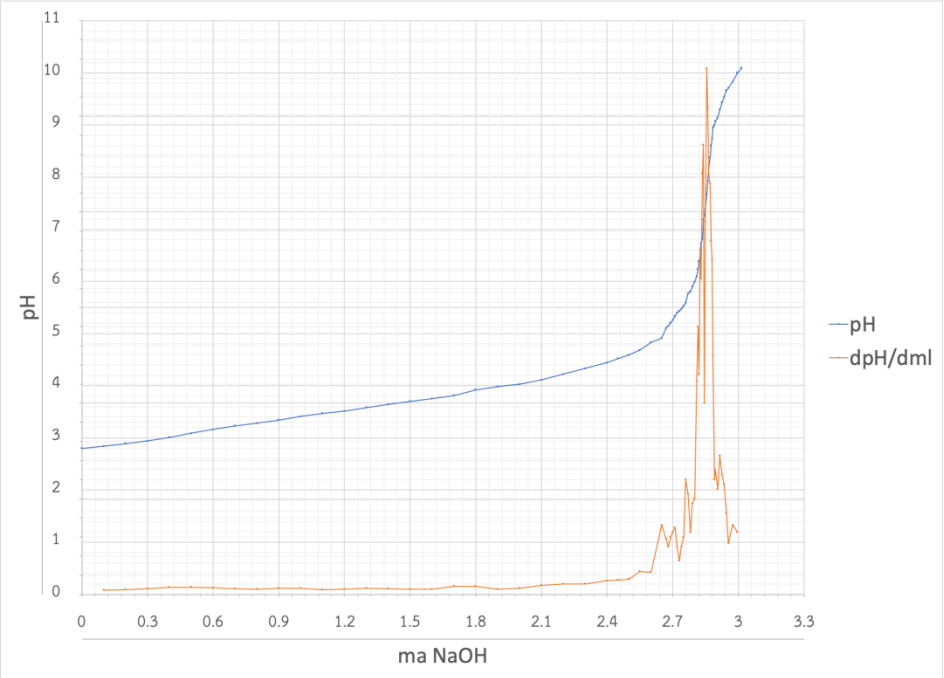
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.82 | |
| 0.1 | 2.86 | 0.5 |
| 0.2 | 2.92 | 0.55 |
| 0.3 | 2.97 | 0.6 |
| 0.4 | 3.04 | 0.75 |
| 0.5 | 3.12 | 0.65 |
| 0.6 | 3.17 | 0.65 |
| 0.7 | 3.25 | 0.75 |
| 0.8 | 3.32 | 0.7 |
| 0.9 | 3.39 | 0.65 |
| 1 | 3.45 | 0.6 |
| 1.1 | 3.51 | 0.55 |
| 1.2 | 3.56 | 0.65 |
| 1.3 | 3.64 | 0.65 |
| 1.4 | 3.69 | 0.5 |
| 1.5 | 3.74 | 0.65 |
| 1.6 | 3.82 | 0.75 |
| 1.7 | 3.89 | 0.95 |
| 1.8 | 4.01 | 0.85 |
| 1.9 | 4.06 | 0.7 |
| 2 | 4.15 | 0.95 |
| 2.1 | 4.25 | 1 |
| 2.2 | 4.35 | 1.15 |
| 2.3 | 4.48 | 1.63333333 |
| 2.35 | 4.57 | 1.9 |
| 2.4 | 4.67 | 2 |
| 2.45 | 4.77 | 2.35714286 |
| 2.47 | 4.82 | 3 |
| 2.49 | 4.89 | 3.16666667 |
| 2.5 | 4.92 | 4 |
| 2.51 | 4.97 | 5 |
| 2.52 | 5.02 | 4 |
| 2.53 | 5.05 | 2.5 |
| 2.54 | 5.07 | 2.5 |
| 2.55 | 5.1 | 3 |
| 2.56 | 5.13 | 3.5 |
| 2.57 | 5.17 | 5 |
| 2.58 | 5.23 | 6.5 |
| 2.59 | 5.3 | 9 |
| 2.595 | 5.35 | 11 |
| 2.6 | 5.41 | 10 |
| 2.605 | 5.45 | 7 |
| 2.61 | 5.48 | 8 |
| 2.615 | 5.53 | 9 |
| 2.62 | 5.57 | 17 |
| 2.625 | 5.7 | 19 |
| 2.63 | 5.76 | 13 |
| 2.635 | 5.83 | 20 |
| 2.64 | 5.96 | 20 |
| 2.645 | 6.03 | 14 |
| 2.65 | 6.1 | 12 |
| 2.655 | 6.15 | 17 |
| 2.66 | 6.27 | 20 |
| 2.665 | 6.35 | 21 |
| 2.67 | 6.48 | 23 |
| 2.675 | 6.58 | 18 |
| 2.68 | 6.66 | 24 |
| 2.685 | 6.82 | 47 |
| 2.69 | 7.13 | 67 |
| 2.695 | 7.49 | 58 |
| 2.7 | 7.71 | 36 |
| 2.705 | 7.85 | 29 |
| 2.71 | 8 | 56 |
| 2.715 | 8.41 | 78 |
| 2.72 | 8.78 | 62 |
| 2.725 | 9.03 | 33 |
| 2.73 | 9.11 | 21 |
| 2.735 | 9.24 | 19 |
| 2.74 | 9.3 | 13 |
| 2.745 | 9.37 | 9 |
| 2.75 | 9.39 | 6.33333333 |
| 2.76 | 9.5 | 8 |
| 2.77 | 9.55 | 6.5 |
| 2.78 | 9.63 | 6 |
| 2.79 | 9.67 | 4.66666667 |
| 2.81 | 9.79 | 5 |
| 2.83 | 9.87 | 4.5 |
| 2.85 | 9.97 | 4 |
| 2.87 | 10.03 | 3 |
| 2.89 | 10.09 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 4 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3209 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.16** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 4 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 4**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2218 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 3.6 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00026 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.008965 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 4.04 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1959 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 4.24 %wt |

**ตารางที่ ฉ.16** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 4 ของขวด PP

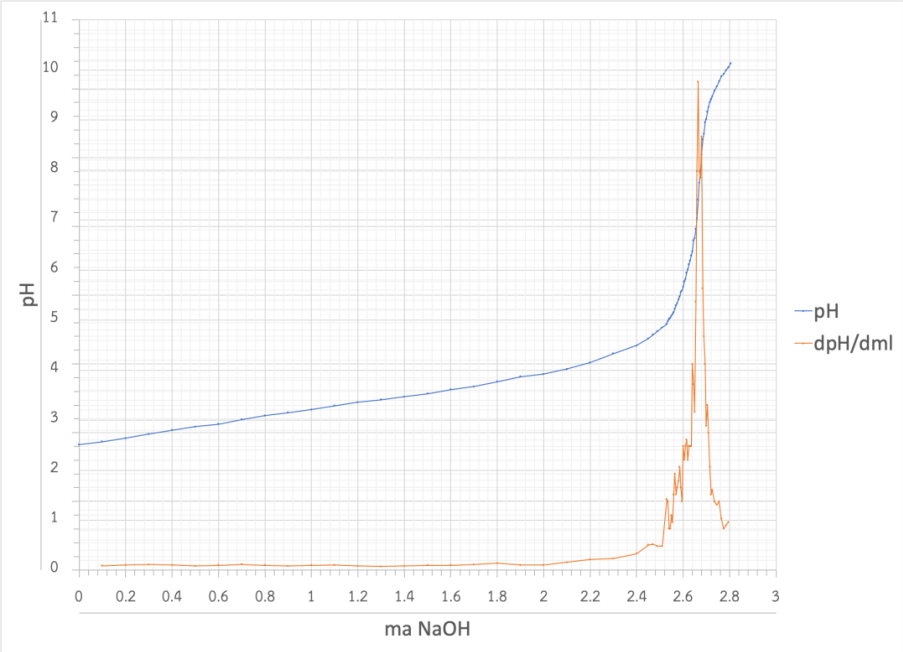
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.8 | |
| 0.1 | 2.84 | 0.45 |
| 0.2 | 2.89 | 0.5 |
| 0.3 | 2.94 | 0.6 |
| 0.4 | 3.01 | 0.75 |
| 0.5 | 3.09 | 0.75 |
| 0.6 | 3.16 | 0.7 |
| 0.7 | 3.23 | 0.6 |
| 0.8 | 3.28 | 0.55 |
| 0.9 | 3.34 | 0.65 |
| 1 | 3.41 | 0.65 |
| 1.1 | 3.47 | 0.5 |
| 1.2 | 3.51 | 0.55 |
| 1.3 | 3.58 | 0.65 |
| 1.4 | 3.64 | 0.6 |
| 1.5 | 3.7 | 0.55 |
| 1.6 | 3.75 | 0.55 |
| 1.7 | 3.81 | 0.85 |
| 1.8 | 3.92 | 0.85 |
| 1.9 | 3.98 | 0.55 |
| 2 | 4.03 | 0.65 |
| 2.1 | 4.11 | 0.95 |
| 2.2 | 4.22 | 1.1 |
| 2.3 | 4.33 | 1.1 |
| 2.4 | 4.44 | 1.43333333 |
| 2.45 | 4.52 | 1.5 |
| 2.5 | 4.59 | 1.6 |
| 2.55 | 4.68 | 2.4 |
| 2.6 | 4.83 | 2.3 |
| 2.65 | 4.91 | 7.24285714 |
| 2.67 | 5.1 | 5.83333333 |
| 2.68 | 5.14 | 5 |
| 2.69 | 5.2 | 6 |
| 2.7 | 5.26 | 6.5 |
| 2.71 | 5.33 | 7 |
| 2.72 | 5.4 | 5 |
| 2.73 | 5.43 | 3.5 |
| 2.74 | 5.47 | 5 |
| 2.75 | 5.53 | 6 |
| 2.76 | 5.59 | 12 |
| 2.77 | 5.77 | 10.5 |
| 2.78 | 5.8 | 6.5 |
| 2.79 | 5.9 | 9.5 |
| 2.8 | 5.99 | 10 |
| 2.81 | 6.1 | 22.3333333 |
| 2.815 | 6.24 | 28 |
| 2.82 | 6.38 | 23 |
| 2.825 | 6.47 | 36 |
| 2.83 | 6.74 | 33 |
| 2.835 | 6.8 | 44 |
| 2.84 | 7.18 | 47 |
| 2.845 | 7.27 | 20 |
| 2.85 | 7.38 | 39 |
| 2.855 | 7.66 | 55 |
| 2.86 | 7.93 | 51 |
| 2.865 | 8.17 | 44 |
| 2.87 | 8.37 | 43 |
| 2.875 | 8.6 | 37 |
| 2.88 | 8.74 | 35 |
| 2.885 | 8.95 | 25 |
| 2.89 | 8.99 | 12 |
| 2.895 | 9.07 | 13 |
| 2.905 | 9.14 | 11 |
| 2.915 | 9.29 | 14.5 |
| 2.925 | 9.43 | 12.5 |
| 2.935 | 9.54 | 11.5 |
| 2.945 | 9.66 | 8.5 |
| 2.955 | 9.71 | 5.33333333 |
| 2.975 | 9.83 | 7.25 |
| 2.995 | 10 | 6.5 |
| 3.015 | 10.09 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 7 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3423 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.17** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 7 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 7**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2214 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 1.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02650 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00012 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.004057 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 1.83 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1148 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 1.95 %wt |

**ตารางที่ ฉ.17** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 7 ของแก้วไพเร็กซ์

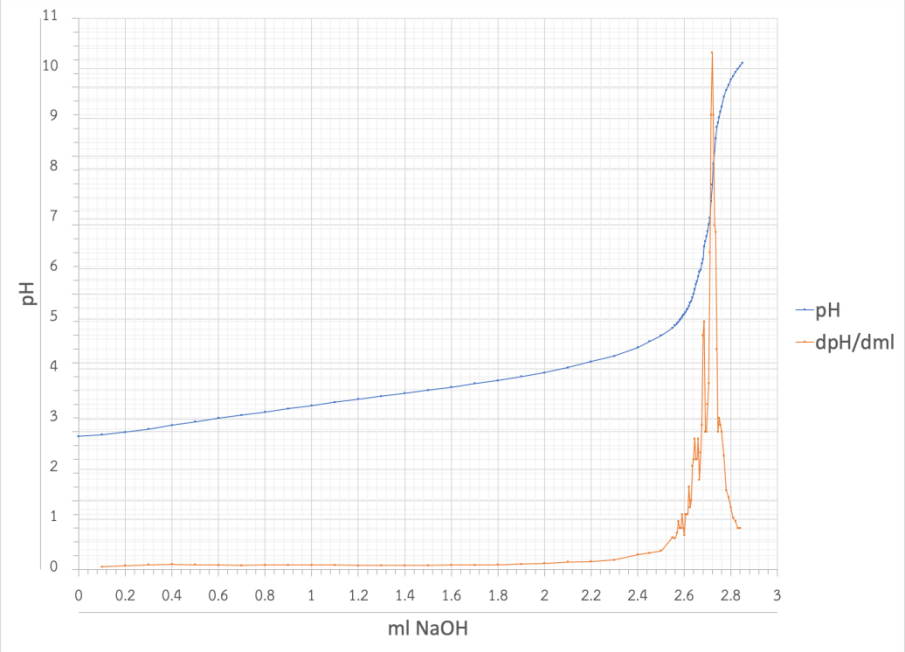
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.51 | |
| 0.1 | 2.57 | 0.65 |
| 0.2 | 2.64 | 0.75 |
| 0.3 | 2.72 | 0.8 |
| 0.4 | 2.8 | 0.75 |
| 0.5 | 2.87 | 0.6 |
| 0.6 | 2.92 | 0.7 |
| 0.7 | 3.01 | 0.85 |
| 0.8 | 3.09 | 0.7 |
| 0.9 | 3.15 | 0.6 |
| 1 | 3.21 | 0.7 |
| 1.1 | 3.29 | 0.75 |
| 1.2 | 3.36 | 0.6 |
| 1.3 | 3.41 | 0.55 |
| 1.4 | 3.47 | 0.6 |
| 1.5 | 3.53 | 0.7 |
| 1.6 | 3.61 | 0.7 |
| 1.7 | 3.67 | 0.8 |
| 1.8 | 3.77 | 1 |
| 1.9 | 3.87 | 0.75 |
| 2 | 3.92 | 0.75 |
| 2.1 | 4.02 | 1.15 |
| 2.2 | 4.15 | 1.55 |
| 2.3 | 4.33 | 1.7 |
| 2.4 | 4.49 | 2.4 |
| 2.45 | 4.63 | 3.65714286 |
| 2.47 | 4.71 | 3.75 |
| 2.49 | 4.78 | 3.5 |
| 2.51 | 4.85 | 3.5 |
| 2.53 | 4.92 | 10.3 |
| 2.535 | 4.98 | 10 |
| 2.54 | 5.02 | 6 |
| 2.545 | 5.04 | 6 |
| 2.55 | 5.08 | 8 |
| 2.555 | 5.12 | 7 |
| 2.56 | 5.15 | 11 |
| 2.565 | 5.23 | 14 |
| 2.57 | 5.29 | 11 |
| 2.575 | 5.34 | 12 |
| 2.58 | 5.41 | 13 |
| 2.585 | 5.47 | 15 |
| 2.59 | 5.56 | 12 |
| 2.595 | 5.59 | 10 |
| 2.6 | 5.66 | 18 |
| 2.605 | 5.77 | 16 |
| 2.61 | 5.82 | 18 |
| 2.615 | 5.95 | 19 |
| 2.62 | 6.01 | 16 |
| 2.625 | 6.11 | 18 |
| 2.63 | 6.19 | 18 |
| 2.635 | 6.29 | 18 |
| 2.64 | 6.37 | 30 |
| 2.645 | 6.59 | 27 |
| 2.65 | 6.64 | 23 |
| 2.655 | 6.82 | 39 |
| 2.66 | 7.03 | 58 |
| 2.665 | 7.4 | 71 |
| 2.67 | 7.74 | 58 |
| 2.675 | 7.98 | 57 |
| 2.68 | 8.31 | 63 |
| 2.685 | 8.61 | 41 |
| 2.69 | 8.72 | 34 |
| 2.695 | 8.95 | 30 |
| 2.7 | 9.02 | 21 |
| 2.705 | 9.16 | 24 |
| 2.71 | 9.26 | 20 |
| 2.715 | 9.36 | 15 |
| 2.72 | 9.41 | 11 |
| 2.725 | 9.47 | 11.6666667 |
| 2.735 | 9.58 | 10 |
| 2.745 | 9.67 | 9.5 |
| 2.755 | 9.77 | 10 |
| 2.765 | 9.87 | 7.5 |
| 2.775 | 9.92 | 6 |
| 2.785 | 9.99 | 6.5 |
| 2.795 | 10.05 | 7 |
| 2.805 | 10.13 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 7 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3494 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.18** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 7 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 7**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2237 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 1.6 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02650 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00011 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.00361 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 1.61 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1574 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 1.77 %wt |

**ตารางที่ ฉ.18** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 7 ของขวด HDPE

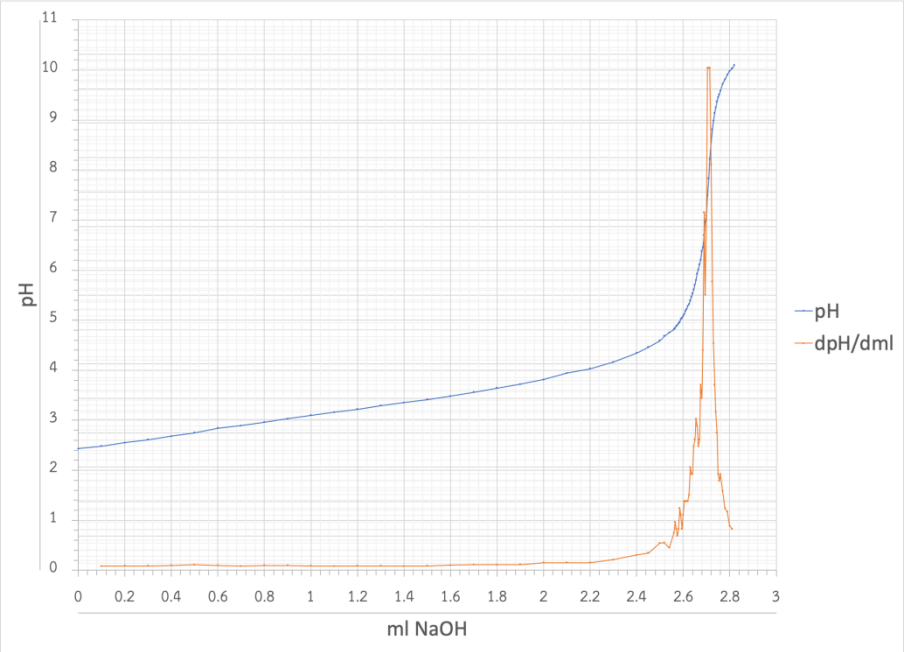
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.66 | |
| 0.1 | 2.69 | 0.4 |
| 0.2 | 2.74 | 0.55 |
| 0.3 | 2.8 | 0.7 |
| 0.4 | 2.88 | 0.75 |
| 0.5 | 2.95 | 0.7 |
| 0.6 | 3.02 | 0.65 |
| 0.7 | 3.08 | 0.6 |
| 0.8 | 3.14 | 0.65 |
| 0.9 | 3.21 | 0.65 |
| 1 | 3.27 | 0.65 |
| 1.1 | 3.34 | 0.65 |
| 1.2 | 3.4 | 0.6 |
| 1.3 | 3.46 | 0.6 |
| 1.4 | 3.52 | 0.6 |
| 1.5 | 3.58 | 0.6 |
| 1.6 | 3.64 | 0.65 |
| 1.7 | 3.71 | 0.65 |
| 1.8 | 3.77 | 0.7 |
| 1.9 | 3.85 | 0.8 |
| 2 | 3.93 | 0.9 |
| 2.1 | 4.03 | 1.1 |
| 2.2 | 4.15 | 1.15 |
| 2.3 | 4.26 | 1.4 |
| 2.4 | 4.43 | 2.16666667 |
| 2.45 | 4.55 | 2.4 |
| 2.5 | 4.67 | 2.7 |
| 2.55 | 4.82 | 4.66666667 |
| 2.56 | 4.87 | 4.5 |
| 2.57 | 4.91 | 5.33333333 |
| 2.575 | 4.94 | 7 |
| 2.58 | 4.98 | 6 |
| 2.585 | 5 | 6 |
| 2.59 | 5.04 | 8 |
| 2.595 | 5.08 | 6 |
| 2.6 | 5.1 | 5 |
| 2.605 | 5.13 | 8 |
| 2.61 | 5.18 | 8 |
| 2.615 | 5.21 | 8 |
| 2.62 | 5.26 | 12 |
| 2.625 | 5.33 | 9 |
| 2.63 | 5.35 | 10 |
| 2.635 | 5.43 | 15 |
| 2.64 | 5.5 | 16 |
| 2.645 | 5.59 | 19 |
| 2.65 | 5.69 | 16 |
| 2.655 | 5.75 | 16 |
| 2.66 | 5.85 | 19 |
| 2.665 | 5.94 | 13 |
| 2.67 | 5.98 | 17 |
| 2.675 | 6.11 | 21 |
| 2.68 | 6.19 | 34 |
| 2.685 | 6.45 | 36 |
| 2.69 | 6.55 | 20 |
| 2.695 | 6.65 | 20 |
| 2.7 | 6.75 | 24 |
| 2.705 | 6.89 | 27 |
| 2.71 | 7.02 | 46 |
| 2.715 | 7.35 | 66 |
| 2.72 | 7.68 | 75 |
| 2.725 | 8.1 | 66 |
| 2.73 | 8.34 | 50 |
| 2.735 | 8.6 | 49 |
| 2.74 | 8.83 | 32 |
| 2.745 | 8.92 | 20 |
| 2.75 | 9.03 | 22 |
| 2.755 | 9.14 | 21 |
| 2.76 | 9.24 | 20 |
| 2.77 | 9.44 | 16.5 |
| 2.78 | 9.57 | 11.5 |
| 2.79 | 9.67 | 10.5 |
| 2.8 | 9.78 | 9 |
| 2.81 | 9.85 | 7.5 |
| 2.82 | 9.93 | 7 |
| 2.83 | 9.99 | 6 |
| 2.84 | 10.05 | 6 |
| 2.85 | 10.11 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:0.8 ในวันที่ 7 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3426 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.19** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 7 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 7**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2235 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 1.6 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02650 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00011 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.00361 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 1.61 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.0803 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 1.69 %wt |

**ตารางที่ ฉ.19** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 7 ของขวด PP

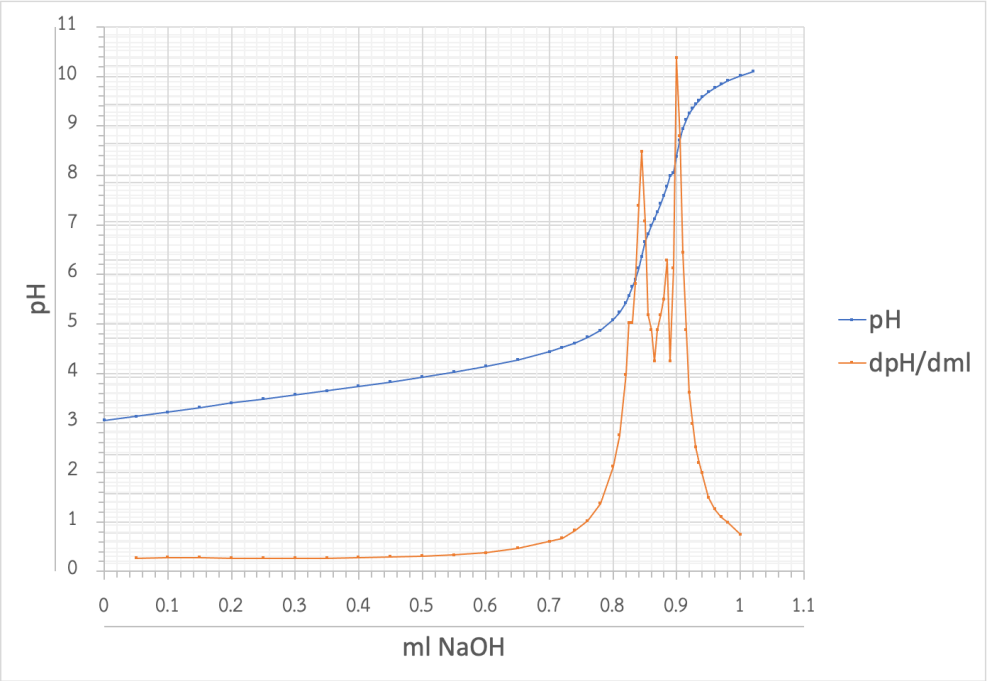
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.43 | |
| 0.1 | 2.48 | 0.6 |
| 0.2 | 2.55 | 0.65 |
| 0.3 | 2.61 | 0.65 |
| 0.4 | 2.68 | 0.7 |
| 0.5 | 2.75 | 0.8 |
| 0.6 | 2.84 | 0.7 |
| 0.7 | 2.89 | 0.6 |
| 0.8 | 2.96 | 0.7 |
| 0.9 | 3.03 | 0.7 |
| 1 | 3.1 | 0.65 |
| 1.1 | 3.16 | 0.6 |
| 1.2 | 3.22 | 0.65 |
| 1.3 | 3.29 | 0.65 |
| 1.4 | 3.35 | 0.6 |
| 1.5 | 3.41 | 0.65 |
| 1.6 | 3.48 | 0.75 |
| 1.7 | 3.56 | 0.8 |
| 1.8 | 3.64 | 0.8 |
| 1.9 | 3.72 | 0.85 |
| 2 | 3.81 | 1.1 |
| 2.1 | 3.94 | 1.1 |
| 2.2 | 4.03 | 1.1 |
| 2.3 | 4.16 | 1.55 |
| 2.4 | 4.34 | 2.2 |
| 2.45 | 4.46 | 2.5 |
| 2.5 | 4.59 | 3.95714286 |
| 2.52 | 4.68 | 4 |
| 2.54 | 4.75 | 3.25 |
| 2.56 | 4.81 | 5.4 |
| 2.565 | 4.84 | 7 |
| 2.57 | 4.88 | 6 |
| 2.575 | 4.9 | 5 |
| 2.58 | 4.93 | 6 |
| 2.585 | 4.96 | 9 |
| 2.59 | 5.02 | 8 |
| 2.595 | 5.04 | 6 |
| 2.6 | 5.08 | 8 |
| 2.605 | 5.12 | 10 |
| 2.61 | 5.18 | 10 |
| 2.615 | 5.22 | 10 |
| 2.62 | 5.28 | 10 |
| 2.625 | 5.32 | 11 |
| 2.63 | 5.39 | 15 |
| 2.635 | 5.47 | 14 |
| 2.64 | 5.53 | 14 |
| 2.645 | 5.61 | 18 |
| 2.65 | 5.71 | 19 |
| 2.655 | 5.8 | 22 |
| 2.66 | 5.93 | 21 |
| 2.665 | 6.01 | 18 |
| 2.67 | 6.11 | 19 |
| 2.675 | 6.2 | 27 |
| 2.68 | 6.38 | 25 |
| 2.685 | 6.45 | 32 |
| 2.69 | 6.7 | 52 |
| 2.695 | 6.97 | 40 |
| 2.7 | 7.1 | 52 |
| 2.705 | 7.49 | 73 |
| 2.71 | 7.83 | 73 |
| 2.715 | 8.22 | 73 |
| 2.72 | 8.56 | 59 |
| 2.725 | 8.81 | 42 |
| 2.73 | 8.98 | 33 |
| 2.735 | 9.14 | 27 |
| 2.74 | 9.25 | 23 |
| 2.745 | 9.37 | 20 |
| 2.75 | 9.45 | 14 |
| 2.755 | 9.51 | 13 |
| 2.76 | 9.58 | 14 |
| 2.77 | 9.72 | 11.5 |
| 2.78 | 9.81 | 9 |
| 2.79 | 9.9 | 8.5 |
| 2.8 | 9.98 | 6.5 |
| 2.81 | 10.03 | 6 |
| 2.82 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 10 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1013 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.20** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 10 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2153 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 24.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00169 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05764 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 26.77 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.9016 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 27.67 %wt |

**ตารางที่ ฉ.20** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.05 | |
| 0.05 | 3.13 | 1.7 |
| 0.1 | 3.22 | 1.8 |
| 0.15 | 3.31 | 1.8 |
| 0.2 | 3.4 | 1.7 |
| 0.25 | 3.48 | 1.7 |
| 0.3 | 3.57 | 1.7 |
| 0.35 | 3.65 | 1.7 |
| 0.4 | 3.74 | 1.8 |
| 0.45 | 3.83 | 1.9 |
| 0.5 | 3.93 | 2 |
| 0.55 | 4.03 | 2.1 |
| 0.6 | 4.14 | 2.4 |
| 0.65 | 4.27 | 3 |
| 0.7 | 4.44 | 3.82857143 |
| 0.72 | 4.52 | 4.25 |
| 0.74 | 4.61 | 5.25 |
| 0.76 | 4.73 | 6.5 |
| 0.78 | 4.87 | 8.75 |
| 0.8 | 5.08 | 13.5 |
| 0.81 | 5.23 | 17.5 |
| 0.82 | 5.43 | 25.3333333 |
| 0.825 | 5.57 | 32 |
| 0.83 | 5.75 | 32 |
| 0.835 | 5.89 | 37 |
| 0.84 | 6.12 | 47 |
| 0.845 | 6.36 | 54 |
| 0.85 | 6.66 | 45 |
| 0.855 | 6.81 | 33 |
| 0.86 | 6.99 | 31 |
| 0.865 | 7.12 | 27 |
| 0.87 | 7.26 | 31 |

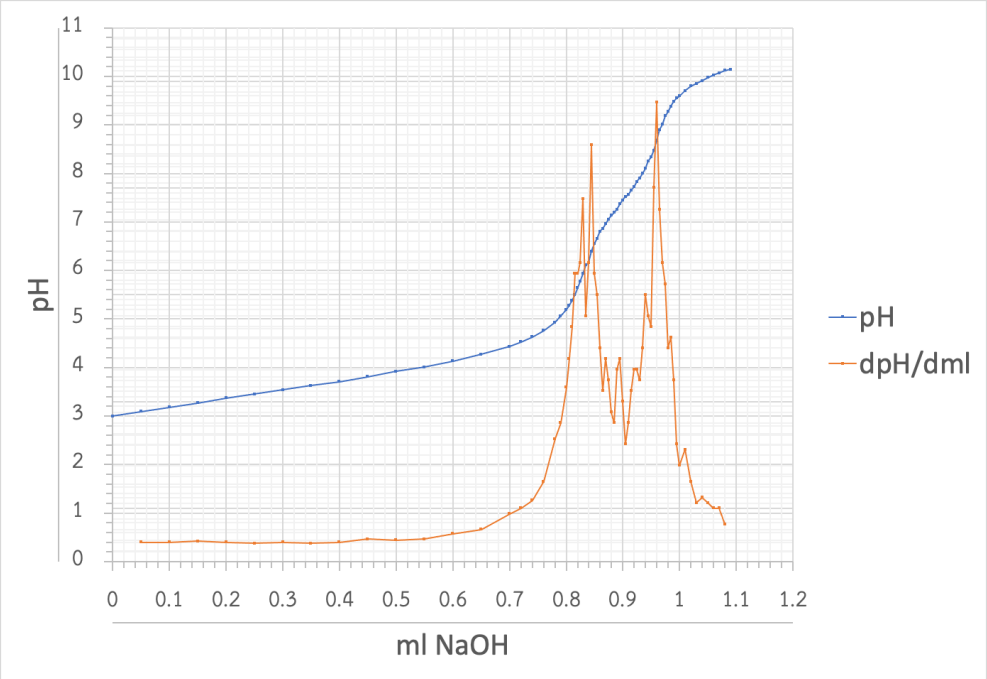
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.875 | 7.43 | 33 |
| 0.88 | 7.59 | 35 |
| 0.885 | 7.78 | 40 |
| 0.89 | 7.99 | 27 |
| 0.895 | 8.05 | 39 |
| 0.9 | 8.38 | 66 |
| 0.905 | 8.71 | 56 |
| 0.91 | 8.94 | 41 |
| 0.915 | 9.12 | 31 |
| 0.92 | 9.25 | 23 |
| 0.925 | 9.35 | 19 |
| 0.93 | 9.44 | 16 |
| 0.935 | 9.51 | 14 |
| 0.94 | 9.58 | 12.6666667 |
| 0.95 | 9.68 | 9.5 |
| 0.96 | 9.77 | 8 |
| 0.97 | 9.84 | 7 |
| 0.98 | 9.91 | 6.33333333 |
| 1 | 10.01 | 4.75 |
| 1.02 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 60 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1100 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.21** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 60 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2280 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 25.5 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00178mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.06048 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 26.53 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.736 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 28.26 %wt |

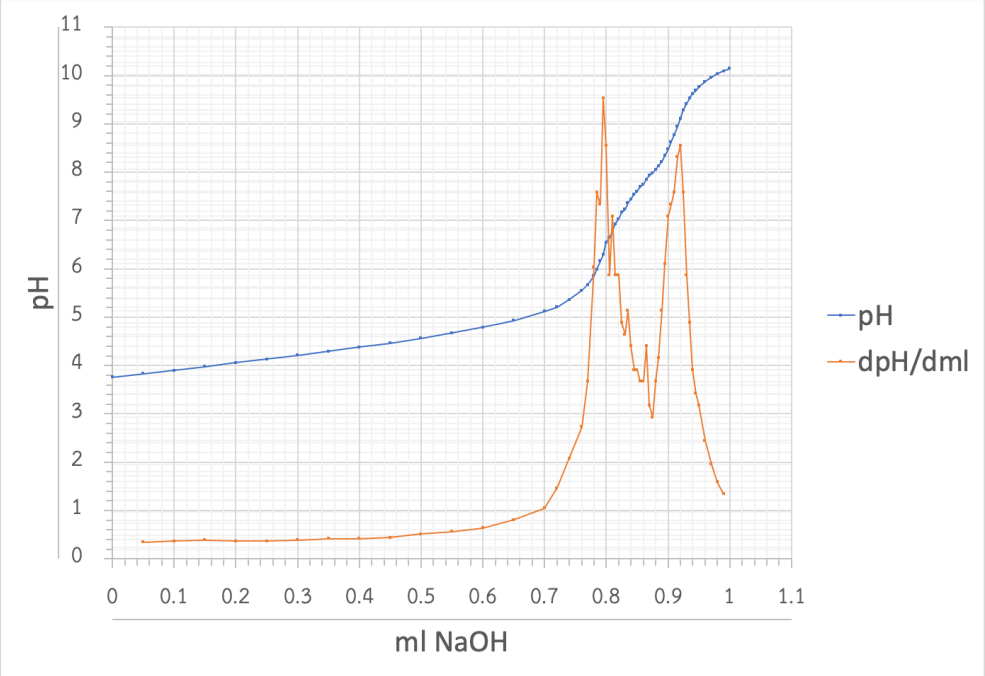
**ตารางที่ ฉ.21** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3 | |
| 0.05 | 3.09 | 1.8 |
| 0.1 | 3.18 | 1.8 |
| 0.15 | 3.27 | 1.9 |
| 0.2 | 3.37 | 1.8 |
| 0.25 | 3.45 | 1.7 |
| 0.3 | 3.54 | 1.8 |
| 0.35 | 3.63 | 1.7 |
| 0.4 | 3.71 | 1.8 |
| 0.45 | 3.81 | 2.1 |
| 0.5 | 3.92 | 2 |
| 0.55 | 4.01 | 2.1 |
| 0.6 | 4.13 | 2.6 |
| 0.65 | 4.27 | 3 |
| 0.7 | 4.43 | 4.48571429 |
| 0.72 | 4.53 | 5 |
| 0.74 | 4.63 | 5.75 |
| 0.76 | 4.76 | 7.5 |
| 0.78 | 4.93 | 11.5 |
| 0.79 | 5.06 | 13 |
| 0.8 | 5.19 | 16.3333333 |
| 0.805 | 5.28 | 19 |
| 0.81 | 5.38 | 22 |
| 0.815 | 5.5 | 27 |
| 0.82 | 5.65 | 27 |
| 0.825 | 5.77 | 28 |
| 0.83 | 5.93 | 34 |
| 0.835 | 6.11 | 23 |
| 0.84 | 6.16 | 28 |
| 0.845 | 6.39 | 39 |
| 0.85 | 6.55 | 27 |
| 0.855 | 6.66 | 25 |
| 0.86 | 6.8 | 20 |
| 0.865 | 6.86 | 16 |
| 0.87 | 6.96 | 19 |
| 0.875 | 7.05 | 17 |
| 0.88 | 7.13 | 14 |
| 0.885 | 7.19 | 13 |
| 0.89 | 7.26 | 18 |
| 0.895 | 7.37 | 19 |
| 0.9 | 7.45 | 15 |
| 0.905 | 7.52 | 11 |
| 0.91 | 7.56 | 13 |
| 0.915 | 7.65 | 16 |
| 0.92 | 7.72 | 18 |
| 0.925 | 7.83 | 18 |
| 0.93 | 7.9 | 17 |
| 0.935 | 8 | 20 |
| 0.94 | 8.1 | 25 |
| 0.945 | 8.25 | 23 |
| 0.95 | 8.33 | 22 |
| 0.955 | 8.47 | 35 |
| 0.96 | 8.68 | 43 |
| 0.965 | 8.9 | 33 |
| 0.97 | 9.01 | 28 |
| 0.975 | 9.18 | 26 |
| 0.98 | 9.27 | 20 |
| 0.985 | 9.38 | 21 |
| 0.99 | 9.48 | 17 |
| 0.995 | 9.55 | 11 |
| 1 | 9.59 | 9 |
| 1.01 | 9.7 | 10.5 |
| 1.02 | 9.8 | 7.5 |
| 1.03 | 9.85 | 5.5 |
| 1.04 | 9.91 | 6 |
| 1.05 | 9.97 | 5.5 |
| 1.06 | 10.02 | 5 |
| 1.07 | 10.07 | 5 |
| 1.08 | 10.12 | 3.5 |
| 1.09 | 10.14 | |

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 90 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1112 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.22** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 90 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.1893 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 21.0 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00146 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04981 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 26.31 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.866 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 28.18 %wt |

**ตารางที่ ฉ.22** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.76 | |
| 0.05 | 3.83 | 1.4 |
| 0.1 | 3.9 | 1.5 |
| 0.15 | 3.98 | 1.6 |
| 0.2 | 4.06 | 1.5 |
| 0.25 | 4.13 | 1.5 |
| 0.3 | 4.21 | 1.6 |
| 0.35 | 4.29 | 1.7 |
| 0.4 | 4.38 | 1.7 |
| 0.45 | 4.46 | 1.8 |
| 0.5 | 4.56 | 2.1 |
| 0.55 | 4.67 | 2.3 |
| 0.6 | 4.79 | 2.6 |
| 0.65 | 4.93 | 3.3 |
| 0.7 | 5.12 | 4.3 |
| 0.72 | 5.21 | 6 |
| 0.74 | 5.36 | 8.5 |
| 0.76 | 5.55 | 11.1666667 |
| 0.77 | 5.67 | 15 |
| 0.78 | 5.85 | 24.6666667 |
| 0.785 | 5.99 | 31 |
| 0.79 | 6.16 | 30 |
| 0.795 | 6.29 | 39 |
| 0.8 | 6.55 | 35 |
| 0.805 | 6.64 | 24 |
| 0.81 | 6.79 | 29 |
| 0.815 | 6.93 | 24 |
| 0.82 | 7.03 | 24 |
| 0.825 | 7.17 | 20 |
| 0.83 | 7.23 | 19 |

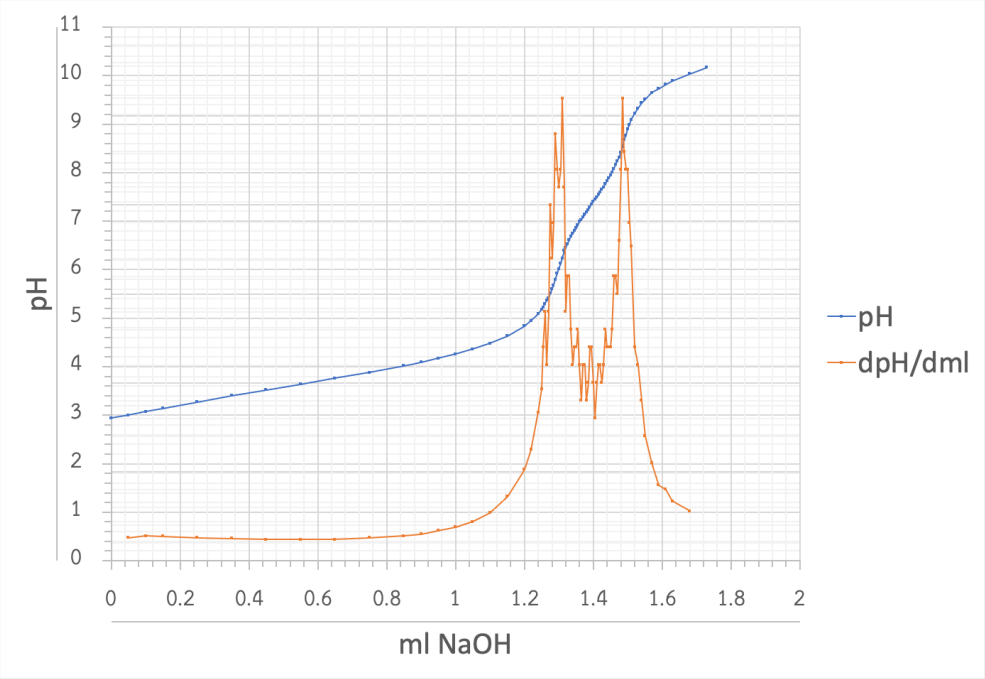
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.835 | 7.36 | 21 |
| 0.84 | 7.44 | 18 |
| 0.845 | 7.54 | 16 |
| 0.85 | 7.6 | 16 |
| 0.855 | 7.7 | 15 |
| 0.86 | 7.75 | 15 |
| 0.865 | 7.85 | 18 |
| 0.87 | 7.93 | 13 |
| 0.875 | 7.98 | 12 |
| 0.88 | 8.05 | 15 |
| 0.885 | 8.13 | 17 |
| 0.89 | 8.22 | 21 |
| 0.895 | 8.34 | 25 |
| 0.9 | 8.47 | 29 |
| 0.905 | 8.63 | 30 |
| 0.91 | 8.77 | 31 |
| 0.915 | 8.94 | 34 |
| 0.92 | 9.11 | 35 |
| 0.925 | 9.29 | 31 |
| 0.93 | 9.42 | 24 |
| 0.935 | 9.53 | 20 |
| 0.94 | 9.62 | 16 |
| 0.945 | 9.69 | 14 |
| 0.95 | 9.76 | 13 |
| 0.96 | 9.87 | 10 |
| 0.97 | 9.96 | 8 |
| 0.98 | 10.03 | 6.5 |
| 0.99 | 10.09 | 5.5 |
| 1 | 10.14 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 120 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1831 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.23** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 120 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.1703 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 18.7 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.0013 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04435 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 26.04 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.587 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 27.63 %wt |

**ตารางที่ ฉ.23** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

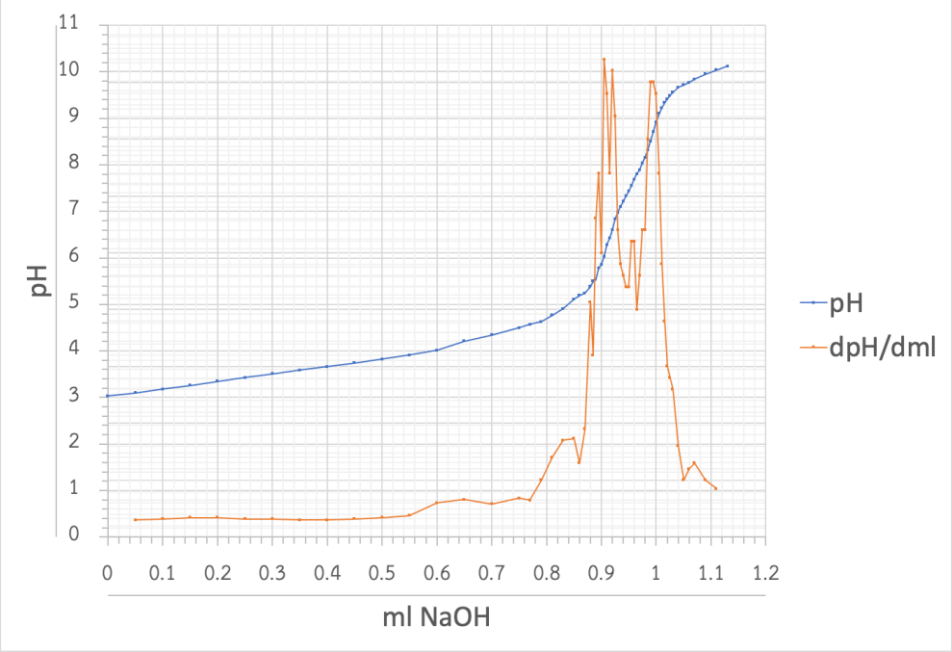
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.94 | |
| 0.05 | 3 | 1.3 |
| 0.1 | 3.07 | 1.4 |
| 0.15 | 3.14 | 1.36666667 |
| 0.25 | 3.27 | 1.3 |
| 0.35 | 3.4 | 1.25 |
| 0.45 | 3.52 | 1.2 |
| 0.55 | 3.64 | 1.2 |
| 0.65 | 3.76 | 1.2 |
| 0.75 | 3.88 | 1.3 |
| 0.85 | 4.02 | 1.4 |
| 0.9 | 4.09 | 1.5 |
| 0.95 | 4.17 | 1.7 |
| 1 | 4.26 | 1.9 |
| 1.05 | 4.36 | 2.2 |
| 1.1 | 4.48 | 2.7 |
| 1.15 | 4.63 | 3.6 |
| 1.2 | 4.84 | 5.12857143 |
| 1.22 | 4.95 | 6.25 |
| 1.24 | 5.09 | 8.33333333 |
| 1.25 | 5.18 | 9.66666667 |
| 1.255 | 5.23 | 12 |
| 1.26 | 5.3 | 14 |
| 1.265 | 5.37 | 11 |
| 1.27 | 5.41 | 14 |
| 1.275 | 5.51 | 20 |
| 1.28 | 5.61 | 17 |
| 1.285 | 5.68 | 19 |
| 1.29 | 5.8 | 24 |
| 1.295 | 5.92 | 22 |
| 1.3 | 6.02 | 21 |
| 1.305 | 6.13 | 22 |
| 1.31 | 6.24 | 26 |
| 1.315 | 6.39 | 21 |
| 1.32 | 6.45 | 14 |
| 1.325 | 6.53 | 16 |
| 1.33 | 6.61 | 16 |
| 1.335 | 6.69 | 13 |
| 1.34 | 6.74 | 11 |
| 1.345 | 6.8 | 12 |
| 1.35 | 6.86 | 12 |
| 1.355 | 6.92 | 13 |
| 1.36 | 6.99 | 11 |
| 1.365 | 7.03 | 9 |
| 1.37 | 7.08 | 11 |
| 1.375 | 7.14 | 11 |
| 1.38 | 7.19 | 9 |
| 1.385 | 7.23 | 10 |
| 1.39 | 7.29 | 12 |
| 1.395 | 7.35 | 12 |
| 1.4 | 7.41 | 10 |
| 1.405 | 7.45 | 8 |
| 1.41 | 7.49 | 10 |
| 1.415 | 7.55 | 11 |
| 1.42 | 7.6 | 11 |
| 1.425 | 7.66 | 10 |
| 1.43 | 7.7 | 11 |
| 1.435 | 7.77 | 13 |
| 1.44 | 7.83 | 12 |
| 1.445 | 7.89 | 12 |
| 1.45 | 7.95 | 12 |
| 1.455 | 8.01 | 13 |
| 1.46 | 8.08 | 16 |
| 1.465 | 8.17 | 16 |
| 1.47 | 8.24 | 15 |
| 1.475 | 8.32 | 18 |
| 1.48 | 8.42 | 22 |
| 1.485 | 8.54 | 26 |
| 1.49 | 8.68 | 23 |
| 1.495 | 8.77 | 22 |
| 1.5 | 8.9 | 22 |
| 1.505 | 8.99 | 19 |
| 1.51 | 9.09 | 17.6666667 |
| 1.52 | 9.22 | 12 |
| 1.53 | 9.33 | 11 |
| 1.54 | 9.44 | 9 |
| 1.55 | 9.51 | 7 |
| 1.57 | 9.65 | 5.5 |
| 1.59 | 9.73 | 4.25 |
| 1.61 | 9.82 | 4 |
| 1.63 | 9.89 | 3.35714286 |
| 1.68 | 10.04 | 2.8 |
| 1.73 | 10.17 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1705 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.24** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2147 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 18.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00137 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04655 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 21.68 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.8522 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 22.53 %wt |

**ตารางที่ ฉ.24** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.03 | |
| 0.05 | 3.1 | 1.5 |
| 0.1 | 3.18 | 1.6 |
| 0.15 | 3.26 | 1.7 |
| 0.2 | 3.35 | 1.7 |
| 0.25 | 3.43 | 1.6 |
| 0.3 | 3.51 | 1.6 |
| 0.35 | 3.59 | 1.5 |
| 0.4 | 3.66 | 1.5 |
| 0.45 | 3.74 | 1.6 |
| 0.5 | 3.82 | 1.7 |
| 0.55 | 3.91 | 1.9 |
| 0.6 | 4.01 | 3 |
| 0.65 | 4.21 | 3.3 |
| 0.7 | 4.34 | 2.9 |
| 0.75 | 4.5 | 3.41428571 |
| 0.77 | 4.57 | 3.25 |
| 0.79 | 4.63 | 5 |
| 0.81 | 4.77 | 7 |
| 0.83 | 4.91 | 8.5 |
| 0.85 | 5.11 | 8.66666667 |
| 0.86 | 5.19 | 6.5 |
| 0.87 | 5.24 | 9.5 |
| 0.88 | 5.38 | 20.6666667 |
| 0.885 | 5.5 | 16 |
| 0.89 | 5.54 | 28 |
| 0.895 | 5.78 | 32 |
| 0.9 | 5.86 | 25 |
| 0.905 | 6.03 | 42 |
| 0.91 | 6.28 | 39 |
| 0.915 | 6.42 | 32 |

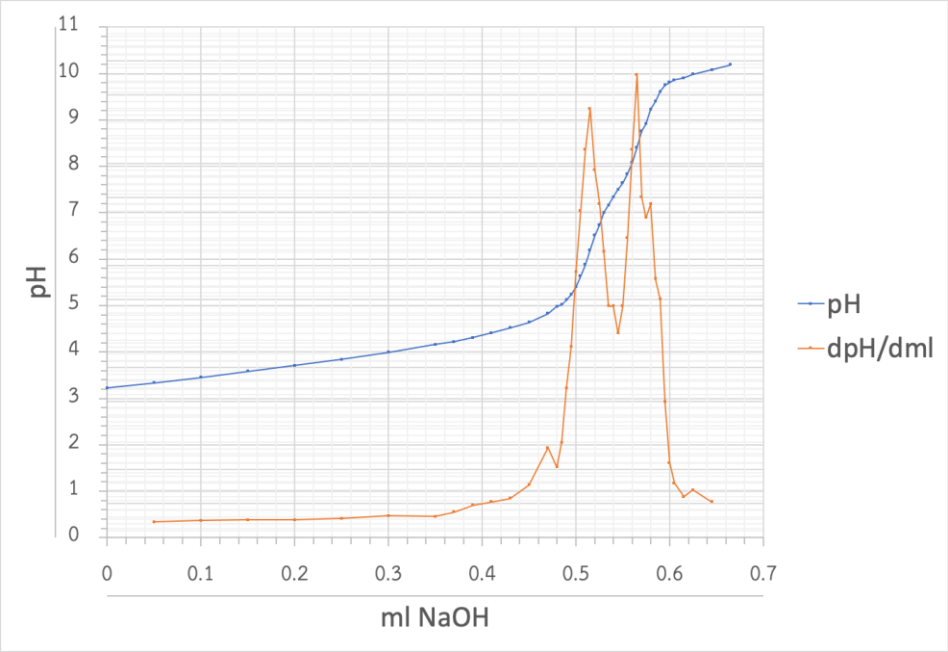
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.92 | 6.6 | 41 |
| 0.925 | 6.83 | 37 |
| 0.93 | 6.97 | 27 |
| 0.935 | 7.1 | 24 |
| 0.94 | 7.21 | 23 |
| 0.945 | 7.33 | 22 |
| 0.95 | 7.43 | 22 |
| 0.955 | 7.55 | 26 |
| 0.96 | 7.69 | 26 |
| 0.965 | 7.81 | 20 |
| 0.97 | 7.89 | 23 |
| 0.975 | 8.04 | 27 |
| 0.98 | 8.16 | 27 |
| 0.985 | 8.31 | 35 |
| 0.99 | 8.51 | 40 |
| 0.995 | 8.71 | 40 |
| 1 | 8.91 | 39 |
| 1.005 | 9.1 | 32 |
| 1.01 | 9.23 | 24 |
| 1.015 | 9.34 | 19 |
| 1.02 | 9.42 | 15 |
| 1.025 | 9.49 | 14 |
| 1.03 | 9.56 | 13 |
| 1.04 | 9.67 | 8 |
| 1.05 | 9.72 | 5 |
| 1.06 | 9.77 | 6 |
| 1.07 | 9.84 | 6.5 |
| 1.09 | 9.95 | 5 |
| 1.11 | 10.04 | 4.25 |
| 1.13 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.0932 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.25** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2064 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 18.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00135 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04604 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 22.31 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.8908 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 23.20 %wt |

**ตารางที่ ฉ.25** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 1 ของขวด HDPE

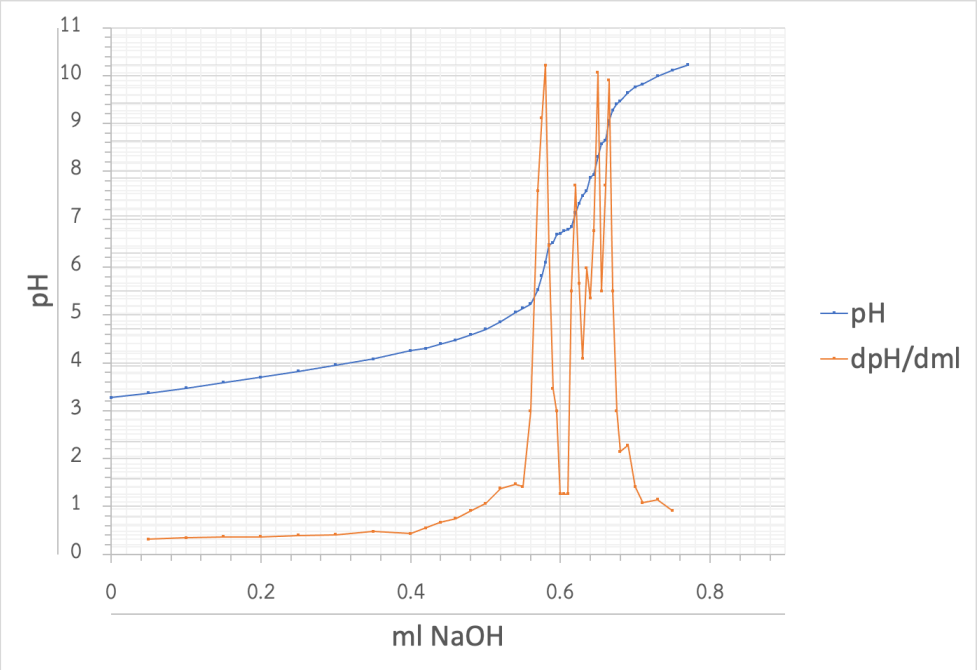
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.22 | |
| 0.05 | 3.33 | 2.3 |
| 0.1 | 3.45 | 2.5 |
| 0.15 | 3.58 | 2.6 |
| 0.2 | 3.71 | 2.6 |
| 0.25 | 3.84 | 2.8 |
| 0.3 | 3.99 | 3.2 |
| 0.35 | 4.16 | 3.11428571 |
| 0.37 | 4.22 | 3.75 |
| 0.39 | 4.31 | 4.75 |
| 0.41 | 4.41 | 5.25 |
| 0.43 | 4.52 | 5.75 |
| 0.45 | 4.64 | 7.75 |
| 0.47 | 4.83 | 13.1666667 |
| 0.48 | 4.98 | 10.3333333 |
| 0.485 | 5.02 | 14 |
| 0.49 | 5.12 | 22 |
| 0.495 | 5.24 | 28 |
| 0.5 | 5.4 | 39 |
| 0.505 | 5.63 | 48 |
| 0.51 | 5.88 | 57 |
| 0.515 | 6.2 | 63 |
| 0.52 | 6.51 | 54 |
| 0.525 | 6.74 | 49 |
| 0.53 | 7 | 42 |
| 0.535 | 7.16 | 34 |
| 0.54 | 7.34 | 34 |
| 0.545 | 7.5 | 30 |
| 0.55 | 7.64 | 34 |
| 0.555 | 7.84 | 44 |
| 0.56 | 8.08 | 57 |
| 0.565 | 8.41 | 68 |
| 0.57 | 8.76 | 50 |
| 0.575 | 8.91 | 47 |
| 0.58 | 9.23 | 49 |
| 0.585 | 9.4 | 38 |
| 0.59 | 9.61 | 35 |
| 0.595 | 9.75 | 20 |
| 0.6 | 9.81 | 11 |
| 0.605 | 9.86 | 8 |
| 0.615 | 9.9 | 6 |
| 0.625 | 9.98 | 7 |
| 0.645 | 10.08 | 5.25 |
| 0.665 | 10.19 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1098 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.26** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2123 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 17.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00129 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04201 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 20.73 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.058 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 21.79 %wt |

**ตารางที่ ฉ.26** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 1 ของขวด PP

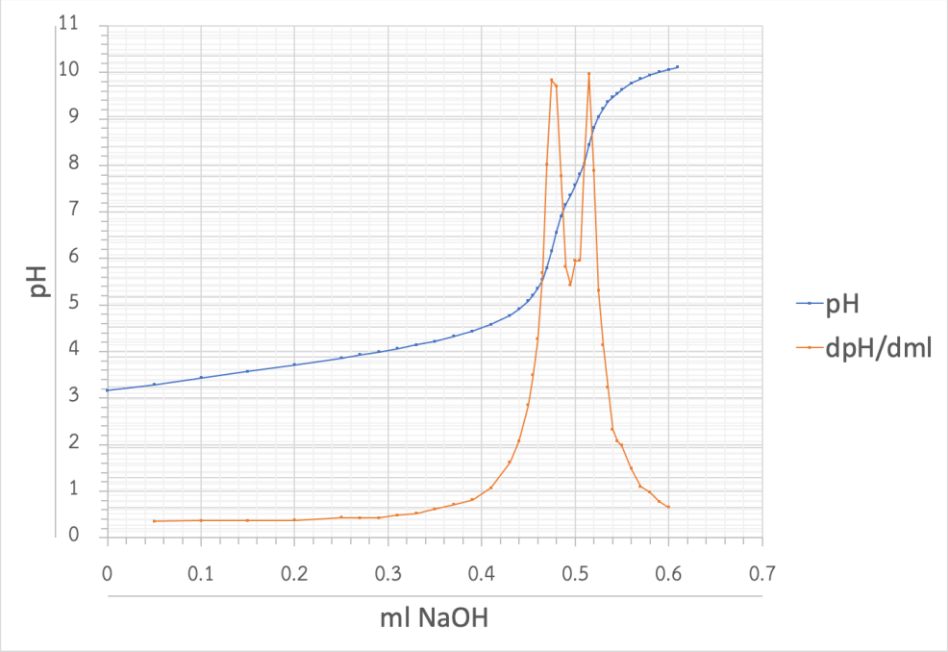
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.27 | |
| 0.05 | 3.37 | 2 |
| 0.1 | 3.47 | 2.2 |
| 0.15 | 3.59 | 2.3 |
| 0.2 | 3.7 | 2.3 |
| 0.25 | 3.82 | 2.5 |
| 0.3 | 3.95 | 2.6 |
| 0.35 | 4.08 | 3 |
| 0.4 | 4.25 | 2.75714286 |
| 0.42 | 4.3 | 3.5 |
| 0.44 | 4.39 | 4.25 |
| 0.46 | 4.47 | 4.75 |
| 0.48 | 4.58 | 5.75 |
| 0.5 | 4.7 | 6.75 |
| 0.52 | 4.85 | 8.75 |
| 0.54 | 5.05 | 9.33333333 |
| 0.55 | 5.14 | 9 |
| 0.56 | 5.23 | 19 |
| 0.57 | 5.52 | 48.3333333 |
| 0.575 | 5.81 | 58 |
| 0.58 | 6.1 | 65 |
| 0.585 | 6.46 | 41 |
| 0.59 | 6.51 | 22 |
| 0.595 | 6.68 | 19 |
| 0.6 | 6.7 | 8 |
| 0.605 | 6.76 | 8 |
| 0.61 | 6.78 | 8 |
| 0.615 | 6.84 | 35 |
| 0.62 | 7.13 | 49 |
| 0.625 | 7.33 | 36 |
| 0.63 | 7.49 | 26 |
| 0.635 | 7.59 | 38 |
| 0.64 | 7.87 | 34 |
| 0.645 | 7.93 | 43 |
| 0.65 | 8.3 | 64 |
| 0.655 | 8.57 | 35 |
| 0.66 | 8.65 | 49 |
| 0.665 | 9.06 | 63 |
| 0.67 | 9.28 | 35 |
| 0.675 | 9.41 | 19 |
| 0.68 | 9.47 | 13.6666667 |
| 0.69 | 9.64 | 14.5 |
| 0.7 | 9.76 | 9 |
| 0.71 | 9.82 | 6.83333333 |
| 0.73 | 9.99 | 7.25 |
| 0.75 | 10.11 | 5.75 |
| 0.77 | 10.22 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1068 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.27** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต H2O2 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2103 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย KMnO4 ที่ใช้ | 15.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO4 | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ H2O2 | 0.00115 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03917 g |
| wt% H2O2 ที่เหลือ | 18.63 %wt |
| wt% H2O2 ที่ไปเป็น PFA | 0.6219 %wt |
| Total wt% ของ H2O2 | 19.25 %wt |

**ตารางที่ ฉ.27** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 2 ของแก้วไพเร็กซ์

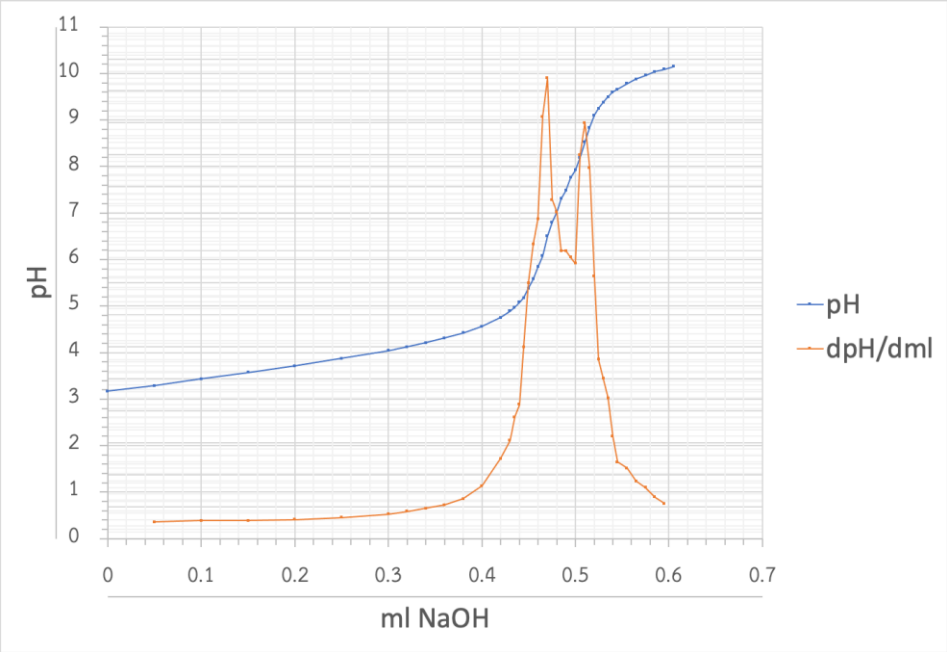
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.16 | |
| 0.05 | 3.29 | 2.7 |
| 0.1 | 3.43 | 2.8 |
| 0.15 | 3.57 | 2.8 |
| 0.2 | 3.71 | 2.9 |
| 0.25 | 3.86 | 3.35714286 |
| 0.27 | 3.93 | 3.25 |
| 0.29 | 3.99 | 3.25 |
| 0.31 | 4.06 | 3.75 |
| 0.33 | 4.14 | 4 |
| 0.35 | 4.22 | 4.75 |
| 0.37 | 4.33 | 5.5 |
| 0.39 | 4.44 | 6.25 |
| 0.41 | 4.58 | 8.25 |
| 0.43 | 4.77 | 12.5 |
| 0.44 | 4.91 | 16 |
| 0.45 | 5.09 | 22 |
| 0.455 | 5.21 | 27 |
| 0.46 | 5.36 | 33 |
| 0.465 | 5.54 | 44 |
| 0.47 | 5.8 | 62 |
| 0.475 | 6.16 | 76 |
| 0.48 | 6.56 | 75 |
| 0.485 | 6.91 | 60 |
| 0.49 | 7.16 | 45 |
| 0.495 | 7.36 | 42 |
| 0.5 | 7.58 | 46 |
| 0.505 | 7.82 | 46 |
| 0.51 | 8.04 | 62 |
| 0.515 | 8.44 | 77 |
| 0.52 | 8.81 | 61 |
| 0.525 | 9.05 | 41 |
| 0.53 | 9.22 | 32 |
| 0.535 | 9.37 | 25 |
| 0.54 | 9.47 | 18 |
| 0.545 | 9.55 | 16 |
| 0.55 | 9.63 | 15.3333333 |
| 0.56 | 9.77 | 11.5 |
| 0.57 | 9.86 | 8.5 |
| 0.58 | 9.94 | 7.5 |
| 0.59 | 10.01 | 6 |
| 0.6 | 10.06 | 5 |
| 0.61 | 10.11 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1040 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.28** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2061 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 15.2 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00114 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03866 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 18.76 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.6386 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 19.40 %wt |

**ตารางที่ ฉ.28** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 2 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.17 | |
| 0.05 | 3.29 | 2.6 |
| 0.1 | 3.43 | 2.8 |
| 0.15 | 3.57 | 2.8 |
| 0.2 | 3.71 | 3 |
| 0.25 | 3.87 | 3.3 |
| 0.3 | 4.04 | 3.82857143 |
| 0.32 | 4.12 | 4.25 |
| 0.34 | 4.21 | 4.75 |
| 0.36 | 4.31 | 5.25 |
| 0.38 | 4.42 | 6.25 |
| 0.4 | 4.56 | 8.25 |
| 0.42 | 4.75 | 12.5 |
| 0.43 | 4.89 | 15.3333333 |
| 0.435 | 4.97 | 19 |
| 0.44 | 5.08 | 21 |
| 0.445 | 5.18 | 30 |
| 0.45 | 5.38 | 40 |
| 0.455 | 5.58 | 46 |
| 0.46 | 5.84 | 50 |
| 0.465 | 6.08 | 66 |
| 0.47 | 6.5 | 72 |
| 0.475 | 6.8 | 53 |
| 0.48 | 7.03 | 51 |
| 0.485 | 7.31 | 45 |
| 0.49 | 7.48 | 45 |
| 0.495 | 7.76 | 44 |
| 0.5 | 7.92 | 43 |
| 0.505 | 8.19 | 60 |
| 0.51 | 8.52 | 65 |
| 0.515 | 8.84 | 58 |
| 0.52 | 9.1 | 41 |

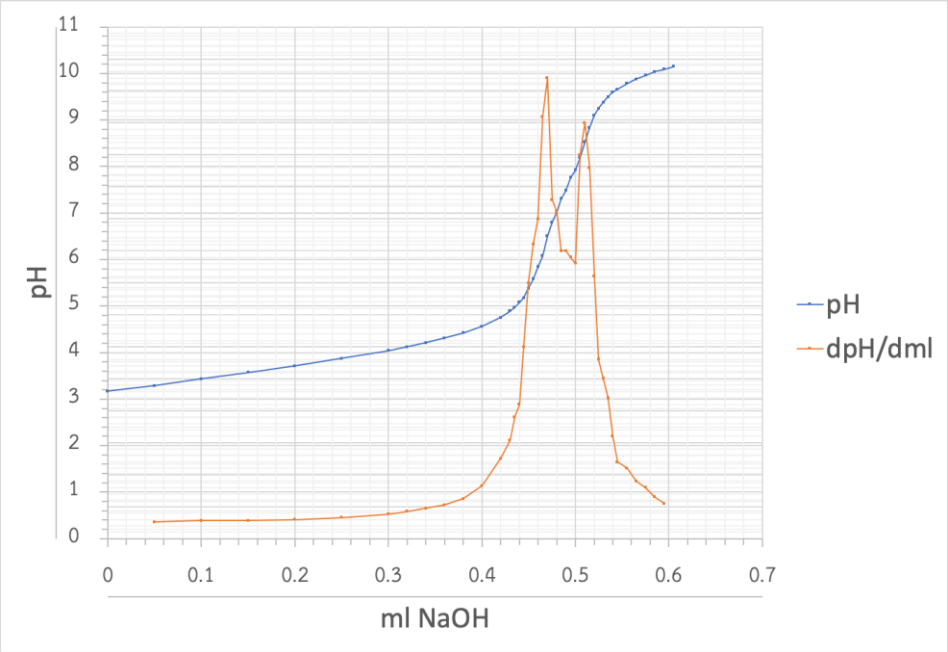
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.525 | 9.25 | 28 |
| 0.53 | 9.38 | 25 |
| 0.535 | 9.5 | 22 |
| 0.54 | 9.6 | 16 |
| 0.545 | 9.66 | 12 |
| 0.555 | 9.78 | 11 |
| 0.565 | 9.88 | 9 |
| 0.575 | 9.96 | 8 |
| 0.585 | 10.04 | 6.5 |
| 0.595 | 10.09 | 5.5 |
| 0.605 | 10.15 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1085 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.29** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2186 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 15.0 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00112mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03816 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 18.45 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.5357 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 17.99 %wt |

**ตารางที่ ฉ.29** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 2 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.2 | |
| 0.05 | 3.33 | 2.7 |
| 0.1 | 3.47 | 2.8 |
| 0.15 | 3.61 | 2.9 |
| 0.2 | 3.76 | 3.2 |
| 0.25 | 3.93 | 3.47142857 |
| 0.27 | 4 | 3.75 |
| 0.29 | 4.08 | 4.25 |
| 0.31 | 4.17 | 4.5 |
| 0.33 | 4.26 | 5 |
| 0.35 | 4.37 | 6 |
| 0.37 | 4.5 | 8 |
| 0.39 | 4.69 | 10.5 |
| 0.4 | 4.8 | 12.5 |
| 0.41 | 4.94 | 19.3333333 |
| 0.415 | 5.05 | 24 |
| 0.42 | 5.18 | 31 |
| 0.425 | 5.36 | 40 |
| 0.43 | 5.58 | 55 |
| 0.435 | 5.91 | 69 |
| 0.44 | 6.27 | 76 |
| 0.445 | 6.67 | 70 |
| 0.45 | 6.97 | 56 |
| 0.455 | 7.23 | 49 |
| 0.46 | 7.46 | 48 |
| 0.465 | 7.71 | 53 |
| 0.47 | 7.99 | 64 |
| 0.475 | 8.35 | 70 |
| 0.48 | 8.69 | 68 |
| 0.485 | 9.03 | 56 |
| 0.49 | 9.25 | 37 |
| 0.495 | 9.4 | 27 |

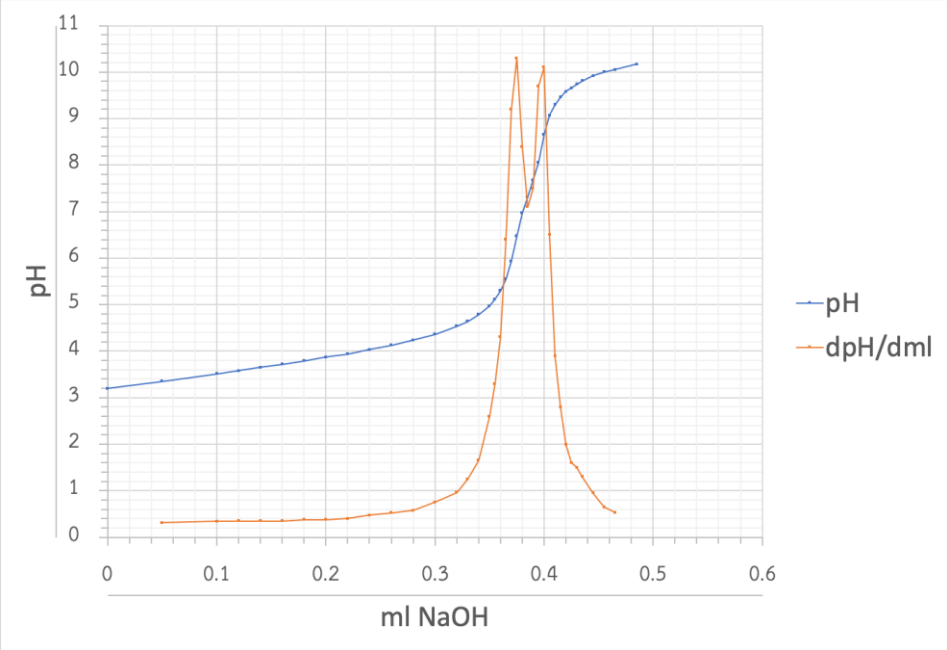
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.5 | 9.52 | 22 |
| 0.505 | 9.62 | 17 |
| 0.51 | 9.69 | 13.3333333 |
| 0.52 | 9.81 | 11 |
| 0.53 | 9.91 | 8.5 |
| 0.54 | 9.98 | 7 |
| 0.55 | 10.05 | 6.5 |
| 0.56 | 10.11 | 5.5 |
| 0.57 | 10.16 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
N UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1076 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.30** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2224 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 14.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00107 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03663 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 16.47 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.3858 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 16.86 %wt |

**ตารางที่ ฉ.30** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 3 ของแก้วไพเร็กซ์

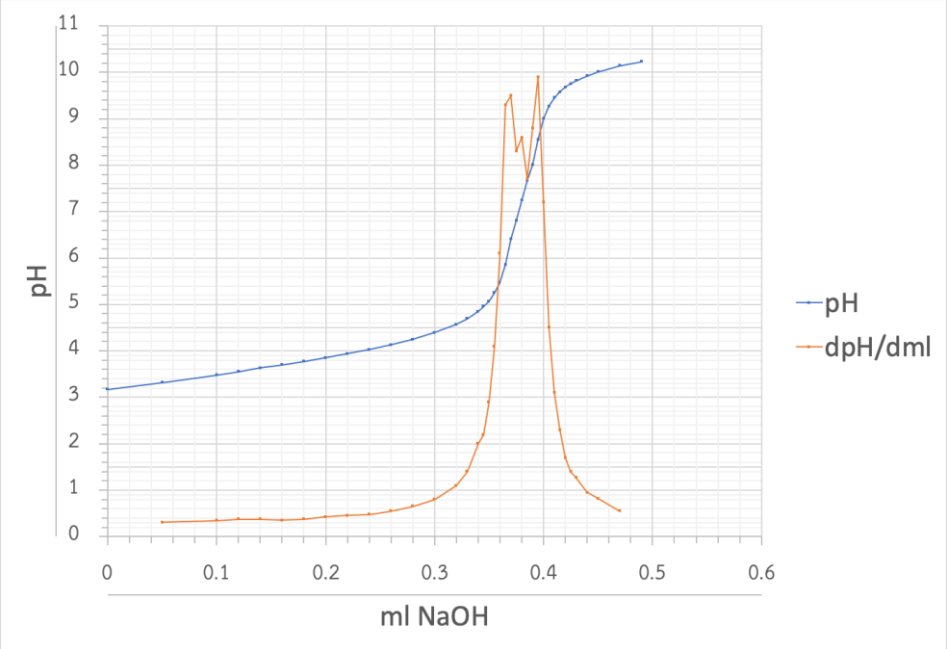
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.2 | |
| 0.05 | 3.35 | 3.1 |
| 0.1 | 3.51 | 3.41428571 |
| 0.12 | 3.58 | 3.5 |
| 0.14 | 3.65 | 3.5 |
| 0.16 | 3.72 | 3.5 |
| 0.18 | 3.79 | 3.75 |
| 0.2 | 3.87 | 3.75 |
| 0.22 | 3.94 | 4 |
| 0.24 | 4.03 | 4.75 |
| 0.26 | 4.13 | 5.25 |
| 0.28 | 4.24 | 5.75 |
| 0.3 | 4.36 | 7.5 |
| 0.32 | 4.54 | 9.66666667 |
| 0.33 | 4.64 | 12.5 |
| 0.34 | 4.79 | 16.5 |
| 0.35 | 4.97 | 26 |
| 0.355 | 5.12 | 33 |
| 0.36 | 5.3 | 43 |
| 0.365 | 5.55 | 64 |
| 0.37 | 5.94 | 92 |
| 0.375 | 6.47 | 103 |
| 0.38 | 6.97 | 84 |
| 0.385 | 7.31 | 71 |
| 0.39 | 7.68 | 75 |
| 0.395 | 8.06 | 97 |
| 0.4 | 8.65 | 101 |
| 0.405 | 9.07 | 65 |
| 0.41 | 9.3 | 39 |
| 0.415 | 9.46 | 28 |
| 0.42 | 9.58 | 20 |
| 0.425 | 9.66 | 16 |
| 0.43 | 9.74 | 15 |
| 0.435 | 9.81 | 13 |
| 0.445 | 9.92 | 9.5 |
| 0.455 | 10 | 6.5 |
| 0.465 | 10.05 | 5.33333333 |
| 0.485 | 10.17 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1074 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.31** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H2O2) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต H2O2 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2192 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย KMnO4 ที่ใช้ | 14.2 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย KMnO4 | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ H2O2 | 0.00106 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03612 g |
| wt% H2O2 ที่เหลือ | 16.48 %wt |
| wt% H2O2 ที่ไปเป็น PFA | 0.3865 %wt |
| Total wt% ของ H2O2 | 16.87 %wt |

**ตารางที่ ฉ.31** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 3 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.17 | |
| 0.05 | 3.32 | 3.1 |
| 0.1 | 3.48 | 3.41428571 |
| 0.12 | 3.55 | 3.75 |
| 0.14 | 3.63 | 3.75 |
| 0.16 | 3.7 | 3.5 |
| 0.18 | 3.77 | 3.75 |
| 0.2 | 3.85 | 4.25 |
| 0.22 | 3.94 | 4.5 |
| 0.24 | 4.03 | 4.75 |
| 0.26 | 4.13 | 5.5 |
| 0.28 | 4.25 | 6.5 |
| 0.3 | 4.39 | 8 |
| 0.32 | 4.57 | 11 |
| 0.33 | 4.69 | 14 |
| 0.34 | 4.85 | 20 |
| 0.345 | 4.96 | 22 |
| 0.35 | 5.07 | 29 |
| 0.355 | 5.25 | 41 |
| 0.36 | 5.48 | 61 |
| 0.365 | 5.86 | 93 |
| 0.37 | 6.41 | 95 |
| 0.375 | 6.81 | 83 |
| 0.38 | 7.24 | 86 |
| 0.385 | 7.67 | 77 |
| 0.39 | 8.01 | 88 |
| 0.395 | 8.55 | 99 |
| 0.4 | 9 | 72 |
| 0.405 | 9.27 | 45 |
| 0.41 | 9.45 | 31 |
| 0.415 | 9.58 | 23 |
| 0.42 | 9.68 | 17 |

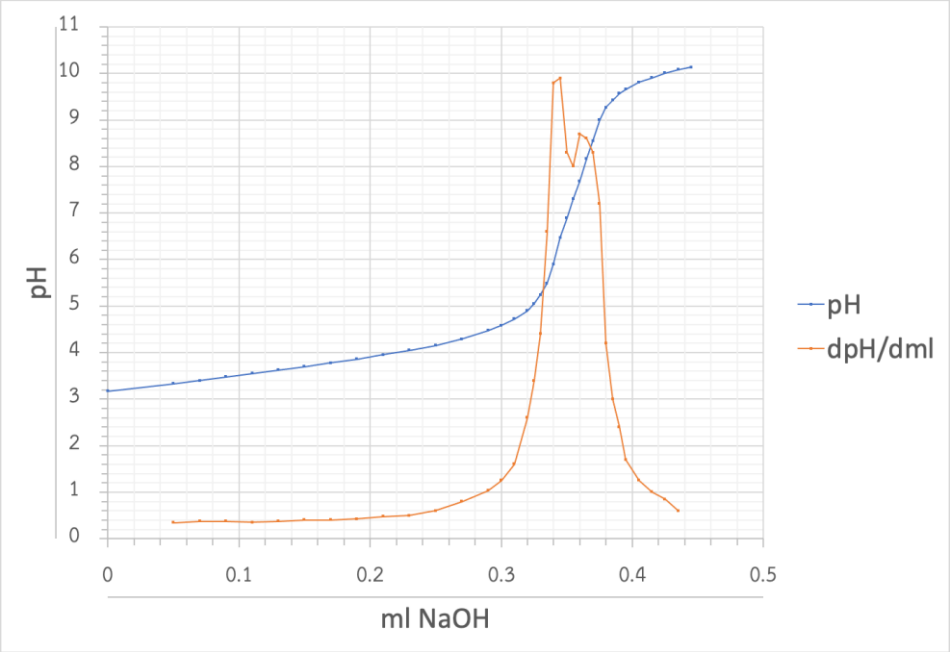
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.425 | 9.75 | 14 |
| 0.43 | 9.82 | 12.6666667 |
| 0.44 | 9.92 | 9.5 |
| 0.45 | 10.01 | 8.16666667 |
| 0.47 | 10.14 | 5.5 |
| 0.49 | 10.23 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1082 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.32** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2149 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 13.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00100 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03409 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 15.86 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.2302 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 16.10 %wt |

**ตารางที่ ฉ.32** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 3 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.17 | |
| 0.05 | 3.33 | 3.41428571 |
| 0.07 | 3.4 | 3.75 |
| 0.09 | 3.48 | 3.75 |
| 0.11 | 3.55 | 3.5 |
| 0.13 | 3.62 | 3.75 |
| 0.15 | 3.7 | 4 |
| 0.17 | 3.78 | 4 |
| 0.19 | 3.86 | 4.25 |
| 0.21 | 3.95 | 4.75 |
| 0.23 | 4.05 | 5 |
| 0.25 | 4.15 | 6 |
| 0.27 | 4.29 | 8 |
| 0.29 | 4.47 | 10.3333333 |
| 0.3 | 4.58 | 12.5 |
| 0.31 | 4.72 | 16 |
| 0.32 | 4.9 | 26 |
| 0.325 | 5.05 | 34 |
| 0.33 | 5.24 | 44 |
| 0.335 | 5.49 | 66 |
| 0.34 | 5.9 | 98 |
| 0.345 | 6.47 | 99 |
| 0.35 | 6.89 | 83 |
| 0.355 | 7.3 | 80 |
| 0.36 | 7.69 | 87 |
| 0.365 | 8.17 | 86 |
| 0.37 | 8.55 | 83 |
| 0.375 | 9 | 72 |
| 0.38 | 9.27 | 42 |
| 0.385 | 9.42 | 30 |
| 0.39 | 9.57 | 24 |
| 0.395 | 9.66 | 17 |

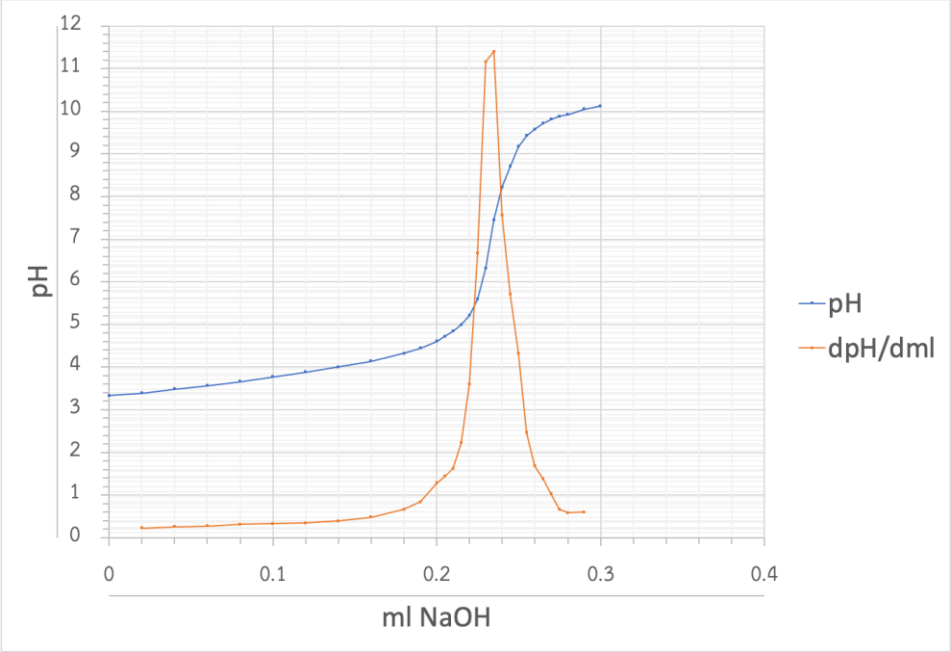
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.405 | 9.81 | 12.5 |
| 0.415 | 9.91 | 10 |
| 0.425 | 10.01 | 8.5 |
| 0.435 | 10.08 | 6 |
| 0.445 | 10.13 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 6 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1051 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.33** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 6 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 6**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2201 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 12.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00091 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03078 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 13.98 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.00 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 13.98 %wt |

**ตารางที่ ฉ.33** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 6 ของแก้วไพเร็กซ์

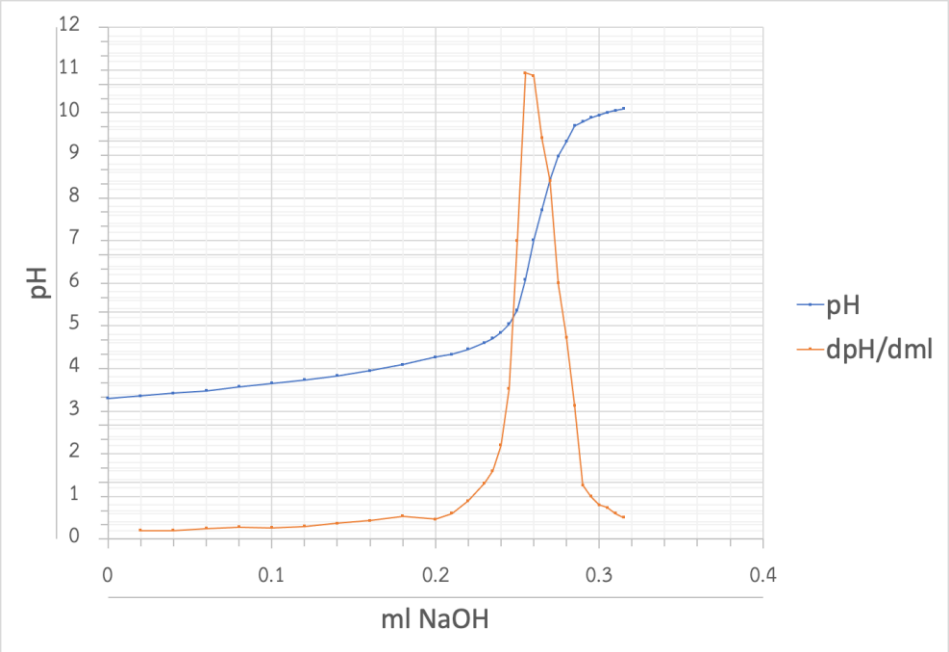
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.33 | |
| 0.02 | 3.39 | 3.75 |
| 0.04 | 3.48 | 4.25 |
| 0.06 | 3.56 | 4.5 |
| 0.08 | 3.66 | 5.25 |
| 0.1 | 3.77 | 5.5 |
| 0.12 | 3.88 | 5.75 |
| 0.14 | 4.00 | 6.5 |
| 0.16 | 4.14 | 8 |
| 0.18 | 4.32 | 11 |
| 0.19 | 4.44 | 14 |
| 0.2 | 4.60 | 21.3333333 |
| 0.205 | 4.72 | 24 |
| 0.21 | 4.84 | 27 |
| 0.215 | 4.99 | 37 |
| 0.22 | 5.21 | 60 |
| 0.225 | 5.59 | 111 |
| 0.23 | 6.32 | 186 |
| 0.235 | 7.45 | 190 |
| 0.24 | 8.22 | 126 |
| 0.245 | 8.71 | 95 |
| 0.25 | 9.17 | 72 |
| 0.255 | 9.43 | 41 |
| 0.26 | 9.58 | 28 |
| 0.265 | 9.71 | 23 |
| 0.27 | 9.81 | 17 |
| 0.275 | 9.88 | 11 |
| 0.28 | 9.92 | 9.66666667 |
| 0.29 | 10.05 | 10 |
| 0.3 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 6 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1069 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.34** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 6 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 6**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2134 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 12.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00092 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03129 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 14.66 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.00 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 14.66 %wt |

**ตารางที่ ฉ.34** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 6 ของขวด HDPE

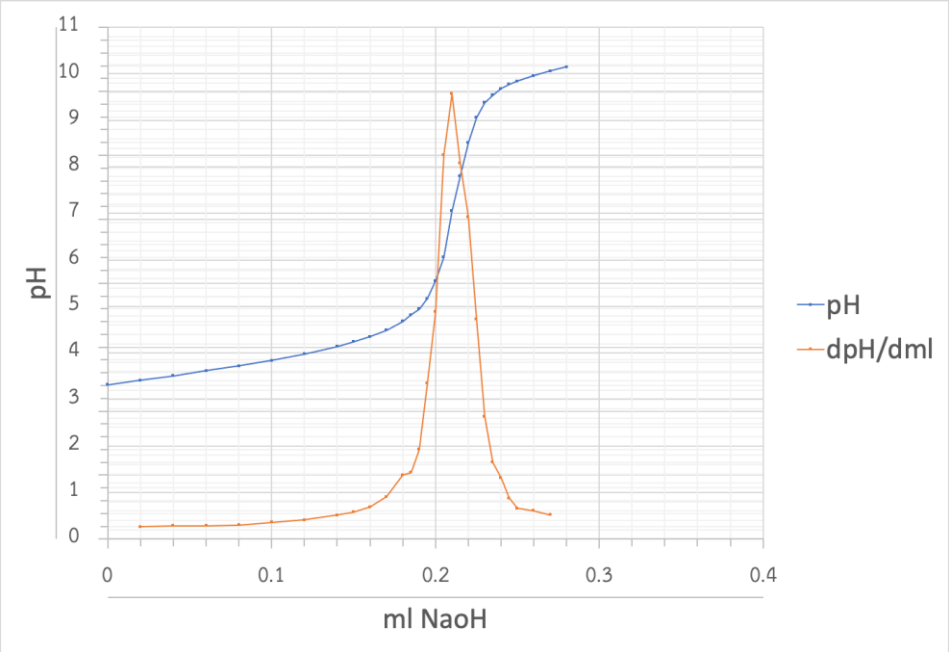
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.3 | |
| 0.02 | 3.36 | 3.00 |
| 0.04 | 3.42 | 3.00 |
| 0.06 | 3.48 | 3.75 |
| 0.08 | 3.57 | 4.25 |
| 0.1 | 3.65 | 4.00 |
| 0.12 | 3.73 | 4.50 |
| 0.14 | 3.83 | 5.50 |
| 0.16 | 3.95 | 6.50 |
| 0.18 | 4.09 | 8.00 |
| 0.2 | 4.27 | 7.00 |
| 0.21 | 4.33 | 9.00 |
| 0.22 | 4.45 | 13.50 |
| 0.23 | 4.6 | 19.67 |
| 0.235 | 4.71 | 24.00 |
| 0.24 | 4.84 | 33.00 |
| 0.245 | 5.04 | 53.00 |
| 0.25 | 5.37 | 105.00 |
| 0.255 | 6.09 | 164.00 |
| 0.26 | 7.01 | 163.00 |
| 0.265 | 7.72 | 141.00 |
| 0.27 | 8.42 | 126.00 |
| 0.275 | 8.98 | 90.00 |
| 0.28 | 9.32 | 71.00 |
| 0.285 | 9.69 | 47.00 |
| 0.29 | 9.79 | 19.00 |
| 0.295 | 9.88 | 15.00 |
| 0.3 | 9.94 | 12.00 |
| 0.305 | 10 | 11.00 |
| 0.31 | 10.05 | 9.00 |
| 0.315 | 10.09 | 7.61 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ในวันที่ 6 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1049 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.35** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 6 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 6**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2128 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 10.6 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02991 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00079 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.02696 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 12.67 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.00 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 12.67 %wt |

**ตารางที่ ฉ.35** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 6 ของขวด PP

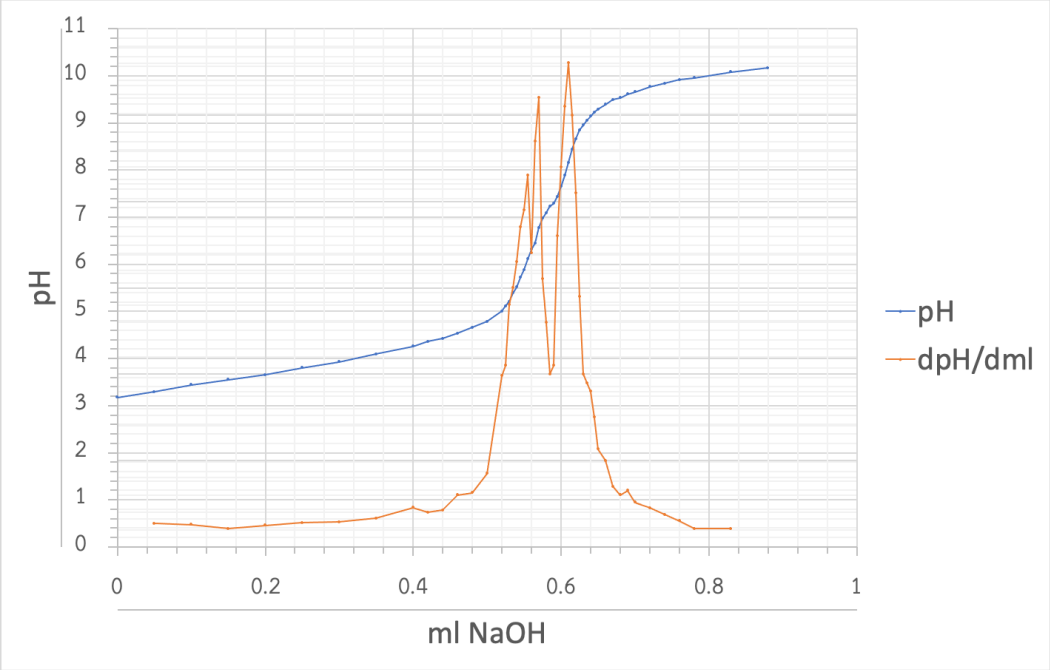
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.32 | |
| 0.02 | 3.41 | 4.75 |
| 0.04 | 3.51 | 5.25 |
| 0.06 | 3.62 | 5.25 |
| 0.08 | 3.72 | 5.5 |
| 0.1 | 3.84 | 6.5 |
| 0.12 | 3.98 | 7.5 |
| 0.14 | 4.14 | 9.33333333 |
| 0.15 | 4.24 | 10.5 |
| 0.16 | 4.35 | 12.5 |
| 0.17 | 4.49 | 16.5 |
| 0.18 | 4.68 | 25 |
| 0.185 | 4.82 | 26 |
| 0.19 | 4.94 | 35 |
| 0.195 | 5.17 | 61 |
| 0.2 | 5.55 | 89 |
| 0.205 | 6.06 | 150 |
| 0.21 | 7.05 | 174 |
| 0.215 | 7.8 | 147 |
| 0.22 | 8.52 | 126 |
| 0.225 | 9.06 | 86 |
| 0.23 | 9.38 | 48 |
| 0.235 | 9.54 | 30 |
| 0.24 | 9.68 | 24 |
| 0.245 | 9.78 | 16 |
| 0.25 | 9.84 | 12 |
| 0.26 | 9.96 | 11 |
| 0.27 | 10.06 | 9.5 |
| 0.28 | 10.15 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 10 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1148 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.36** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 10 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2248 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 26.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02927 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00191 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.06497 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 28.90 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.7956 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 29.70 %wt |

**ตารางที่ ฉ.36** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

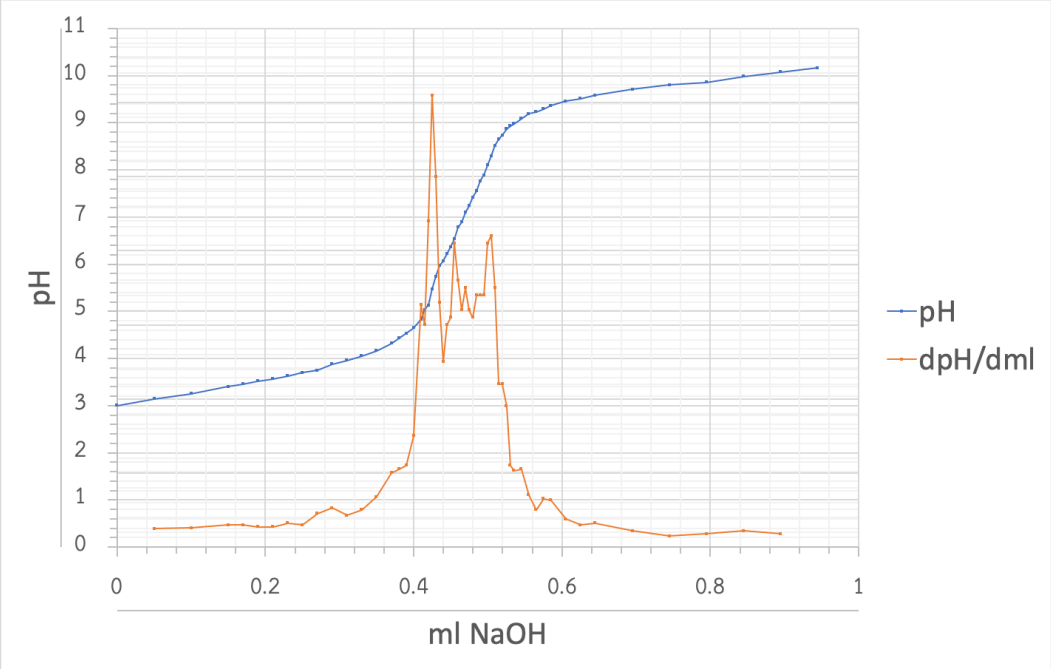
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.17 | |
| 0.05 | 3.29 | 2.7 |
| 0.1 | 3.44 | 2.6 |
| 0.15 | 3.55 | 2.1 |
| 0.2 | 3.65 | 2.5 |
| 0.25 | 3.8 | 2.8 |
| 0.3 | 3.93 | 2.9 |
| 0.35 | 4.09 | 3.3 |
| 0.4 | 4.26 | 4.54285714 |
| 0.42 | 4.36 | 4 |
| 0.44 | 4.42 | 4.25 |
| 0.46 | 4.53 | 6 |
| 0.48 | 4.66 | 6.25 |
| 0.5 | 4.78 | 8.5 |
| 0.52 | 5 | 19.8 |
| 0.525 | 5.11 | 21 |
| 0.53 | 5.21 | 28 |
| 0.535 | 5.39 | 30 |
| 0.54 | 5.51 | 33 |
| 0.545 | 5.72 | 37 |
| 0.55 | 5.88 | 39 |
| 0.555 | 6.11 | 43 |
| 0.56 | 6.31 | 34 |
| 0.565 | 6.45 | 47 |
| 0.57 | 6.78 | 52 |
| 0.575 | 6.97 | 31 |
| 0.58 | 7.09 | 26 |
| 0.585 | 7.23 | 20 |
| 0.59 | 7.29 | 21 |
| 0.595 | 7.44 | 36 |
| 0.6 | 7.65 | 44 |
| 0.605 | 7.88 | 51 |
| 0.61 | 8.16 | 56 |
| 0.615 | 8.44 | 50 |
| 0.62 | 8.66 | 41 |
| 0.625 | 8.85 | 29 |
| 0.63 | 8.95 | 20 |
| 0.635 | 9.05 | 19 |
| 0.64 | 9.14 | 18 |
| 0.645 | 9.23 | 15 |
| 0.65 | 9.29 | 11.3333333 |
| 0.66 | 9.39 | 10 |
| 0.67 | 9.49 | 7 |
| 0.68 | 9.53 | 6 |
| 0.69 | 9.61 | 6.5 |
| 0.7 | 9.66 | 5.16666667 |
| 0.72 | 9.77 | 4.5 |
| 0.74 | 9.84 | 3.75 |
| 0.76 | 9.92 | 3 |
| 0.78 | 9.96 | 2.11428571 |
| 0.83 | 10.08 | 2.1 |
| 0.88 | 10.17 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 60 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1101 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.37** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 60 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2404 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 27.2 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02927 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00199 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.06771 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 28.17 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.207 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 29.37 %wt |

**ตารางที่ ฉ.37** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3 | |
| 0.05 | 3.14 | 2.5 |
| 0.1 | 3.25 | 2.6 |
| 0.15 | 3.4 | 3 |
| 0.17 | 3.46 | 3 |
| 0.19 | 3.52 | 2.75 |
| 0.21 | 3.57 | 2.75 |
| 0.23 | 3.63 | 3.25 |
| 0.25 | 3.7 | 3 |
| 0.27 | 3.75 | 4.5 |
| 0.29 | 3.88 | 5.25 |
| 0.31 | 3.96 | 4.25 |
| 0.33 | 4.05 | 5 |
| 0.35 | 4.16 | 6.75 |
| 0.37 | 4.32 | 10 |
| 0.38 | 4.43 | 10.5 |
| 0.39 | 4.53 | 11 |
| 0.4 | 4.65 | 15 |
| 0.41 | 4.83 | 32.6666667 |
| 0.415 | 5.03 | 30 |
| 0.42 | 5.13 | 44 |
| 0.425 | 5.47 | 61 |
| 0.43 | 5.74 | 50 |
| 0.435 | 5.97 | 33 |
| 0.44 | 6.07 | 25 |
| 0.445 | 6.22 | 30 |
| 0.45 | 6.37 | 31 |
| 0.455 | 6.53 | 41 |
| 0.46 | 6.78 | 36 |

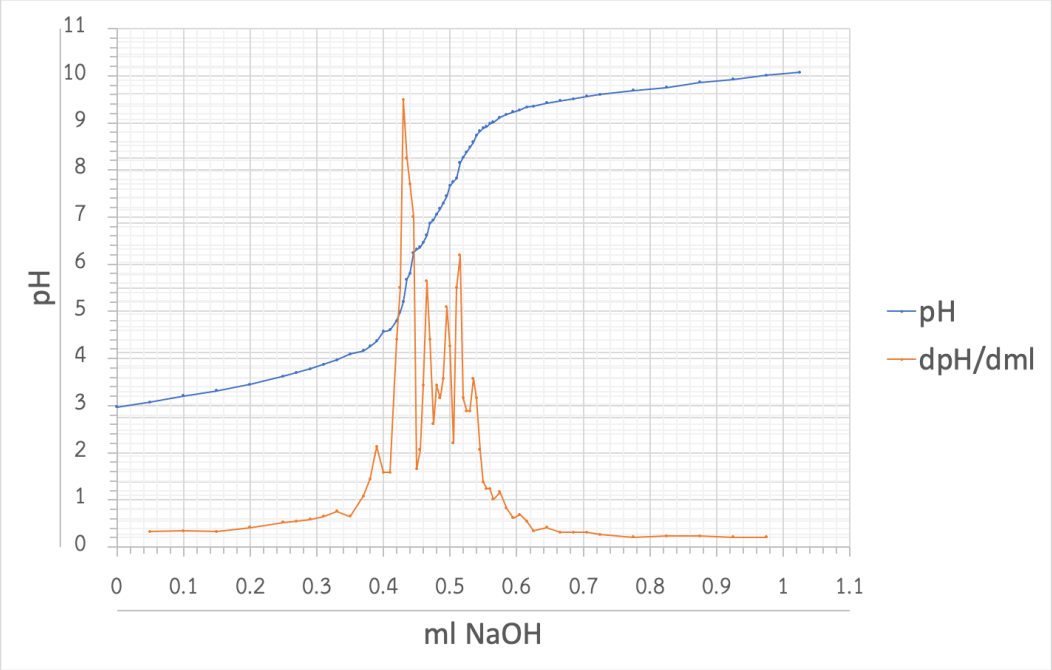
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.465 | 6.89 | 32 |
| 0.47 | 7.1 | 35 |
| 0.475 | 7.24 | 32 |
| 0.48 | 7.42 | 31 |
| 0.485 | 7.55 | 34 |
| 0.49 | 7.76 | 34 |
| 0.495 | 7.89 | 34 |
| 0.5 | 8.1 | 41 |
| 0.505 | 8.3 | 42 |
| 0.51 | 8.52 | 35 |
| 0.515 | 8.65 | 22 |
| 0.52 | 8.74 | 22 |
| 0.525 | 8.87 | 19 |
| 0.53 | 8.93 | 11 |
| 0.535 | 8.98 | 10.3333333 |
| 0.545 | 9.09 | 10.5 |
| 0.555 | 9.19 | 7 |
| 0.565 | 9.23 | 5 |
| 0.575 | 9.29 | 6.5 |
| 0.585 | 9.36 | 6.33333333 |
| 0.605 | 9.46 | 3.75 |
| 0.625 | 9.51 | 3 |
| 0.645 | 9.58 | 3.24285714 |
| 0.695 | 9.71 | 2.2 |
| 0.745 | 9.8 | 1.5 |
| 0.795 | 9.86 | 1.8 |
| 0.845 | 9.98 | 2.2 |
| 0.895 | 10.08 | 1.8 |
| 0.945 | 10.16 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 90 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1218 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.38** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 90 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2157 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 24.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02927 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00178 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.06074 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 28.16 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.159 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 29.32 %wt |

**ตารางที่ ฉ.38** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.97 | |
| 0.05 | 3.07 | 2.4 |
| 0.1 | 3.21 | 2.5 |
| 0.15 | 3.32 | 2.4 |
| 0.2 | 3.45 | 3 |
| 0.25 | 3.62 | 3.82857143 |
| 0.27 | 3.7 | 4 |
| 0.29 | 3.78 | 4.25 |
| 0.31 | 3.87 | 4.75 |
| 0.33 | 3.97 | 5.5 |
| 0.35 | 4.09 | 4.75 |
| 0.37 | 4.16 | 7.83333333 |
| 0.38 | 4.26 | 10.5 |
| 0.39 | 4.37 | 15.5 |
| 0.4 | 4.57 | 11.5 |
| 0.41 | 4.6 | 11.5 |
| 0.42 | 4.8 | 32 |
| 0.425 | 4.99 | 40 |
| 0.43 | 5.2 | 69 |
| 0.435 | 5.68 | 60 |
| 0.44 | 5.8 | 56 |
| 0.445 | 6.24 | 51 |
| 0.45 | 6.31 | 12 |
| 0.455 | 6.36 | 15 |
| 0.46 | 6.46 | 25 |
| 0.465 | 6.61 | 41 |
| 0.47 | 6.87 | 32 |
| 0.475 | 6.93 | 19 |
| 0.48 | 7.06 | 25 |
| 0.485 | 7.18 | 23 |
| 0.49 | 7.29 | 26 |
| 0.495 | 7.44 | 37 |

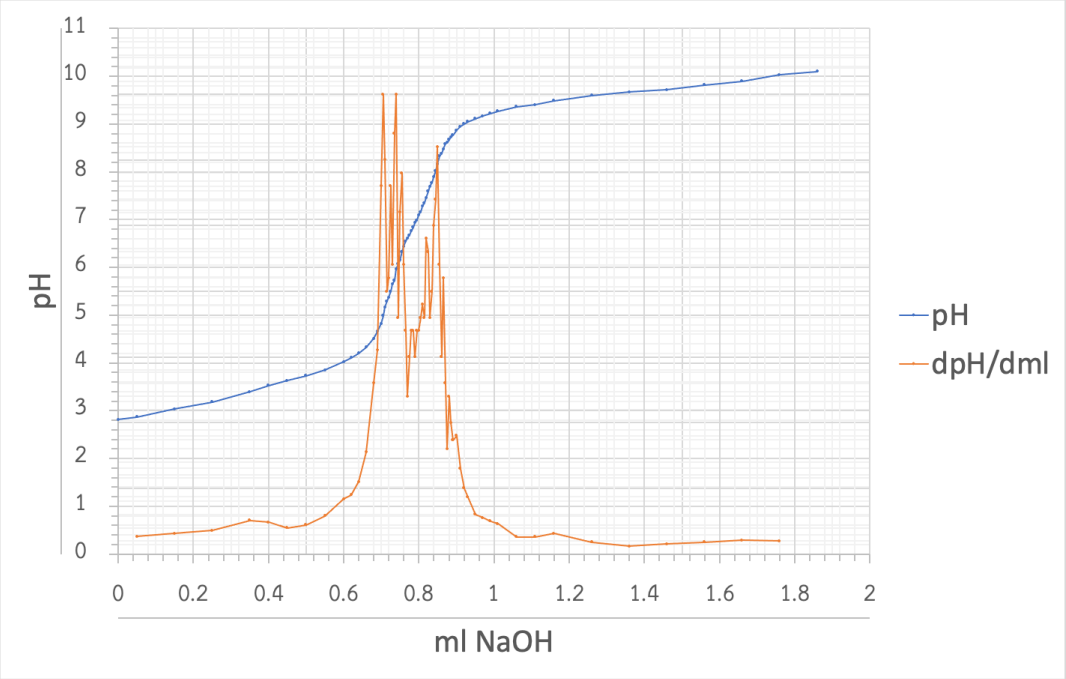
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.5 | 7.66 | 31 |
| 0.505 | 7.75 | 16 |
| 0.51 | 7.82 | 40 |
| 0.515 | 8.15 | 45 |
| 0.52 | 8.27 | 23 |
| 0.525 | 8.38 | 21 |
| 0.53 | 8.48 | 21 |
| 0.535 | 8.59 | 26 |
| 0.54 | 8.74 | 23 |
| 0.545 | 8.82 | 15 |
| 0.55 | 8.89 | 10 |
| 0.555 | 8.92 | 9 |
| 0.56 | 8.98 | 9 |
| 0.565 | 9.01 | 7.33333333 |
| 0.575 | 9.11 | 8.5 |
| 0.585 | 9.18 | 6 |
| 0.595 | 9.23 | 4.5 |
| 0.605 | 9.27 | 5 |
| 0.615 | 9.33 | 4 |
| 0.625 | 9.35 | 2.5 |
| 0.645 | 9.42 | 3 |
| 0.665 | 9.47 | 2.25 |
| 0.685 | 9.51 | 2.25 |
| 0.705 | 9.56 | 2.25 |
| 0.725 | 9.6 | 1.94285714 |
| 0.775 | 9.69 | 1.5 |
| 0.825 | 9.75 | 1.7 |
| 0.875 | 9.86 | 1.7 |
| 0.925 | 9.92 | 1.5 |
| 0.975 | 10.01 | 1.5 |
| 1.025 | 10.07 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 120 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.2050 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.39** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 เวลา 120 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2220 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 25.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02927 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00185 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.06298 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 28.37 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.01 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 29.38 %wt |

**ตารางที่ ฉ.39** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH วันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

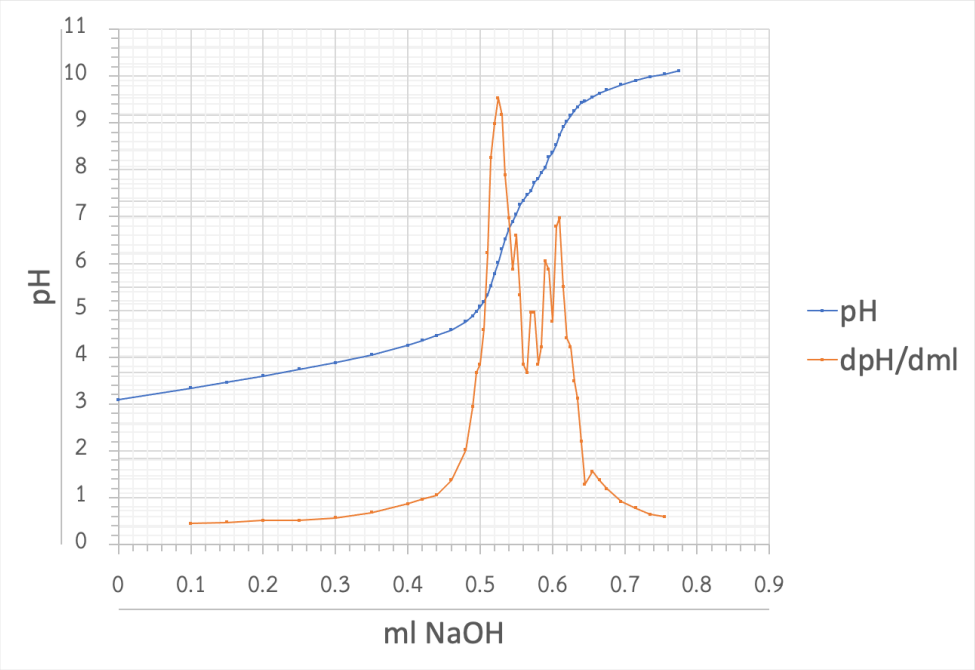
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.81 | |
| 0.05 | 2.87 | 1.33333333 |
| 0.15 | 3.03 | 1.55 |
| 0.25 | 3.18 | 1.8 |
| 0.35 | 3.39 | 2.56666667 |
| 0.4 | 3.53 | 2.4 |
| 0.45 | 3.63 | 2 |
| 0.5 | 3.73 | 2.2 |
| 0.55 | 3.85 | 2.9 |
| 0.6 | 4.02 | 4.18571429 |
| 0.62 | 4.11 | 4.5 |
| 0.64 | 4.2 | 5.5 |
| 0.66 | 4.33 | 7.75 |
| 0.68 | 4.51 | 13 |
| 0.69 | 4.66 | 15.5 |
| 0.7 | 4.82 | 28 |
| 0.705 | 4.99 | 35 |
| 0.71 | 5.17 | 30 |
| 0.715 | 5.29 | 20 |
| 0.72 | 5.37 | 21 |
| 0.725 | 5.5 | 28 |
| 0.73 | 5.65 | 22 |
| 0.735 | 5.72 | 32 |
| 0.74 | 5.97 | 35 |
| 0.745 | 6.07 | 18 |
| 0.75 | 6.15 | 26 |
| 0.755 | 6.33 | 29 |
| 0.76 | 6.44 | 22 |
| 0.765 | 6.55 | 17 |
| 0.77 | 6.61 | 12 |
| 0.775 | 6.67 | 15 |
| 0.78 | 6.76 | 17 |
| 0.785 | 6.84 | 17 |
| 0.79 | 6.93 | 15 |
| 0.795 | 6.99 | 17 |
| 0.8 | 7.1 | 17 |
| 0.805 | 7.16 | 18 |
| 0.81 | 7.28 | 19 |
| 0.815 | 7.35 | 18 |
| 0.82 | 7.46 | 24 |
| 0.825 | 7.59 | 23 |
| 0.83 | 7.69 | 18 |
| 0.835 | 7.77 | 20 |
| 0.84 | 7.89 | 25 |
| 0.845 | 8.02 | 27 |
| 0.85 | 8.16 | 31 |
| 0.855 | 8.33 | 22 |
| 0.86 | 8.38 | 15 |
| 0.865 | 8.48 | 21 |
| 0.87 | 8.59 | 13 |
| 0.875 | 8.61 | 8 |
| 0.88 | 8.67 | 12 |
| 0.885 | 8.73 | 10 |
| 0.89 | 8.77 | 8.66666667 |
| 0.9 | 8.87 | 9 |
| 0.91 | 8.95 | 6.5 |
| 0.92 | 9 | 5 |
| 0.93 | 9.05 | 4.33333333 |
| 0.95 | 9.11 | 3 |
| 0.97 | 9.17 | 2.75 |
| 0.99 | 9.22 | 2.5 |
| 1.01 | 9.27 | 2.3 |
| 1.06 | 9.36 | 1.3 |
| 1.11 | 9.4 | 1.3 |
| 1.16 | 9.49 | 1.56666667 |
| 1.26 | 9.6 | 0.9 |
| 1.36 | 9.67 | 0.6 |
| 1.46 | 9.72 | 0.75 |
| 1.56 | 9.82 | 0.9 |
| 1.66 | 9.9 | 1.05 |
| 1.76 | 10.03 | 1 |
| 1.86 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.2116 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.40** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2276 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 23.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02867 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00168 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05705 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 25.07 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.5101 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 25.58 %wt |

**ตารางที่ ฉ.40** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.09 | |
| 0.1 | 3.34 | 2.43333333 |
| 0.15 | 3.46 | 2.6 |
| 0.2 | 3.6 | 2.8 |
| 0.25 | 3.74 | 2.8 |
| 0.3 | 3.88 | 3.1 |
| 0.35 | 4.05 | 3.7 |
| 0.4 | 4.25 | 4.71428571 |
| 0.42 | 4.35 | 5.25 |
| 0.44 | 4.46 | 5.75 |
| 0.46 | 4.58 | 7.5 |
| 0.48 | 4.76 | 11 |
| 0.49 | 4.88 | 16 |
| 0.495 | 4.97 | 20 |
| 0.5 | 5.08 | 21 |
| 0.505 | 5.18 | 25 |
| 0.51 | 5.33 | 34 |
| 0.515 | 5.52 | 45 |
| 0.52 | 5.78 | 49 |
| 0.525 | 6.01 | 52 |
| 0.53 | 6.3 | 50 |
| 0.535 | 6.51 | 43 |
| 0.54 | 6.73 | 38 |
| 0.545 | 6.89 | 32 |
| 0.55 | 7.05 | 36 |
| 0.555 | 7.25 | 29 |
| 0.56 | 7.34 | 21 |
| 0.565 | 7.46 | 20 |
| 0.57 | 7.54 | 27 |
| 0.575 | 7.73 | 27 |

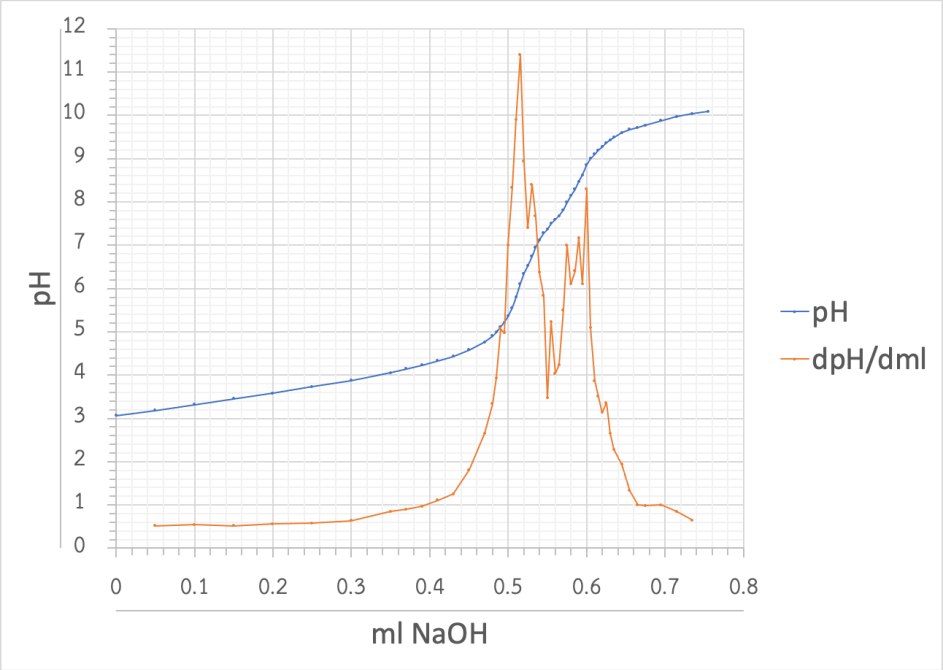
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.58 | 7.81 | 21 |
| 0.585 | 7.94 | 23 |
| 0.59 | 8.04 | 33 |
| 0.595 | 8.27 | 32 |
| 0.6 | 8.36 | 26 |
| 0.605 | 8.53 | 37 |
| 0.61 | 8.73 | 38 |
| 0.615 | 8.91 | 30 |
| 0.62 | 9.03 | 24 |
| 0.625 | 9.15 | 23 |
| 0.63 | 9.26 | 19 |
| 0.635 | 9.34 | 17 |
| 0.64 | 9.43 | 12 |
| 0.645 | 9.46 | 7 |
| 0.655 | 9.55 | 8.5 |
| 0.665 | 9.63 | 7.5 |
| 0.675 | 9.7 | 6.5 |
| 0.695 | 9.81 | 5 |
| 0.715 | 9.9 | 4.25 |
| 0.735 | 9.98 | 3.5 |
| 0.755 | 10.04 | 3.25 |
| 0.775 | 10.11 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.2171 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.41** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2254 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 22.9 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02867 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00164 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05583 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 24.77 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.4590 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 25.23 %wt |

**ตารางที่ ฉ.41** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 1 ของขวด HDPE

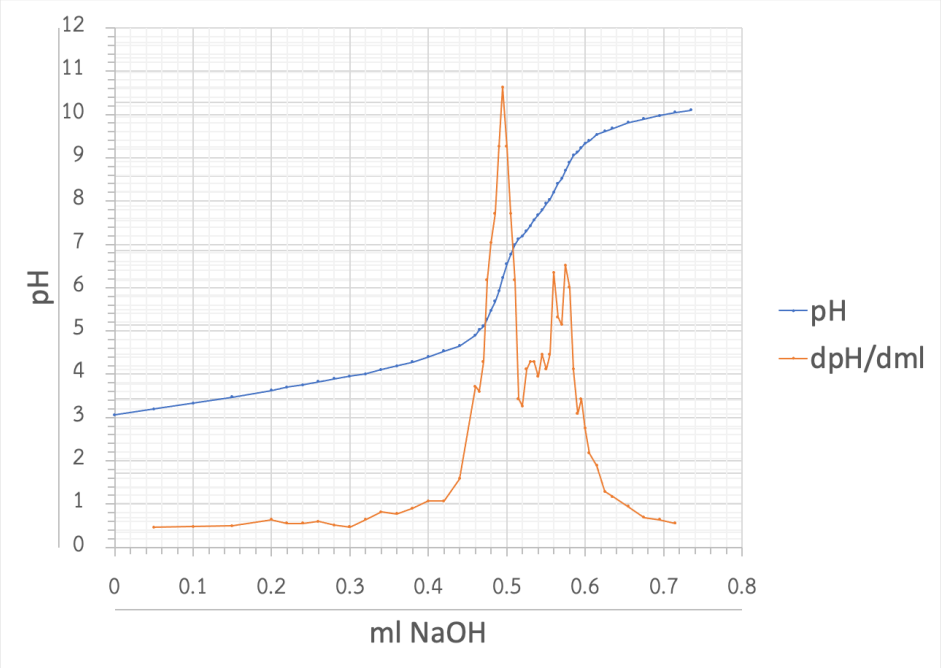
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.06 | |
| 0.05 | 3.18 | 2.6 |
| 0.1 | 3.32 | 2.7 |
| 0.15 | 3.45 | 2.6 |
| 0.2 | 3.58 | 2.8 |
| 0.25 | 3.73 | 2.9 |
| 0.3 | 3.87 | 3.2 |
| 0.35 | 4.05 | 4.24285714 |
| 0.37 | 4.14 | 4.5 |
| 0.39 | 4.23 | 4.83333333 |
| 0.41 | 4.33 | 5.54166667 |
| 0.43 | 4.43 | 6.25714286 |
| 0.45 | 4.58 | 9.03246753 |
| 0.47 | 4.76 | 13.25 |
| 0.48 | 4.9 | 16.6666667 |
| 0.485 | 4.99 | 19.6666667 |
| 0.49 | 5.11 | 25.3333333 |
| 0.495 | 5.21 | 24.8333333 |
| 0.5 | 5.36 | 35 |
| 0.505 | 5.55 | 41.6666667 |
| 0.51 | 5.8 | 49.5 |
| 0.515 | 6.11 | 57 |
| 0.52 | 6.34 | 44.6666667 |
| 0.525 | 6.52 | 37 |
| 0.53 | 6.74 | 42 |
| 0.535 | 6.95 | 38.3333333 |
| 0.54 | 7.12 | 31.8333333 |
| 0.545 | 7.28 | 29.1666667 |
| 0.55 | 7.36 | 17.3333333 |
| 0.555 | 7.5 | 26.1666667 |
| 0.56 | 7.59 | 20.1666667 |
| 0.565 | 7.68 | 21.1666667 |
| 0.57 | 7.81 | 27.5 |
| 0.575 | 7.99 | 35 |
| 0.58 | 8.14 | 30.5 |
| 0.585 | 8.29 | 32 |
| 0.59 | 8.47 | 35.8333333 |
| 0.595 | 8.62 | 30.5 |
| 0.6 | 8.86 | 41.5 |
| 0.605 | 9 | 25.5 |
| 0.61 | 9.1 | 19.3333333 |
| 0.615 | 9.19 | 17.5 |
| 0.62 | 9.27 | 15.6666667 |
| 0.625 | 9.36 | 16.8 |
| 0.63 | 9.43 | 13.2666667 |
| 0.635 | 9.49 | 11.3809524 |
| 0.645 | 9.6 | 9.66666667 |
| 0.655 | 9.67 | 6.65 |
| 0.665 | 9.72 | 5 |
| 0.675 | 9.77 | 4.92857143 |
| 0.695 | 9.88 | 5 |
| 0.715 | 9.97 | 4.22822861 |
| 0.735 | 10.04 | 3.215808 |
| 0.755 | 10.09 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.2111 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.42** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2247 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 22.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02867 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00163 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.0556 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 24.74 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.5113 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 25.25 %wt |

ตารางที่ ฉ.42 ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 1 ของขวด PP

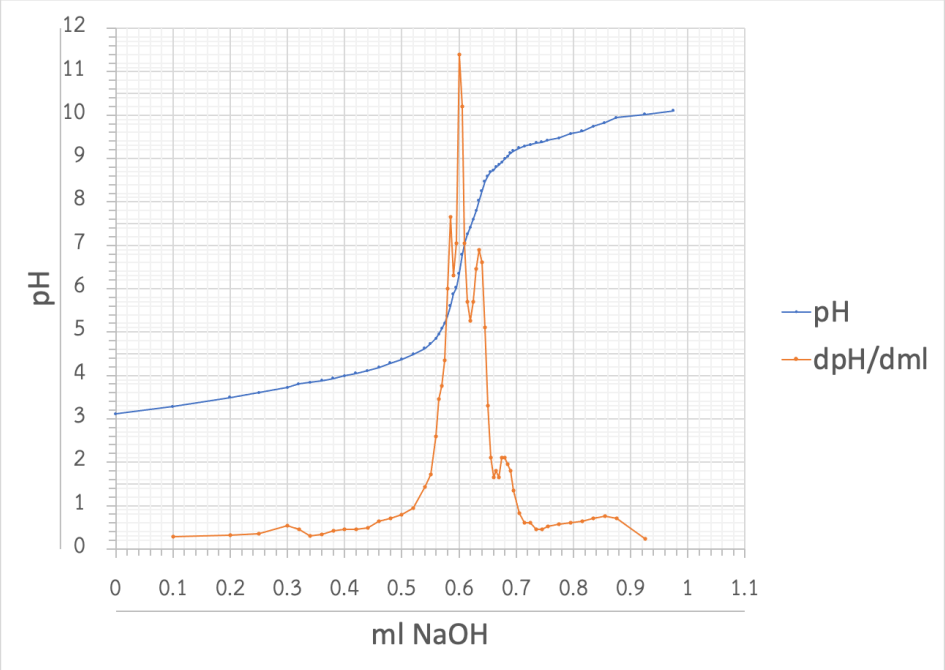
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.06 | |
| 0.05 | 3.19 | 2.7 |
| 0.1 | 3.33 | 2.8 |
| 0.15 | 3.47 | 2.9 |
| 0.2 | 3.62 | 3.71428571 |
| 0.22 | 3.7 | 3.25 |
| 0.24 | 3.75 | 3.25 |
| 0.26 | 3.83 | 3.5 |
| 0.28 | 3.89 | 3 |
| 0.3 | 3.95 | 2.75 |
| 0.32 | 4 | 3.75 |
| 0.34 | 4.1 | 4.75 |
| 0.36 | 4.19 | 4.5 |
| 0.38 | 4.28 | 5.25 |
| 0.4 | 4.4 | 6.25 |
| 0.42 | 4.53 | 6.25 |
| 0.44 | 4.65 | 9.25 |
| 0.46 | 4.9 | 21.7 |
| 0.465 | 5.02 | 21 |
| 0.47 | 5.11 | 25 |
| 0.475 | 5.27 | 36 |
| 0.48 | 5.47 | 41 |
| 0.485 | 5.68 | 45 |
| 0.49 | 5.92 | 54 |
| 0.495 | 6.22 | 62 |
| 0.5 | 6.54 | 54 |
| 0.505 | 6.76 | 45 |
| 0.51 | 6.99 | 36 |
| 0.515 | 7.12 | 20 |
| 0.52 | 7.19 | 19 |
| 0.525 | 7.31 | 24 |
| 0.53 | 7.43 | 25 |
| 0.535 | 7.56 | 25 |
| 0.54 | 7.68 | 23 |
| 0.545 | 7.79 | 26 |
| 0.55 | 7.94 | 24 |
| 0.555 | 8.03 | 26 |
| 0.56 | 8.2 | 37 |
| 0.565 | 8.4 | 31 |
| 0.57 | 8.51 | 30 |
| 0.575 | 8.7 | 38 |
| 0.58 | 8.89 | 35 |
| 0.585 | 9.05 | 24 |
| 0.59 | 9.13 | 18 |
| 0.595 | 9.23 | 20 |
| 0.6 | 9.33 | 16 |
| 0.605 | 9.39 | 12.6666667 |
| 0.615 | 9.53 | 11 |
| 0.625 | 9.61 | 7.5 |
| 0.635 | 9.68 | 6.83333333 |
| 0.655 | 9.81 | 5.5 |
| 0.675 | 9.9 | 4 |
| 0.695 | 9.97 | 3.75 |
| 0.715 | 10.05 | 3.25 |
| 0.735 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3250 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.43** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2195 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 19.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00142 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04831 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 22.01 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.2419 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 22.25 %wt |

**ตารางที่ ฉ.43** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 3 ของแก้วไพเร็กซ์

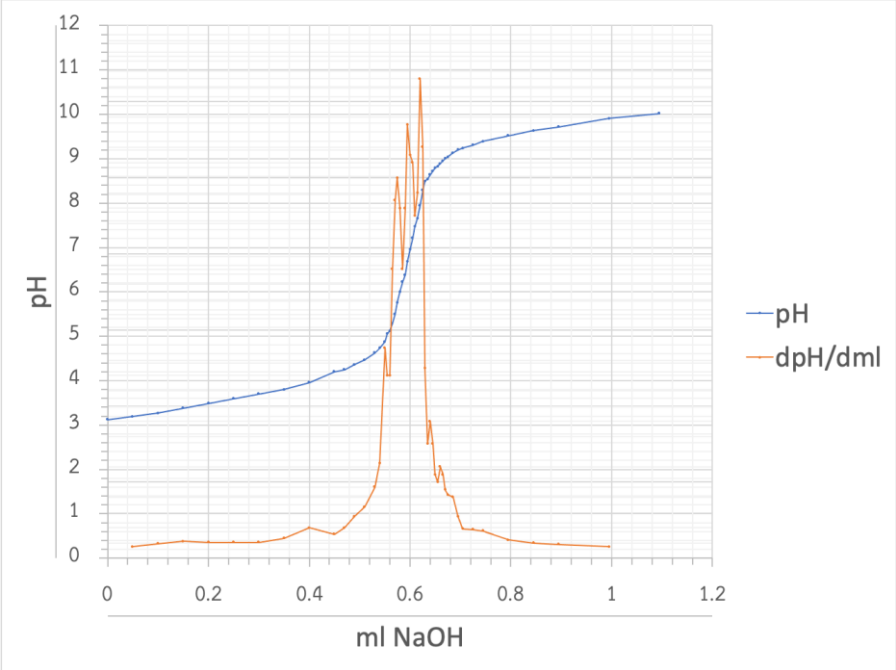
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.11 | |
| 0.1 | 3.28 | 1.9 |
| 0.2 | 3.49 | 2.16666667 |
| 0.25 | 3.6 | 2.3 |
| 0.3 | 3.72 | 3.54285714 |
| 0.32 | 3.8 | 3 |
| 0.34 | 3.84 | 2 |
| 0.36 | 3.88 | 2.25 |
| 0.38 | 3.93 | 2.75 |
| 0.4 | 3.99 | 3 |
| 0.42 | 4.05 | 3 |
| 0.44 | 4.11 | 3.25 |
| 0.46 | 4.18 | 4.25 |
| 0.48 | 4.28 | 4.75 |
| 0.5 | 4.37 | 5.25 |
| 0.52 | 4.49 | 6.25 |
| 0.54 | 4.62 | 9.5 |
| 0.55 | 4.73 | 11.5 |
| 0.56 | 4.85 | 17.3333333 |
| 0.565 | 4.95 | 23 |
| 0.57 | 5.08 | 25 |
| 0.575 | 5.2 | 29 |
| 0.58 | 5.37 | 40 |
| 0.585 | 5.6 | 51 |
| 0.59 | 5.88 | 42 |
| 0.595 | 6.02 | 47 |
| 0.6 | 6.35 | 76 |
| 0.605 | 6.78 | 68 |
| 0.61 | 7.03 | 47 |
| 0.615 | 7.25 | 38 |
| 0.62 | 7.41 | 35 |
| 0.625 | 7.6 | 38 |
| 0.63 | 7.79 | 43 |
| 0.635 | 8.03 | 46 |
| 0.64 | 8.25 | 44 |
| 0.645 | 8.47 | 34 |
| 0.65 | 8.59 | 22 |
| 0.655 | 8.69 | 14 |
| 0.66 | 8.73 | 11 |
| 0.665 | 8.8 | 12 |
| 0.67 | 8.85 | 11 |
| 0.675 | 8.91 | 14 |
| 0.68 | 8.99 | 14 |
| 0.685 | 9.05 | 13 |
| 0.69 | 9.12 | 12 |
| 0.695 | 9.17 | 9 |
| 0.705 | 9.24 | 5.5 |
| 0.715 | 9.28 | 4 |
| 0.725 | 9.32 | 4 |
| 0.735 | 9.36 | 3 |
| 0.745 | 9.38 | 3 |
| 0.755 | 9.42 | 3.5 |
| 0.775 | 9.47 | 3.75 |
| 0.795 | 9.57 | 4 |
| 0.815 | 9.63 | 4.25 |
| 0.835 | 9.74 | 4.75 |
| 0.855 | 9.82 | 5 |
| 0.875 | 9.94 | 4.74285714 |
| 0.925 | 10.02 | 1.6 |
| 0.975 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3274 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.44** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2280 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 19.9 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00146 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04956 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 21.74 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.2161 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 21.95 %wt |

**ตารางที่ ฉ.44** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 3 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.12 | |
| 0.05 | 3.19 | 1.5 |
| 0.1 | 3.27 | 1.9 |
| 0.15 | 3.38 | 2.2 |
| 0.2 | 3.49 | 2.1 |
| 0.25 | 3.59 | 2.1 |
| 0.3 | 3.7 | 2.1 |
| 0.35 | 3.8 | 2.6 |
| 0.4 | 3.96 | 4 |
| 0.45 | 4.2 | 3.15714286 |
| 0.47 | 4.25 | 4 |
| 0.49 | 4.36 | 5.5 |
| 0.51 | 4.47 | 6.75 |
| 0.53 | 4.63 | 9.33333333 |
| 0.54 | 4.73 | 12.5 |
| 0.55 | 4.88 | 27.6666667 |
| 0.555 | 5.05 | 24 |
| 0.56 | 5.12 | 24 |
| 0.565 | 5.29 | 38 |
| 0.57 | 5.5 | 47 |
| 0.575 | 5.76 | 50 |
| 0.58 | 6 | 46 |
| 0.585 | 6.22 | 38 |
| 0.59 | 6.38 | 46 |
| 0.595 | 6.68 | 57 |
| 0.6 | 6.95 | 53 |
| 0.605 | 7.21 | 52 |
| 0.61 | 7.47 | 45 |
| 0.615 | 7.66 | 48 |
| 0.62 | 7.95 | 63 |

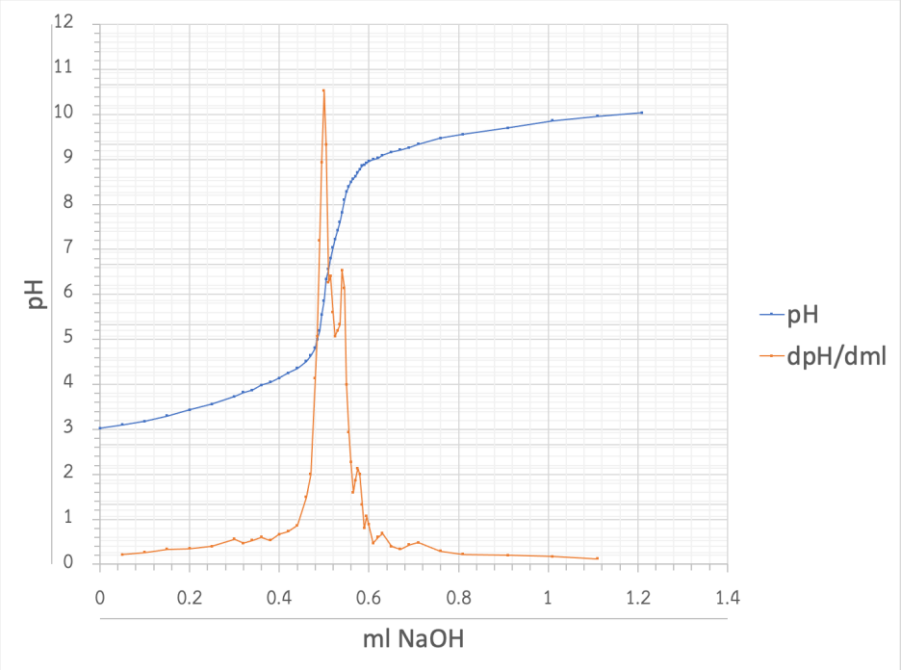
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.625 | 8.29 | 54 |
| 0.63 | 8.49 | 25 |
| 0.635 | 8.54 | 15 |
| 0.64 | 8.64 | 18 |
| 0.645 | 8.72 | 15 |
| 0.65 | 8.79 | 11 |
| 0.655 | 8.83 | 10 |
| 0.66 | 8.89 | 12 |
| 0.665 | 8.95 | 11 |
| 0.67 | 9 | 9 |
| 0.675 | 9.04 | 8.33333333 |
| 0.685 | 9.13 | 8 |
| 0.695 | 9.2 | 5.5 |
| 0.705 | 9.24 | 3.83333333 |
| 0.725 | 9.31 | 3.75 |
| 0.745 | 9.39 | 3.6 |
| 0.795 | 9.52 | 2.4 |
| 0.845 | 9.63 | 2 |
| 0.895 | 9.72 | 1.83333333 |
| 0.995 | 9.91 | 1.5 |
| 1.095 | 10.02 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 3 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.3290 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4622 M |




**รูปที่ ฉ.45** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 3 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 3**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2213 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 19.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02928 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00145 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04931 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 22.28 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1911 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 22.47 %wt |

**ตารางที่ ฉ.45** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 3 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.02 | |
| 0.05 | 3.1 | 1.6 |
| 0.1 | 3.18 | 2 |
| 0.15 | 3.3 | 2.5 |
| 0.2 | 3.43 | 2.6 |
| 0.25 | 3.56 | 3 |
| 0.3 | 3.73 | 4.18571429 |
| 0.32 | 3.82 | 3.5 |
| 0.34 | 3.87 | 4 |
| 0.36 | 3.98 | 4.5 |
| 0.38 | 4.05 | 4 |
| 0.4 | 4.14 | 5 |
| 0.42 | 4.25 | 5.5 |
| 0.44 | 4.36 | 6.5 |
| 0.46 | 4.51 | 11.1666667 |
| 0.47 | 4.64 | 15 |
| 0.48 | 4.81 | 31 |
| 0.485 | 5 | 38 |
| 0.49 | 5.19 | 54 |
| 0.495 | 5.54 | 67 |
| 0.5 | 5.86 | 79 |
| 0.505 | 6.33 | 70 |
| 0.51 | 6.56 | 47 |
| 0.515 | 6.8 | 48 |
| 0.52 | 7.04 | 42 |
| 0.525 | 7.22 | 38 |
| 0.53 | 7.42 | 39 |
| 0.535 | 7.61 | 40 |
| 0.54 | 7.82 | 49 |
| 0.545 | 8.1 | 46 |
| 0.55 | 8.28 | 30 |
| 0.555 | 8.4 | 22 |

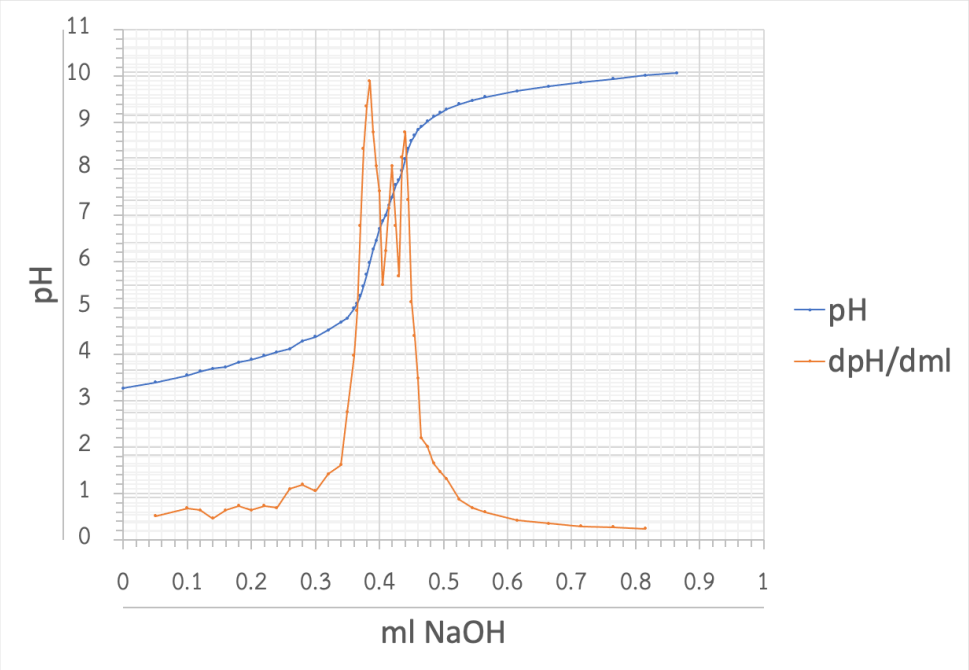
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.56 | 8.5 | 17 |
| 0.565 | 8.57 | 12 |
| 0.57 | 8.62 | 14 |
| 0.575 | 8.71 | 16 |
| 0.58 | 8.78 | 15 |
| 0.585 | 8.86 | 10 |
| 0.59 | 8.88 | 6 |
| 0.595 | 8.92 | 8 |
| 0.6 | 8.96 | 6.66666667 |
| 0.61 | 9 | 3.5 |
| 0.62 | 9.03 | 4.5 |
| 0.63 | 9.09 | 5.16666667 |
| 0.65 | 9.16 | 3 |
| 0.67 | 9.21 | 2.5 |
| 0.69 | 9.26 | 3.25 |
| 0.71 | 9.34 | 3.6 |
| 0.76 | 9.47 | 2.2 |
| 0.81 | 9.56 | 1.66666667 |
| 0.91 | 9.7 | 1.5 |
| 1.01 | 9.86 | 1.3 |
| 1.11 | 9.96 | 0.9 |
| 1.21 | 10.04 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 5 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.4848 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.46** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 5 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 5**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2215 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 19.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00141 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04782 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 21.59 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1884 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 21.78 %wt |

**ตารางที่ ฉ.46** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 5 ของแก้วไพเร็กซ์

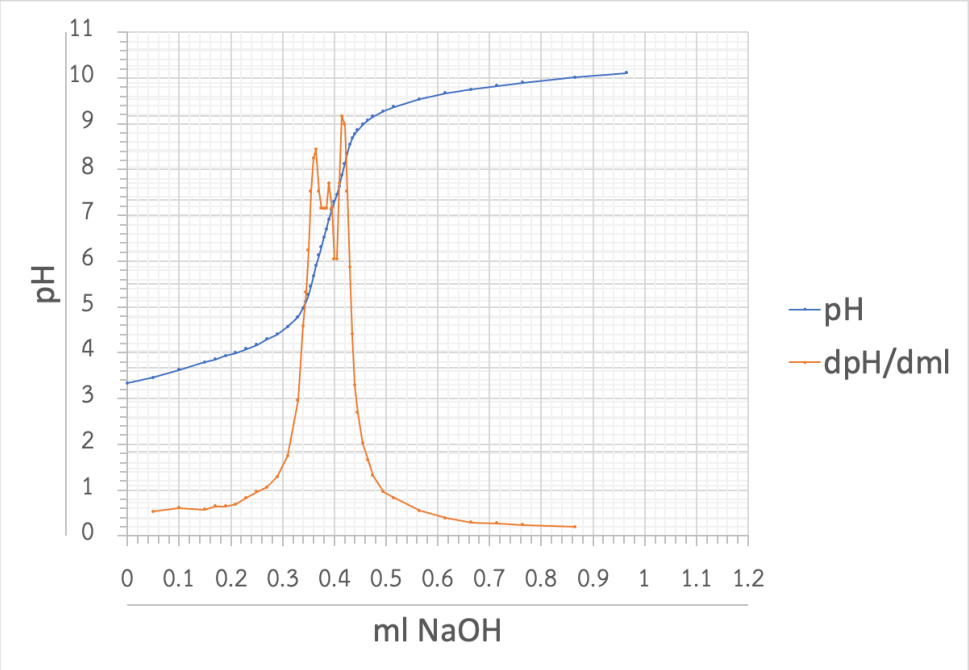
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.27 | |
| 0.05 | 3.4 | 2.8 |
| 0.1 | 3.55 | 3.71428571 |
| 0.12 | 3.63 | 3.5 |
| 0.14 | 3.69 | 2.5 |
| 0.16 | 3.73 | 3.5 |
| 0.18 | 3.83 | 4 |
| 0.2 | 3.89 | 3.5 |
| 0.22 | 3.97 | 4 |
| 0.24 | 4.05 | 3.75 |
| 0.26 | 4.12 | 6 |
| 0.28 | 4.29 | 6.5 |
| 0.3 | 4.38 | 5.75 |
| 0.32 | 4.52 | 7.75 |
| 0.34 | 4.69 | 8.83333333 |
| 0.35 | 4.78 | 15 |
| 0.36 | 4.99 | 21.6666667 |
| 0.365 | 5.1 | 27 |
| 0.37 | 5.26 | 37 |
| 0.375 | 5.47 | 46 |
| 0.38 | 5.72 | 51 |
| 0.385 | 5.98 | 54 |
| 0.39 | 6.26 | 48 |
| 0.395 | 6.46 | 44 |
| 0.4 | 6.7 | 41 |
| 0.405 | 6.87 | 30 |
| 0.41 | 7 | 34 |
| 0.415 | 7.21 | 39 |
| 0.42 | 7.39 | 44 |
| 0.425 | 7.65 | 37 |
| 0.43 | 7.76 | 31 |
| 0.435 | 7.96 | 45 |
| 0.44 | 8.21 | 48 |
| 0.445 | 8.44 | 40 |
| 0.45 | 8.61 | 28 |
| 0.455 | 8.72 | 24 |
| 0.46 | 8.85 | 19 |
| 0.465 | 8.91 | 12 |
| 0.475 | 9.03 | 11 |
| 0.485 | 9.13 | 9 |
| 0.495 | 9.21 | 8 |
| 0.505 | 9.29 | 7.16666667 |
| 0.525 | 9.4 | 4.75 |
| 0.545 | 9.48 | 3.75 |
| 0.565 | 9.55 | 3.24285714 |
| 0.615 | 9.68 | 2.3 |
| 0.665 | 9.78 | 1.9 |
| 0.715 | 9.87 | 1.6 |
| 0.765 | 9.94 | 1.5 |
| 0.815 | 10.02 | 1.3 |
| 0.865 | 10.07 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 5 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.4802 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.47** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 5 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 5**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2211 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 18.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00131 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04462 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 20.18 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1730 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 20.35 %wt |

**ตารางที่ ฉ.47** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 5 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.33 | |
| 0.05 | 3.46 | 2.9 |
| 0.1 | 3.62 | 3.3 |
| 0.15 | 3.79 | 3.11428571 |
| 0.17 | 3.85 | 3.5 |
| 0.19 | 3.93 | 3.5 |
| 0.21 | 3.99 | 3.75 |
| 0.23 | 4.08 | 4.5 |
| 0.25 | 4.17 | 5.25 |
| 0.27 | 4.29 | 5.75 |
| 0.29 | 4.4 | 7 |
| 0.31 | 4.57 | 9.5 |
| 0.33 | 4.78 | 16.1666667 |
| 0.34 | 4.97 | 25 |
| 0.345 | 5.11 | 29 |
| 0.35 | 5.26 | 34 |
| 0.355 | 5.45 | 41 |
| 0.36 | 5.67 | 45 |
| 0.365 | 5.9 | 46 |
| 0.37 | 6.13 | 41 |
| 0.375 | 6.31 | 39 |
| 0.38 | 6.52 | 39 |
| 0.385 | 6.7 | 39 |
| 0.39 | 6.91 | 42 |
| 0.395 | 7.12 | 39 |
| 0.4 | 7.3 | 33 |
| 0.405 | 7.45 | 33 |
| 0.41 | 7.63 | 42 |
| 0.415 | 7.87 | 50 |
| 0.42 | 8.13 | 49 |
| 0.425 | 8.36 | 41 |

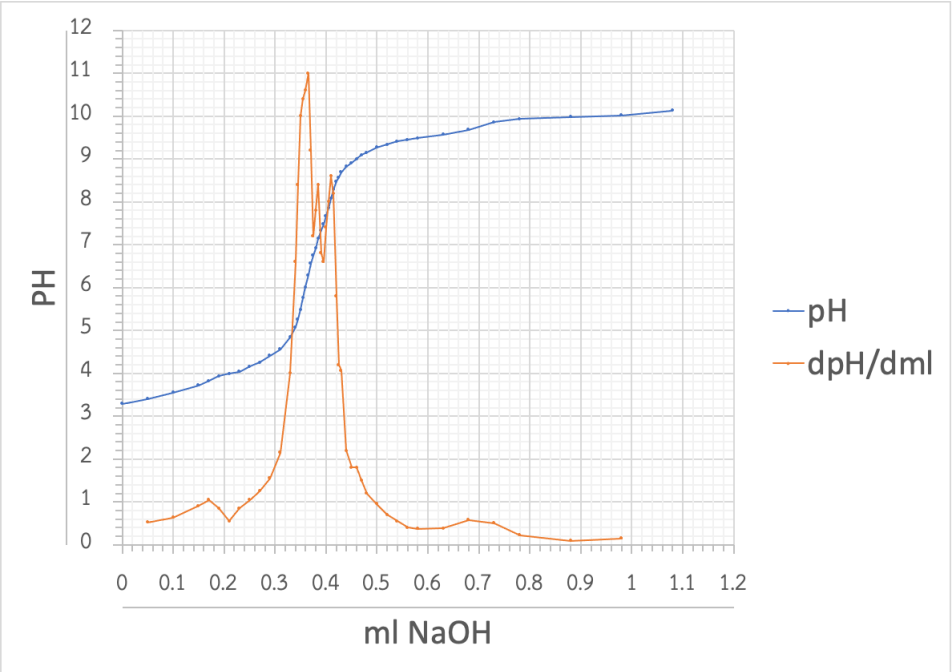
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.43 | 8.54 | 32 |
| 0.435 | 8.68 | 24 |
| 0.44 | 8.78 | 18 |
| 0.445 | 8.86 | 14.6666667 |
| 0.455 | 8.98 | 11 |
| 0.465 | 9.08 | 9 |
| 0.475 | 9.16 | 7.16666667 |
| 0.495 | 9.27 | 5.25 |
| 0.515 | 9.37 | 4.54285714 |
| 0.565 | 9.54 | 3 |
| 0.615 | 9.67 | 2.1 |
| 0.665 | 9.75 | 1.6 |
| 0.715 | 9.83 | 1.5 |
| 0.765 | 9.9 | 1.3 |
| 0.865 | 10.01 | 1.05 |
| 0.965 | 10.11 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 5 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.4805 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.48** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 5 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 5**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2132 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 17.7 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00128 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04363 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 20.47 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1555 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 20.62 %wt |

**ตารางที่ ฉ.48** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 5 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.29 | |
| 0.05 | 3.4 | 2.6 |
| 0.1 | 3.55 | 3.2 |
| 0.15 | 3.72 | 4.54285714 |
| 0.17 | 3.82 | 5.25 |
| 0.19 | 3.93 | 4.25 |
| 0.21 | 3.99 | 2.75 |
| 0.23 | 4.04 | 4.25 |
| 0.25 | 4.16 | 5.25 |
| 0.27 | 4.25 | 6.25 |
| 0.29 | 4.41 | 7.75 |
| 0.31 | 4.56 | 10.75 |
| 0.33 | 4.84 | 20 |
| 0.34 | 5.07 | 33 |
| 0.345 | 5.26 | 42 |
| 0.35 | 5.49 | 50 |
| 0.355 | 5.76 | 52 |
| 0.36 | 6.01 | 53 |
| 0.365 | 6.29 | 55 |
| 0.37 | 6.56 | 46 |
| 0.375 | 6.75 | 36 |
| 0.38 | 6.92 | 39 |
| 0.385 | 7.14 | 42 |
| 0.39 | 7.34 | 34 |
| 0.395 | 7.48 | 33 |
| 0.4 | 7.67 | 37 |
| 0.405 | 7.85 | 40 |
| 0.41 | 8.07 | 43 |
| 0.415 | 8.28 | 41 |
| 0.42 | 8.48 | 29 |
| 0.425 | 8.57 | 21 |
| 0.43 | 8.69 | 20.3333333 |

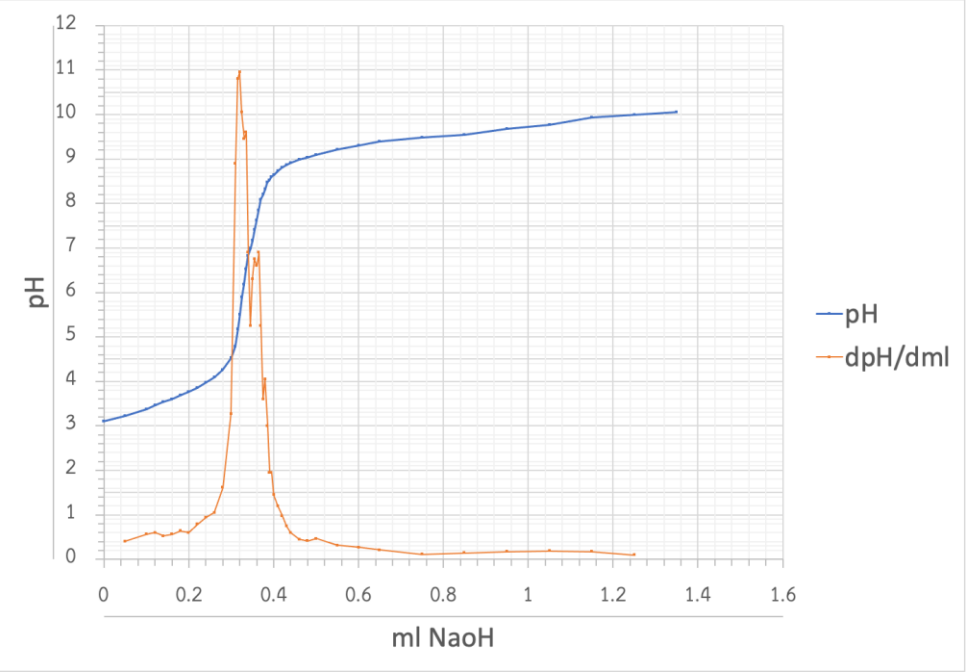
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.44 | 8.82 | 11 |
| 0.45 | 8.91 | 9 |
| 0.46 | 9 | 9 |
| 0.47 | 9.09 | 7.5 |
| 0.48 | 9.15 | 6 |
| 0.5 | 9.27 | 4.75 |
| 0.52 | 9.34 | 3.5 |
| 0.54 | 9.41 | 2.75 |
| 0.56 | 9.45 | 2 |
| 0.58 | 9.49 | 1.88571429 |
| 0.63 | 9.57 | 1.9 |
| 0.68 | 9.68 | 2.9 |
| 0.73 | 9.86 | 2.5 |
| 0.78 | 9.93 | 1.1 |
| 0.88 | 9.98 | 0.45 |
| 0.98 | 10.02 | 0.75 |
| 1.08 | 10.13 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 6 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.5318 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.49** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 6 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 6**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2225 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 19.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00139 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04758 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 21.38 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1405 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 21.52 %wt |

**ตารางที่ ฉ.49** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 6 ของแก้วไพเร็กซ์

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.11 | |
| 0.05 | 3.22 | 2.7 |
| 0.1 | 3.38 | 3.77142857 |
| 0.12 | 3.46 | 4 |
| 0.14 | 3.54 | 3.5 |
| 0.16 | 3.6 | 3.75 |
| 0.18 | 3.69 | 4.25 |
| 0.2 | 3.77 | 4 |
| 0.22 | 3.85 | 5.25 |
| 0.24 | 3.98 | 6.25 |
| 0.26 | 4.1 | 7 |
| 0.28 | 4.26 | 10.75 |
| 0.3 | 4.53 | 21.8333333 |
| 0.31 | 4.79 | 59.3333333 |
| 0.315 | 5.17 | 72 |
| 0.32 | 5.51 | 73 |
| 0.325 | 5.9 | 67 |
| 0.33 | 6.18 | 63 |
| 0.335 | 6.53 | 64 |
| 0.34 | 6.82 | 46 |
| 0.345 | 6.99 | 35 |
| 0.35 | 7.17 | 42 |
| 0.355 | 7.41 | 45 |
| 0.36 | 7.62 | 44 |
| 0.365 | 7.85 | 46 |
| 0.37 | 8.08 | 35 |
| 0.375 | 8.2 | 24 |
| 0.38 | 8.32 | 27 |
| 0.385 | 8.47 | 20 |
| 0.39 | 8.52 | 13 |
| 0.395 | 8.6 | 13 |

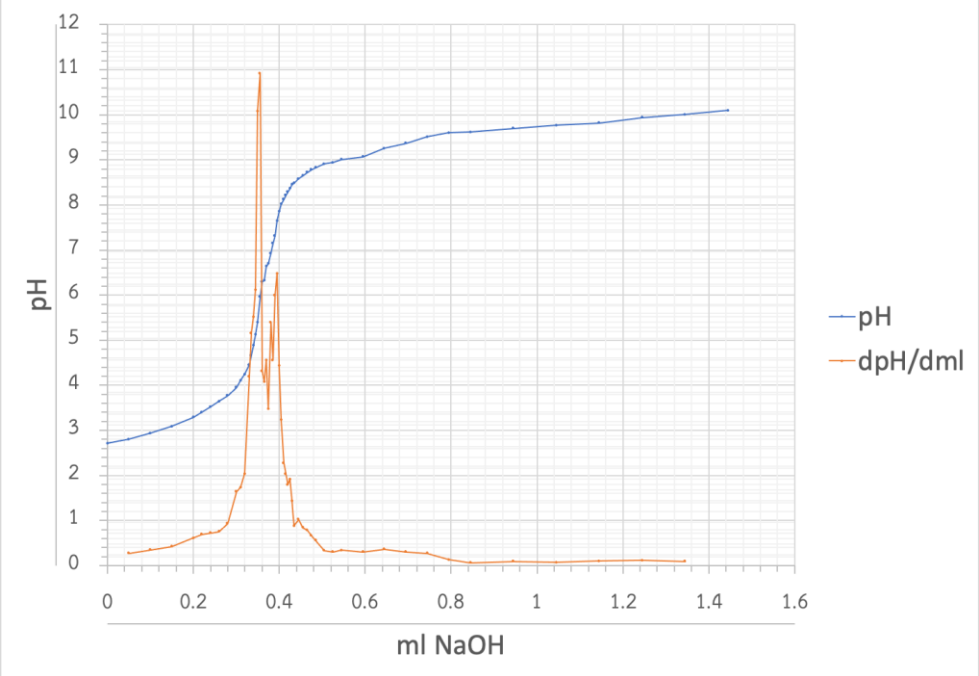
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.4 | 8.65 | 9.66666667 |
| 0.41 | 8.74 | 8 |
| 0.42 | 8.81 | 6.5 |
| 0.43 | 8.87 | 5 |
| 0.44 | 8.91 | 4 |
| 0.46 | 8.99 | 3 |
| 0.48 | 9.03 | 2.75 |
| 0.5 | 9.1 | 3.12857143 |
| 0.55 | 9.21 | 2.1 |
| 0.6 | 9.31 | 1.8 |
| 0.65 | 9.39 | 1.4 |
| 0.75 | 9.49 | 0.75 |
| 0.85 | 9.54 | 0.95 |
| 0.95 | 9.68 | 1.15 |
| 1.05 | 9.77 | 1.25 |
| 1.15 | 9.93 | 1.15 |
| 1.25 | 10 | 0.65 |
| 1.35 | 10.06 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 6 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.5943 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.50** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 6 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 6**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2203 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 17.6 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00128 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04339 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 19.70 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1118 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 19.81 %wt |

**ตารางที่ ฉ.50** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 6 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.71 | |
| 0.05 | 2.8 | 2.3 |
| 0.1 | 2.94 | 2.9 |
| 0.15 | 3.09 | 3.5 |
| 0.2 | 3.29 | 5.07142857 |
| 0.22 | 3.4 | 5.75 |
| 0.24 | 3.52 | 6 |
| 0.26 | 3.64 | 6.25 |
| 0.28 | 3.77 | 7.75 |
| 0.3 | 3.95 | 13.6666667 |
| 0.31 | 4.11 | 14.5 |
| 0.32 | 4.24 | 17 |
| 0.33 | 4.45 | 35 |
| 0.335 | 4.66 | 43 |
| 0.34 | 4.88 | 46 |
| 0.345 | 5.12 | 51 |
| 0.35 | 5.39 | 84 |
| 0.355 | 5.96 | 91 |
| 0.36 | 6.3 | 36 |
| 0.365 | 6.32 | 34 |
| 0.37 | 6.64 | 38 |
| 0.375 | 6.7 | 29 |
| 0.38 | 6.93 | 45 |
| 0.385 | 7.15 | 38 |
| 0.39 | 7.31 | 50 |
| 0.395 | 7.65 | 54 |
| 0.4 | 7.85 | 37 |
| 0.405 | 8.02 | 27 |
| 0.41 | 8.12 | 19 |
| 0.415 | 8.21 | 17 |
| 0.42 | 8.29 | 15 |

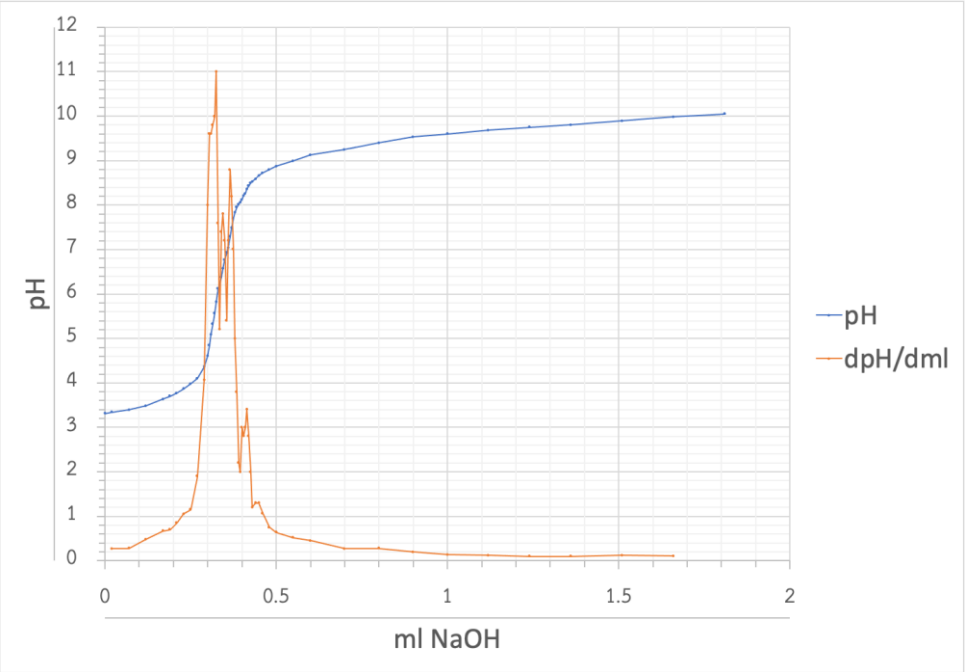
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.425 | 8.36 | 16 |
| 0.43 | 8.45 | 12 |
| 0.435 | 8.48 | 7.33333333 |
| 0.445 | 8.58 | 8.5 |
| 0.455 | 8.65 | 7 |
| 0.465 | 8.72 | 6.5 |
| 0.475 | 8.78 | 5.5 |
| 0.485 | 8.83 | 4.66666667 |
| 0.505 | 8.91 | 2.75 |
| 0.525 | 8.94 | 2.5 |
| 0.545 | 9.01 | 2.84285714 |
| 0.595 | 9.07 | 2.5 |
| 0.645 | 9.26 | 3 |
| 0.695 | 9.37 | 2.5 |
| 0.745 | 9.51 | 2.3 |
| 0.795 | 9.6 | 1.1 |
| 0.845 | 9.62 | 0.53333333 |
| 0.945 | 9.7 | 0.75 |
| 1.045 | 9.77 | 0.6 |
| 1.145 | 9.82 | 0.85 |
| 1.245 | 9.94 | 0.95 |
| 1.345 | 10.01 | 0.8 |
| 1.445 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 6 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.5866 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.51** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 6 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 6**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2195 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 17.9 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00130 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04413 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 20.10 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1132 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 20.22 %wt |

**ตารางที่ ฉ.51** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 6 ของขวด PP

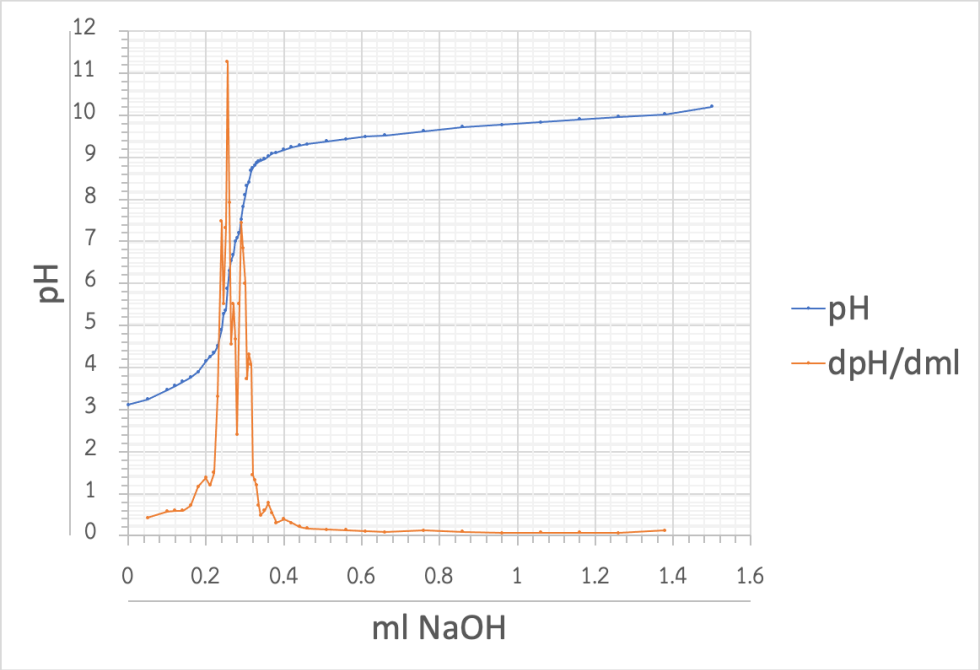
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.31 | |
| 0.02 | 3.34 | 1.35714286 |
| 0.07 | 3.39 | 1.4 |
| 0.12 | 3.48 | 2.4 |
| 0.17 | 3.63 | 3.35714286 |
| 0.19 | 3.7 | 3.5 |
| 0.21 | 3.77 | 4.25 |
| 0.23 | 3.87 | 5.25 |
| 0.25 | 3.98 | 5.75 |
| 0.27 | 4.1 | 9.5 |
| 0.29 | 4.36 | 20.3333333 |
| 0.3 | 4.6 | 40 |
| 0.305 | 4.84 | 48 |
| 0.31 | 5.08 | 48 |
| 0.315 | 5.32 | 49 |
| 0.32 | 5.57 | 50 |
| 0.325 | 5.82 | 55 |
| 0.33 | 6.12 | 38 |
| 0.335 | 6.2 | 26 |
| 0.34 | 6.38 | 37 |
| 0.345 | 6.57 | 39 |
| 0.35 | 6.77 | 36 |
| 0.355 | 6.93 | 27 |
| 0.36 | 7.04 | 36 |
| 0.365 | 7.29 | 44 |
| 0.37 | 7.48 | 41 |
| 0.375 | 7.7 | 35 |
| 0.38 | 7.83 | 25 |
| 0.385 | 7.95 | 19 |
| 0.39 | 8.02 | 11 |
| 0.395 | 8.06 | 10 |
| 0.4 | 8.12 | 15 |
| 0.405 | 8.21 | 14 |
| 0.41 | 8.26 | 15 |
| 0.415 | 8.36 | 17 |
| 0.42 | 8.43 | 14 |
| 0.425 | 8.5 | 10 |
| 0.43 | 8.53 | 6 |
| 0.44 | 8.59 | 6.5 |
| 0.45 | 8.66 | 6.5 |
| 0.46 | 8.72 | 5.33333333 |
| 0.48 | 8.8 | 3.75 |
| 0.5 | 8.87 | 3.18571429 |
| 0.55 | 8.99 | 2.6 |
| 0.6 | 9.13 | 2.26666667 |
| 0.7 | 9.25 | 1.35 |
| 0.8 | 9.4 | 1.4 |
| 0.9 | 9.53 | 1 |
| 1 | 9.6 | 0.68484848 |
| 1.12 | 9.68 | 0.625 |
| 1.24 | 9.75 | 0.5 |
| 1.36 | 9.8 | 0.49814815 |
| 1.51 | 9.89 | 0.6 |
| 1.66 | 9.98 | 0.53333333 |
| 1.81 | 10.05 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 7 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.4835 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.52** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 7 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 7**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2284 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 18.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00136 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04635 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 20.30 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1202 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 20.41 %wt |

**ตารางที่ ฉ.52** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 7 ของแก้วไพเร็กซ์

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.11 | |
| 0.05 | 3.24 | 3.5 |
| 0.1 | 3.46 | 4.82857143 |
| 0.12 | 3.56 | 5 |
| 0.14 | 3.66 | 5 |
| 0.16 | 3.76 | 6 |
| 0.18 | 3.9 | 9.75 |
| 0.2 | 4.15 | 11.5 |
| 0.21 | 4.26 | 10 |
| 0.22 | 4.35 | 12.5 |
| 0.23 | 4.51 | 27.5 |
| 0.24 | 4.9 | 62.3333333 |
| 0.245 | 5.27 | 46 |
| 0.25 | 5.36 | 61 |
| 0.255 | 5.88 | 94 |
| 0.26 | 6.3 | 66 |
| 0.265 | 6.54 | 38 |
| 0.27 | 6.68 | 46 |
| 0.275 | 7 | 39 |
| 0.28 | 7.07 | 20 |
| 0.285 | 7.2 | 46 |
| 0.29 | 7.53 | 62 |
| 0.295 | 7.82 | 57 |
| 0.3 | 8.1 | 50 |
| 0.305 | 8.32 | 31 |
| 0.31 | 8.41 | 36 |
| 0.315 | 8.68 | 34 |
| 0.32 | 8.75 | 12 |
| 0.325 | 8.8 | 11 |
| 0.33 | 8.86 | 10 |
| 0.335 | 8.9 | 6 |

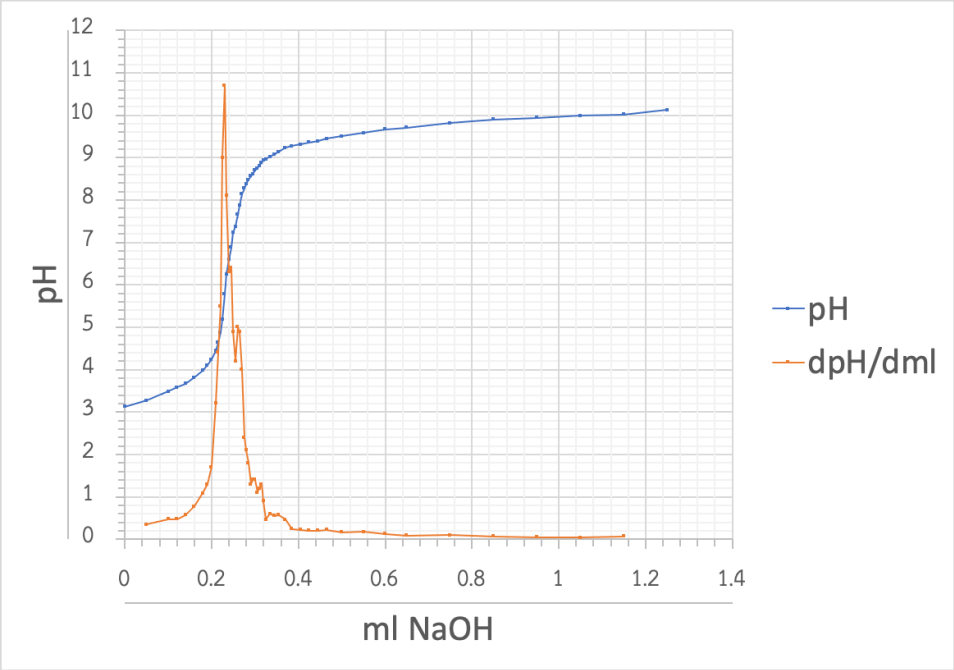
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.34 | 8.92 | 4 |
| 0.35 | 8.96 | 5 |
| 0.36 | 9.02 | 6.5 |
| 0.37 | 9.09 | 4.5 |
| 0.38 | 9.11 | 2.5 |
| 0.4 | 9.18 | 3.25 |
| 0.42 | 9.24 | 2.5 |
| 0.44 | 9.28 | 1.75 |
| 0.46 | 9.31 | 1.47142857 |
| 0.51 | 9.38 | 1.2 |
| 0.56 | 9.43 | 1.1 |
| 0.61 | 9.49 | 0.9 |
| 0.66 | 9.52 | 0.73333333 |
| 0.76 | 9.62 | 1 |
| 0.86 | 9.72 | 0.75 |
| 0.96 | 9.77 | 0.55 |
| 1.06 | 9.83 | 0.65 |
| 1.16 | 9.9 | 0.65 |
| 1.26 | 9.96 | 0.55454545 |
| 1.38 | 10.02 | 1 |
| 1.5 | 10.2 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 7 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.4853 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.53** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 7 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 7**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2261 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 17.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00130 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04388 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 19.41 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1027 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 19.51 %wt |

**ตารางที่ ฉ.53** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 7 ของขวด HDPE

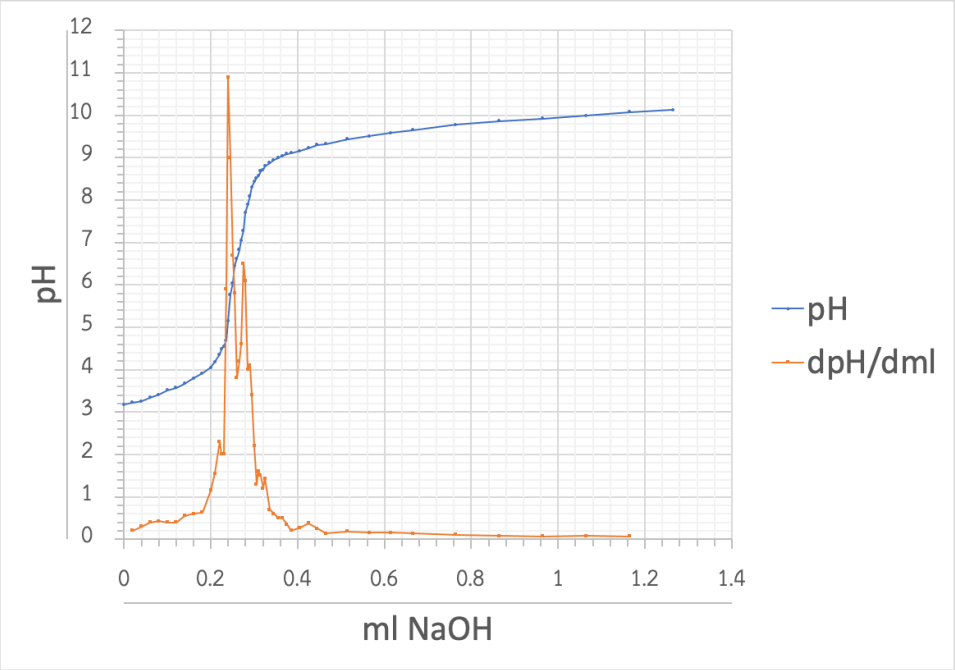
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.13 | |
| 0.05 | 3.27 | 3.5 |
| 0.1 | 3.48 | 4.77142857 |
| 0.12 | 3.58 | 4.75 |
| 0.14 | 3.67 | 5.75 |
| 0.16 | 3.81 | 7.75 |
| 0.18 | 3.98 | 10.8333333 |
| 0.19 | 4.1 | 13 |
| 0.2 | 4.24 | 17 |
| 0.21 | 4.44 | 32 |
| 0.215 | 4.63 | 44 |
| 0.22 | 4.88 | 55 |
| 0.225 | 5.18 | 90 |
| 0.23 | 5.78 | 107 |
| 0.235 | 6.25 | 81 |
| 0.24 | 6.59 | 63 |
| 0.245 | 6.88 | 64 |
| 0.25 | 7.23 | 49 |
| 0.255 | 7.37 | 42 |
| 0.26 | 7.65 | 50 |
| 0.265 | 7.87 | 49 |
| 0.27 | 8.14 | 40 |
| 0.275 | 8.27 | 24 |
| 0.28 | 8.38 | 21 |
| 0.285 | 8.48 | 18 |
| 0.29 | 8.56 | 13 |
| 0.295 | 8.61 | 14 |
| 0.3 | 8.7 | 14 |
| 0.305 | 8.75 | 11 |
| 0.31 | 8.81 | 12 |
| 0.315 | 8.87 | 13 |
| 0.32 | 8.94 | 9 |
| 0.325 | 8.96 | 4.66666667 |
| 0.335 | 9.02 | 6 |
| 0.345 | 9.08 | 5.5 |
| 0.355 | 9.13 | 5.66666667 |
| 0.37 | 9.23 | 4.66666667 |
| 0.385 | 9.27 | 2.38095238 |
| 0.405 | 9.31 | 2.25 |
| 0.425 | 9.36 | 2 |
| 0.445 | 9.39 | 2 |
| 0.465 | 9.44 | 2.21428571 |
| 0.5 | 9.5 | 1.66722689 |
| 0.55 | 9.58 | 1.7 |
| 0.6 | 9.67 | 1.3 |
| 0.65 | 9.71 | 0.86666667 |
| 0.75 | 9.81 | 0.95 |
| 0.85 | 9.9 | 0.65 |
| 0.95 | 9.94 | 0.45 |
| 1.05 | 9.99 | 0.4 |
| 1.15 | 10.02 | 0.65 |
| 1.25 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
RN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:3.2 ในวันที่ 7 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.5377 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.54** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 7 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 7**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2184 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 17.5 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02899 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00127 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04314 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 19.75 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.1081 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 19.86 %wt |

**ตารางที่ ฉ.54** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 7 ของขวด PP

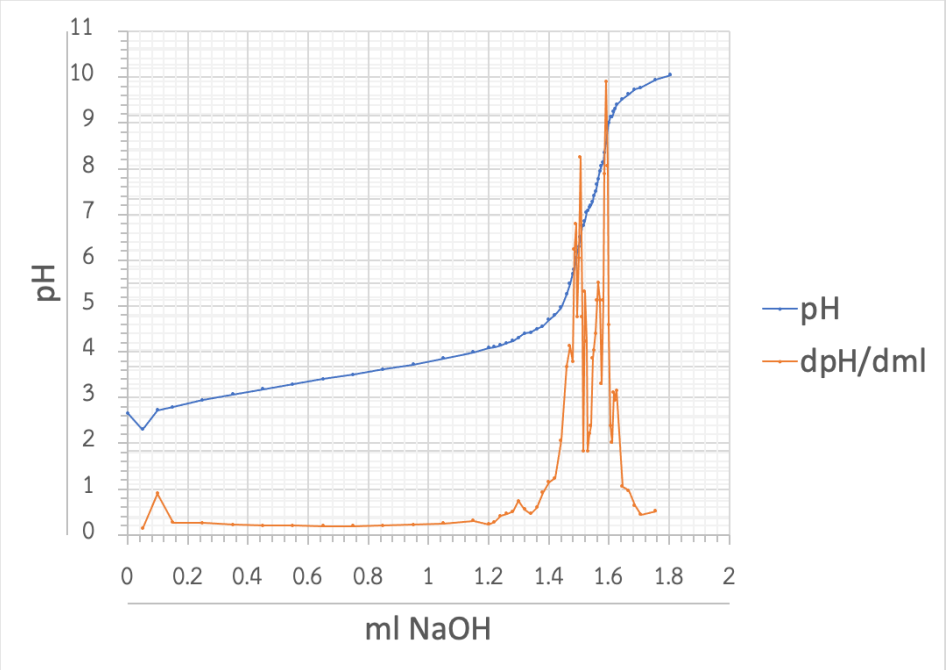
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.17 | |
| 0.02 | 3.22 | 2 |
| 0.04 | 3.25 | 3 |
| 0.06 | 3.34 | 4 |
| 0.08 | 3.41 | 4.25 |
| 0.1 | 3.51 | 4 |
| 0.12 | 3.57 | 4 |
| 0.14 | 3.67 | 5.5 |
| 0.16 | 3.79 | 6 |
| 0.18 | 3.91 | 6.25 |
| 0.2 | 4.04 | 11.5 |
| 0.21 | 4.18 | 15.5 |
| 0.22 | 4.35 | 23 |
| 0.225 | 4.48 | 20 |
| 0.23 | 4.55 | 20 |
| 0.235 | 4.68 | 59 |
| 0.24 | 5.14 | 109 |
| 0.245 | 5.77 | 90 |
| 0.25 | 6.04 | 67 |
| 0.255 | 6.44 | 58 |
| 0.26 | 6.62 | 38 |
| 0.265 | 6.82 | 42 |
| 0.27 | 7.04 | 46 |
| 0.275 | 7.28 | 65 |
| 0.28 | 7.69 | 61 |
| 0.285 | 7.89 | 40 |
| 0.29 | 8.09 | 41 |
| 0.295 | 8.3 | 34 |
| 0.3 | 8.43 | 22 |
| 0.305 | 8.52 | 13 |
| 0.31 | 8.56 | 16 |
| 0.315 | 8.68 | 15 |
| 0.32 | 8.71 | 12 |
| 0.325 | 8.8 | 14.3333333 |
| 0.335 | 8.87 | 7 |
| 0.345 | 8.94 | 6 |
| 0.355 | 8.99 | 5 |
| 0.365 | 9.04 | 5 |
| 0.375 | 9.09 | 3.5 |
| 0.385 | 9.11 | 2 |
| 0.405 | 9.15 | 2.75 |
| 0.425 | 9.22 | 3.75 |
| 0.445 | 9.3 | 2.5 |
| 0.465 | 9.32 | 1.34285714 |
| 0.515 | 9.43 | 1.8 |
| 0.565 | 9.5 | 1.5 |
| 0.615 | 9.58 | 1.5 |
| 0.665 | 9.65 | 1.33333333 |
| 0.765 | 9.77 | 1.05 |
| 0.865 | 9.86 | 0.75 |
| 0.965 | 9.92 | 0.65 |
| 1.065 | 9.99 | 0.75 |
| 1.165 | 10.07 | 0.65 |
| 1.265 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

ตัวอย่างที่ 10 นาที

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1170 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.55** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2324 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 42.7 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00297 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.1013 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 43.58 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.2064 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 44.79 %wt |

**ตารางที่ ฉ.55** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 0 ที่เวลา 10 นาที

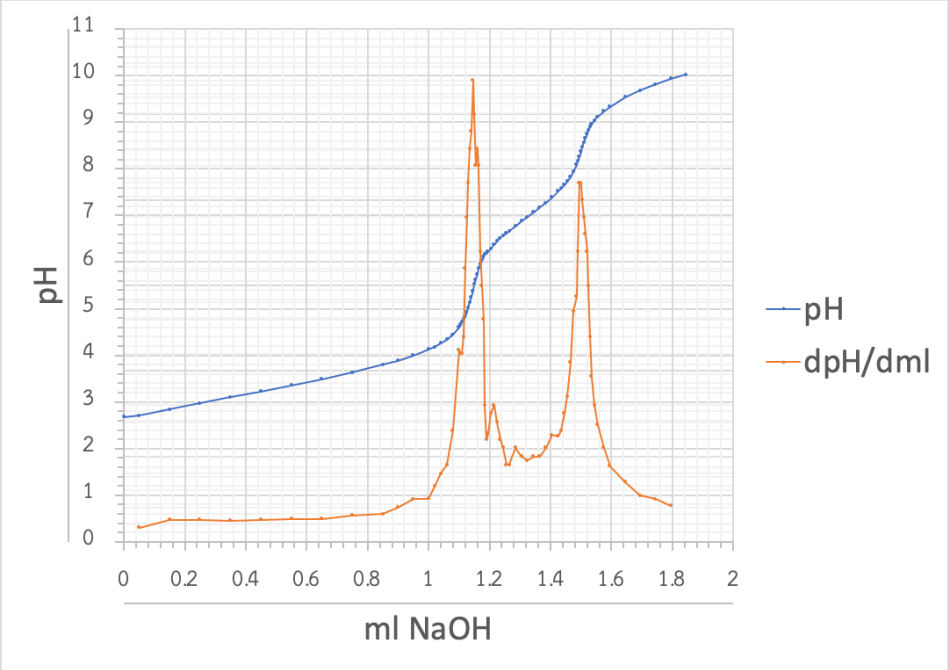
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.65 | |
| 0.05 | 2.3 | 0.7 |
| 0.1 | 2.72 | 4.9 |
| 0.15 | 2.79 | 1.43333333 |
| 0.25 | 2.94 | 1.4 |
| 0.35 | 3.07 | 1.2 |
| 0.45 | 3.18 | 1.1 |
| 0.55 | 3.29 | 1.1 |
| 0.65 | 3.4 | 1.05 |
| 0.75 | 3.5 | 1.05 |
| 0.85 | 3.61 | 1.1 |
| 0.95 | 3.72 | 1.2 |
| 1.05 | 3.85 | 1.35 |
| 1.15 | 3.99 | 1.66666667 |
| 1.2 | 4.08 | 1.22857143 |
| 1.22 | 4.1 | 1.5 |
| 1.24 | 4.14 | 2.25 |
| 1.26 | 4.19 | 2.5 |
| 1.28 | 4.24 | 2.75 |
| 1.3 | 4.3 | 4 |
| 1.32 | 4.4 | 3 |
| 1.34 | 4.42 | 2.5 |
| 1.36 | 4.5 | 3.25 |
| 1.38 | 4.55 | 5 |
| 1.4 | 4.7 | 6.25 |
| 1.42 | 4.8 | 6.75 |
| 1.44 | 4.97 | 11.25 |
| 1.46 | 5.25 | 20 |
| 1.47 | 5.48 | 22.5 |
| 1.48 | 5.7 | 20.6666667 |
| 1.485 | 5.8 | 34 |
| 1.49 | 6.04 | 37 |
| 1.495 | 6.17 | 26 |
| 1.5 | 6.3 | 33 |
| 1.505 | 6.5 | 45 |
| 1.51 | 6.75 | 26 |
| 1.515 | 6.76 | 10 |
| 1.52 | 6.85 | 29 |
| 1.525 | 7.05 | 23 |
| 1.53 | 7.08 | 10 |
| 1.535 | 7.15 | 12 |
| 1.54 | 7.2 | 13 |
| 1.545 | 7.28 | 21 |
| 1.55 | 7.41 | 22 |
| 1.555 | 7.5 | 24 |
| 1.56 | 7.65 | 28 |
| 1.565 | 7.78 | 30 |
| 1.57 | 7.95 | 28 |
| 1.575 | 8.06 | 18 |
| 1.58 | 8.13 | 28 |
| 1.585 | 8.34 | 43 |
| 1.59 | 8.56 | 54 |
| 1.595 | 8.88 | 44 |
| 1.6 | 9 | 25 |
| 1.605 | 9.13 | 13 |
| 1.61 | 9.13 | 11 |
| 1.615 | 9.24 | 17 |
| 1.62 | 9.3 | 16 |
| 1.625 | 9.4 | 17.2 |
| 1.645 | 9.52 | 5.75 |
| 1.665 | 9.63 | 5.25 |
| 1.685 | 9.73 | 3.5 |
| 1.705 | 9.77 | 2.4 |
| 1.755 | 9.94 | 2.8 |
| 1.805 | 10.05 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

<u>ตัวอย่างที่ 60 นาที</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1108 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.56** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2419 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 42.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00293 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.09986 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 41.28 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 5.283 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 46.56 %wt |

**ตารางที่ ฉ.56** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 0 ที่เวลา 60 นาที

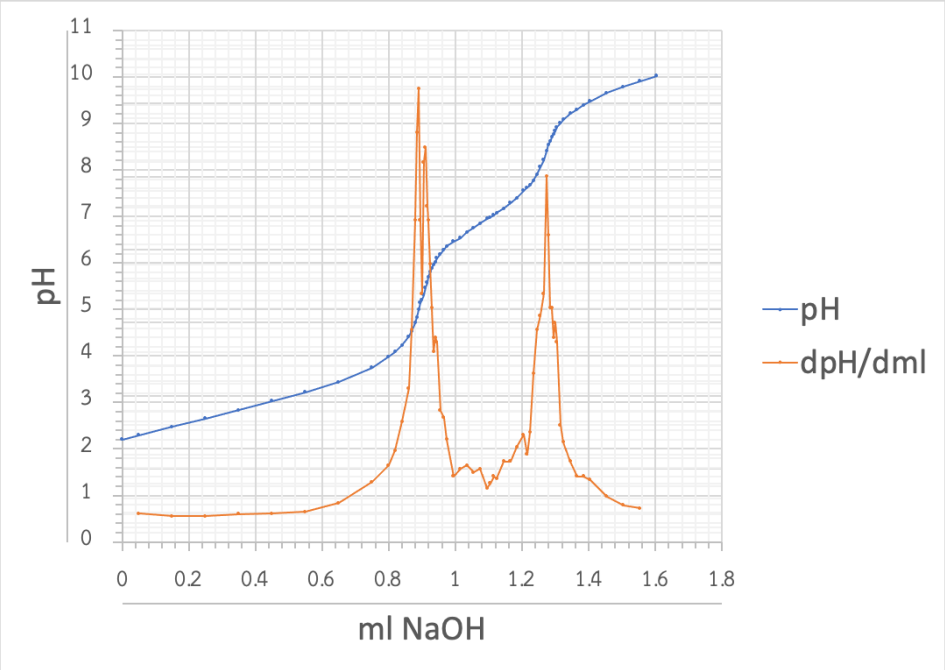
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.68 | |
| 0.05 | 2.71 | 0.83333333 |
| 0.15 | 2.84 | 1.3 |
| 0.25 | 2.97 | 1.3 |
| 0.35 | 3.1 | 1.25 |
| 0.45 | 3.22 | 1.3 |
| 0.55 | 3.36 | 1.35 |
| 0.65 | 3.49 | 1.35 |
| 0.75 | 3.63 | 1.55 |
| 0.85 | 3.8 | 1.63333333 |
| 0.9 | 3.88 | 2 |
| 0.95 | 4 | 2.5 |
| 1 | 4.13 | 2.52857143 |
| 1.02 | 4.18 | 3.25 |
| 1.04 | 4.26 | 4 |
| 1.06 | 4.34 | 4.5 |
| 1.08 | 4.44 | 6.5 |
| 1.1 | 4.6 | 11.2 |
| 1.105 | 4.66 | 11 |
| 1.11 | 4.71 | 11 |
| 1.115 | 4.77 | 12 |
| 1.12 | 4.83 | 16 |
| 1.125 | 4.93 | 19 |
| 1.13 | 5.02 | 21 |
| 1.135 | 5.14 | 23 |
| 1.14 | 5.25 | 24 |
| 1.145 | 5.38 | 27 |
| 1.15 | 5.52 | 25 |
| 1.155 | 5.63 | 22 |
| 1.16 | 5.74 | 23 |
| 1.165 | 5.86 | 22 |
| 1.17 | 5.96 | 17 |
| 1.175 | 6.03 | 15 |
| 1.18 | 6.11 | 13 |
| 1.185 | 6.16 | 8 |
| 1.19 | 6.19 | 6 |
| 1.195 | 6.22 | 6.33333333 |
| 1.205 | 6.29 | 7.5 |
| 1.215 | 6.37 | 8 |
| 1.225 | 6.45 | 7 |
| 1.235 | 6.51 | 6 |
| 1.245 | 6.57 | 5.5 |
| 1.255 | 6.62 | 4.5 |
| 1.265 | 6.66 | 4.5 |
| 1.285 | 6.77 | 5.5 |
| 1.305 | 6.88 | 5 |
| 1.325 | 6.97 | 4.75 |
| 1.345 | 7.07 | 5 |
| 1.365 | 7.17 | 5 |
| 1.385 | 7.27 | 5.5 |
| 1.405 | 7.39 | 6.25 |
| 1.425 | 7.52 | 6.16666667 |
| 1.435 | 7.58 | 6.5 |
| 1.445 | 7.65 | 7.5 |
| 1.455 | 7.73 | 8.5 |
| 1.465 | 7.82 | 10.5 |
| 1.475 | 7.94 | 13.5 |
| 1.485 | 8.09 | 14.3333333 |
| 1.49 | 8.16 | 17 |
| 1.495 | 8.26 | 21 |
| 1.5 | 8.37 | 21 |
| 1.505 | 8.47 | 20 |
| 1.51 | 8.57 | 19 |
| 1.515 | 8.66 | 18 |
| 1.52 | 8.75 | 17 |
| 1.525 | 8.83 | 15 |
| 1.53 | 8.9 | 12 |
| 1.535 | 8.95 | 9.66666667 |
| 1.545 | 9.04 | 8 |
| 1.555 | 9.11 | 6.83333333 |
| 1.575 | 9.24 | 5.5 |
| 1.595 | 9.33 | 4.41428571 |
| 1.645 | 9.54 | 3.5 |
| 1.695 | 9.68 | 2.7 |
| 1.745 | 9.81 | 2.5 |
| 1.795 | 9.93 | 2.1 |
| 1.845 | 10.02 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

<u>ตัวอย่างที่ 90 นาที</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.0930 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.57** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2874 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 49.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00342 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.1165 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 40.52 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 6.874 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 47.40 %wt |

**ตารางที่ ฉ.57** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 0 ที่เวลา 90 นาที

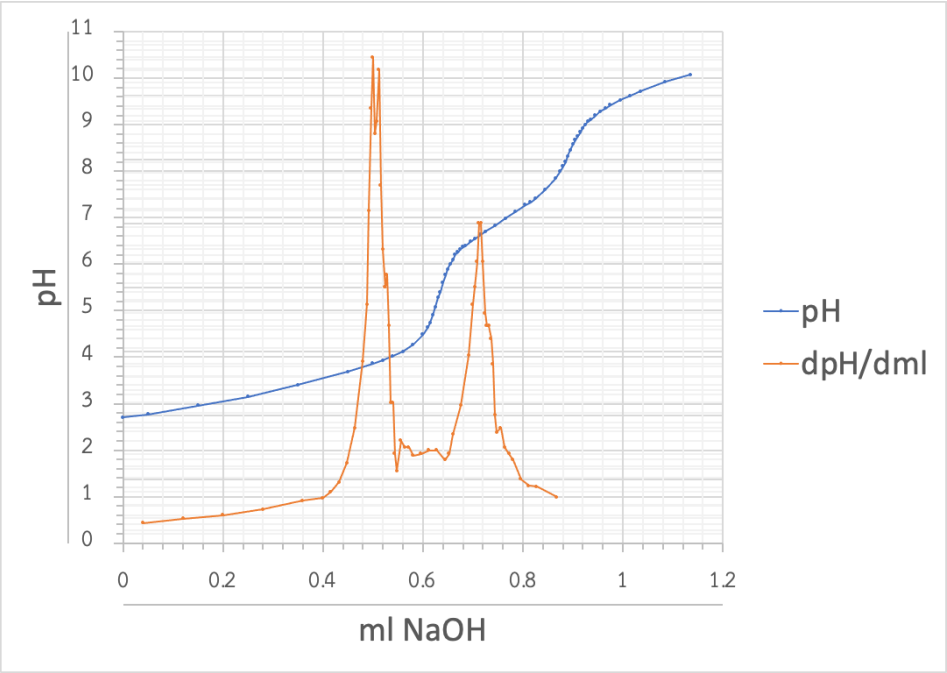
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.2 | |
| 0.05 | 2.3 | 1.93333333 |
| 0.15 | 2.48 | 1.75 |
| 0.25 | 2.65 | 1.75 |
| 0.35 | 2.83 | 1.9 |
| 0.45 | 3.03 | 1.95 |
| 0.55 | 3.22 | 2.05 |
| 0.65 | 3.44 | 2.65 |
| 0.75 | 3.75 | 4.1 |
| 0.8 | 3.98 | 5.24285714 |
| 0.82 | 4.09 | 6.25 |
| 0.84 | 4.23 | 8.25 |
| 0.86 | 4.42 | 10.5 |
| 0.87 | 4.53 | 14.5 |
| 0.88 | 4.71 | 22 |
| 0.885 | 4.83 | 28 |
| 0.89 | 4.99 | 31 |
| 0.895 | 5.14 | 22 |
| 0.9 | 5.21 | 17 |
| 0.905 | 5.31 | 26 |
| 0.91 | 5.47 | 27 |
| 0.915 | 5.58 | 23 |
| 0.92 | 5.7 | 22 |
| 0.925 | 5.8 | 19 |
| 0.93 | 5.89 | 16 |
| 0.935 | 5.96 | 13 |
| 0.94 | 6.02 | 14 |
| 0.945 | 6.1 | 13.6666667 |
| 0.955 | 6.19 | 9 |
| 0.965 | 6.28 | 8.5 |
| 0.975 | 6.36 | 7 |
| 0.995 | 6.46 | 4.5 |
| 1.015 | 6.54 | 5 |
| 1.035 | 6.66 | 5.25 |
| 1.055 | 6.75 | 4.75 |
| 1.075 | 6.85 | 5 |
| 1.095 | 6.95 | 3.66666667 |
| 1.105 | 6.98 | 4 |
| 1.115 | 7.03 | 4.5 |
| 1.125 | 7.07 | 4.33333333 |
| 1.145 | 7.17 | 5.5 |
| 1.165 | 7.29 | 5.5 |
| 1.185 | 7.39 | 6.5 |
| 1.205 | 7.55 | 7.33333333 |
| 1.215 | 7.62 | 6 |
| 1.225 | 7.67 | 7.5 |
| 1.235 | 7.77 | 11.5 |
| 1.245 | 7.9 | 14.5 |
| 1.255 | 8.06 | 15.5 |
| 1.265 | 8.21 | 17 |
| 1.275 | 8.4 | 25 |
| 1.28 | 8.54 | 21 |
| 1.285 | 8.61 | 16 |
| 1.29 | 8.7 | 16 |
| 1.295 | 8.77 | 14 |
| 1.3 | 8.84 | 15 |
| 1.305 | 8.92 | 13.6666667 |
| 1.315 | 9.01 | 8 |
| 1.325 | 9.08 | 6.83333333 |
| 1.345 | 9.21 | 5.5 |
| 1.365 | 9.3 | 4.5 |
| 1.385 | 9.39 | 4.5 |
| 1.405 | 9.48 | 4.24285714 |
| 1.455 | 9.66 | 3.1 |
| 1.505 | 9.79 | 2.5 |
| 1.555 | 9.91 | 2.3 |
| 1.605 | 10.02 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที่ 0 (เริ่มการทดลอง)**

<u>ตัวอย่างที่ 120 นาที</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.0658 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.58** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ของวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2972 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 51.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00358 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.1220 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 41.02 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 6.751 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 47.77 %wt |

**ตารางที่ ฉ.58** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 0 ที่เวลา 120 นาที

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.7 | |
| 0.05 | 2.77 | 1.56666667 |
| 0.15 | 2.96 | 1.9 |
| 0.25 | 3.15 | 2.2 |
| 0.35 | 3.4 | 2.65 |
| 0.45 | 3.68 | 3.33333333 |
| 0.5 | 3.86 | 3.52857143 |
| 0.52 | 3.93 | 4 |
| 0.54 | 4.02 | 4.75 |
| 0.56 | 4.12 | 6.25 |
| 0.58 | 4.27 | 9 |
| 0.6 | 4.48 | 14.1666667 |
| 0.61 | 4.64 | 18.6666667 |
| 0.615 | 4.74 | 26 |
| 0.62 | 4.9 | 34 |
| 0.625 | 5.08 | 38 |
| 0.63 | 5.28 | 32 |
| 0.635 | 5.4 | 33 |
| 0.64 | 5.61 | 37 |
| 0.645 | 5.77 | 28 |
| 0.65 | 5.89 | 23 |
| 0.655 | 6 | 20 |
| 0.66 | 6.09 | 21 |
| 0.665 | 6.21 | 17 |
| 0.67 | 6.26 | 11 |
| 0.675 | 6.32 | 11 |
| 0.68 | 6.37 | 7 |
| 0.685 | 6.39 | 5.66666667 |
| 0.695 | 6.48 | 8 |
| 0.705 | 6.55 | 7.5 |
| 0.715 | 6.63 | 7.5 |

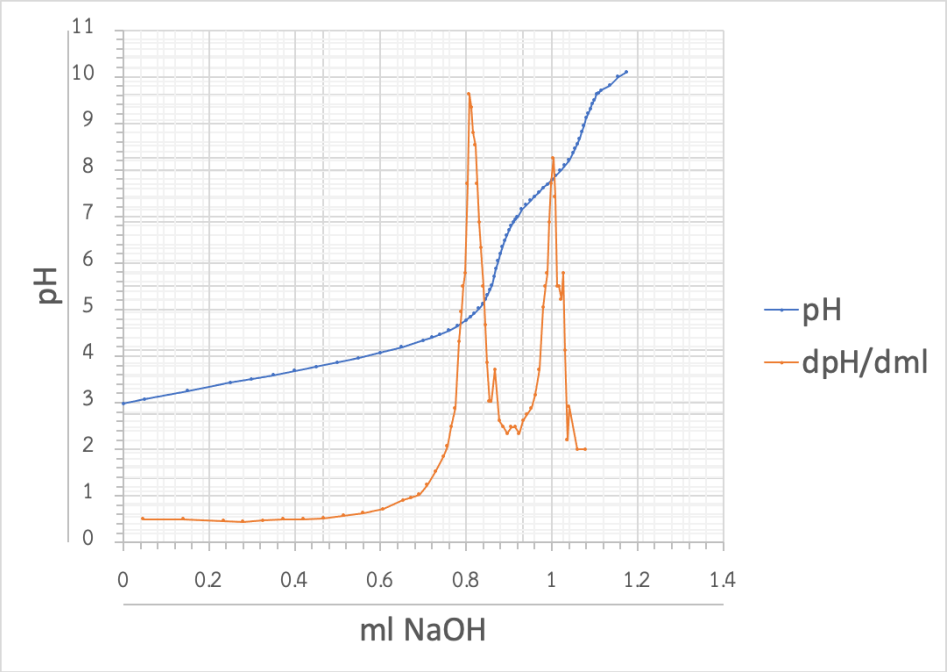
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.725 | 6.7 | 6.83333333 |
| 0.745 | 6.83 | 7 |
| 0.765 | 6.98 | 7.25 |
| 0.785 | 7.12 | 7.25 |
| 0.805 | 7.27 | 6.5 |
| 0.815 | 7.33 | 7 |
| 0.825 | 7.41 | 8.5 |
| 0.845 | 7.6 | 10.75 |
| 0.865 | 7.84 | 14.6666667 |
| 0.875 | 8 | 18.6666667 |
| 0.88 | 8.1 | 20 |
| 0.885 | 8.2 | 22 |
| 0.89 | 8.32 | 25 |
| 0.895 | 8.45 | 25 |
| 0.9 | 8.57 | 22 |
| 0.905 | 8.67 | 18 |
| 0.91 | 8.75 | 17 |
| 0.915 | 8.84 | 17 |
| 0.92 | 8.92 | 16 |
| 0.925 | 9 | 14 |
| 0.93 | 9.06 | 10 |
| 0.935 | 9.1 | 8.66666667 |
| 0.945 | 9.2 | 9 |
| 0.955 | 9.28 | 7.5 |
| 0.965 | 9.35 | 7 |
| 0.975 | 9.42 | 6.5 |
| 0.995 | 9.53 | 5 |
| 1.015 | 9.62 | 4.5 |
| 1.035 | 9.71 | 4.41428571 |
| 1.085 | 9.92 | 3.6 |
| 1.135 | 10.07 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1065 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.59** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2254 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 33.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00232 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.07899 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 35.04 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 3.274 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 38.32 %wt |

**ตารางที่ ฉ.59** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 1 ของแก้วไพเร็กซ์

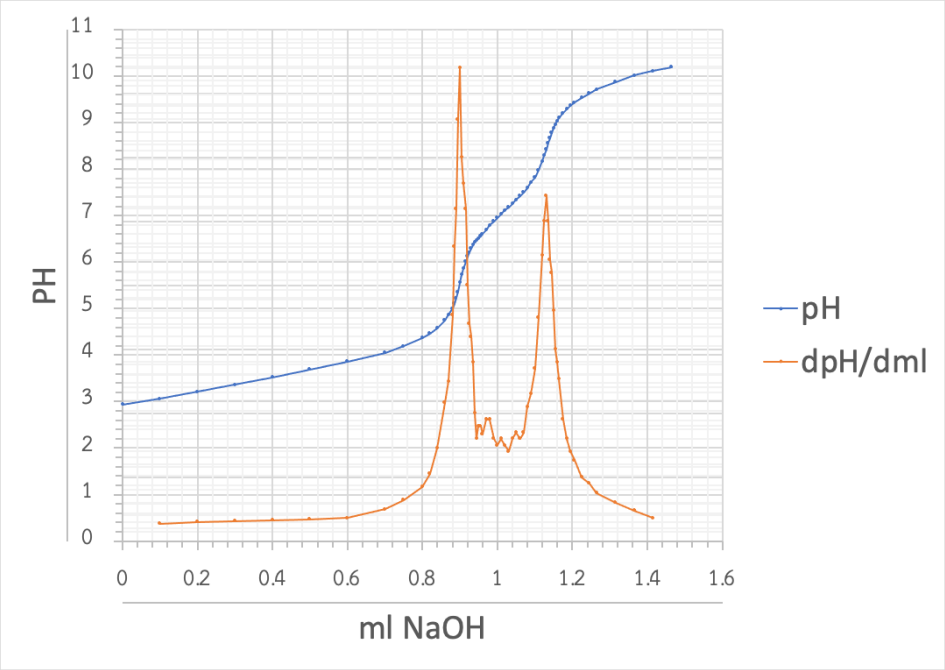
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.98 | |
| 0.05 | 3.07 | 1.8 |
| 0.15 | 3.25 | 1.8 |
| 0.25 | 3.43 | 1.66666667 |
| 0.3 | 3.51 | 1.6 |
| 0.35 | 3.59 | 1.7 |
| 0.4 | 3.68 | 1.8 |
| 0.45 | 3.77 | 1.8 |
| 0.5 | 3.86 | 1.9 |
| 0.55 | 3.96 | 2.1 |
| 0.6 | 4.07 | 2.3 |
| 0.65 | 4.19 | 2.6 |
| 0.7 | 4.33 | 3.3 |
| 0.72 | 4.4 | 3.5 |
| 0.74 | 4.47 | 3.75 |
| 0.76 | 4.55 | 4.5 |
| 0.78 | 4.65 | 5.5 |
| 0.8 | 4.77 | 6.66666667 |
| 0.81 | 4.84 | 7.5 |
| 0.82 | 4.92 | 9 |
| 0.83 | 5.02 | 10.5 |
| 0.84 | 5.13 | 15.6666667 |
| 0.845 | 5.22 | 18 |
| 0.85 | 5.31 | 20 |
| 0.855 | 5.42 | 21 |
| 0.86 | 5.52 | 28 |
| 0.865 | 5.7 | 35 |
| 0.87 | 5.87 | 34 |
| 0.875 | 6.04 | 32 |
| 0.88 | 6.19 | 31 |
| 0.885 | 6.35 | 28 |
| 0.89 | 6.47 | 25 |
| 0.895 | 6.6 | 23 |
| 0.9 | 6.7 | 20 |
| 0.905 | 6.8 | 17 |
| 0.91 | 6.87 | 14 |
| 0.915 | 6.94 | 11 |
| 0.92 | 6.98 | 11 |
| 0.93 | 7.15 | 13.5 |
| 0.94 | 7.25 | 9.5 |
| 0.95 | 7.34 | 9 |
| 0.96 | 7.43 | 8.5 |
| 0.97 | 7.51 | 9 |
| 0.98 | 7.61 | 9 |
| 0.99 | 7.69 | 8.5 |
| 1 | 7.78 | 9.5 |
| 1.01 | 7.88 | 10 |
| 1.02 | 7.98 | 10.5 |
| 1.03 | 8.09 | 11.5 |
| 1.04 | 8.21 | 13.5 |
| 1.05 | 8.36 | 18.3333333 |
| 1.055 | 8.46 | 20 |
| 1.06 | 8.56 | 21 |
| 1.065 | 8.67 | 25 |
| 1.07 | 8.81 | 28 |
| 1.075 | 8.95 | 30 |
| 1.08 | 9.11 | 27 |
| 1.085 | 9.22 | 20 |
| 1.09 | 9.31 | 20 |
| 1.095 | 9.42 | 19 |
| 1.1 | 9.5 | 21 |
| 1.105 | 9.63 | 15 |
| 1.11 | 9.65 | 8 |
| 1.115 | 9.71 | 10.6 |
| 1.135 | 9.81 | 7.25 |
| 1.155 | 10 | 7.25 |
| 1.175 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1168 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.60** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2264 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 33.0 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00230 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.07828 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 34.57 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 3.269 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 37.84 %wt |

**ตารางที่ ฉ.60** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 1 ของขวด HDPE

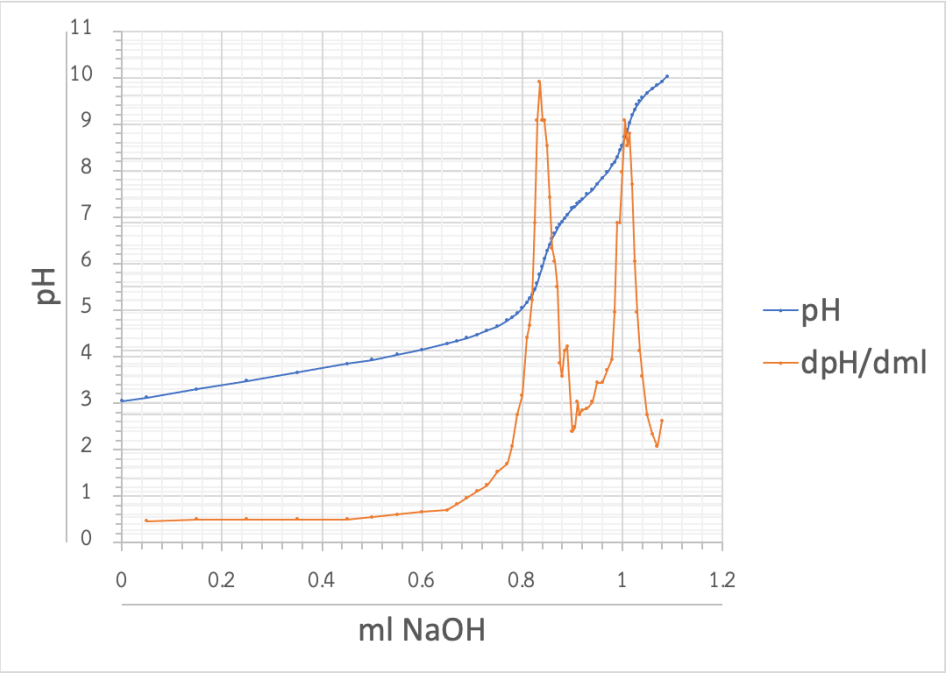
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.94 | |
| 0.1 | 3.06 | 1.35 |
| 0.2 | 3.21 | 1.5 |
| 0.3 | 3.36 | 1.55 |
| 0.4 | 3.52 | 1.65 |
| 0.5 | 3.69 | 1.7 |
| 0.6 | 3.86 | 1.8 |
| 0.7 | 4.05 | 2.5 |
| 0.75 | 4.19 | 3.2 |
| 0.8 | 4.37 | 4.24285714 |
| 0.82 | 4.46 | 5.25 |
| 0.84 | 4.58 | 7.25 |
| 0.86 | 4.75 | 10.8333333 |
| 0.87 | 4.87 | 12.5 |
| 0.88 | 5 | 17.6666667 |
| 0.885 | 5.1 | 23 |
| 0.89 | 5.23 | 26 |
| 0.895 | 5.36 | 33 |
| 0.9 | 5.56 | 37 |
| 0.905 | 5.73 | 30 |
| 0.91 | 5.86 | 28 |
| 0.915 | 6.01 | 26 |
| 0.92 | 6.12 | 20 |
| 0.925 | 6.21 | 17 |
| 0.93 | 6.29 | 16 |
| 0.935 | 6.37 | 14 |
| 0.94 | 6.43 | 10 |
| 0.945 | 6.47 | 8 |
| 0.95 | 6.51 | 9 |
| 0.955 | 6.56 | 9 |
| 0.96 | 6.6 | 8.33333333 |
| 0.97 | 6.69 | 9.5 |
| 0.98 | 6.79 | 9.5 |
| 0.99 | 6.88 | 8 |
| 1 | 6.95 | 7.5 |
| 1.01 | 7.03 | 8 |
| 1.02 | 7.11 | 7.5 |
| 1.03 | 7.18 | 7 |
| 1.04 | 7.25 | 8 |
| 1.05 | 7.34 | 8.5 |
| 1.06 | 7.42 | 8 |
| 1.07 | 7.5 | 8.5 |
| 1.08 | 7.59 | 10.5 |
| 1.09 | 7.71 | 11.5 |
| 1.1 | 7.82 | 13.5 |
| 1.11 | 7.98 | 17.5 |
| 1.12 | 8.17 | 22.3333333 |
| 1.125 | 8.29 | 25 |
| 1.13 | 8.42 | 27 |
| 1.135 | 8.56 | 25 |
| 1.14 | 8.67 | 22 |
| 1.145 | 8.78 | 21 |
| 1.15 | 8.88 | 18 |
| 1.155 | 8.96 | 15 |
| 1.16 | 9.03 | 14 |
| 1.165 | 9.1 | 12.6666667 |
| 1.175 | 9.2 | 9.5 |
| 1.185 | 9.29 | 8 |
| 1.195 | 9.36 | 7 |
| 1.205 | 9.43 | 6.33333333 |
| 1.225 | 9.53 | 5 |
| 1.245 | 9.63 | 4.5 |
| 1.265 | 9.71 | 3.77142857 |
| 1.315 | 9.87 | 3 |
| 1.365 | 10.01 | 2.4 |
| 1.415 | 10.11 | 1.8 |
| 1.465 | 10.19 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 1 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1083 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.61** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 1 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 1**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2440 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 34.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00240 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.08160 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 33.44 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 2.759 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 36.20 %wt |

**ตารางที่ ฉ.61** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 1 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.04 | |
| 0.05 | 3.12 | 1.66666667 |
| 0.15 | 3.3 | 1.8 |
| 0.25 | 3.48 | 1.8 |
| 0.35 | 3.66 | 1.8 |
| 0.45 | 3.84 | 1.8 |
| 0.5 | 3.93 | 2 |
| 0.55 | 4.04 | 2.2 |
| 0.6 | 4.15 | 2.4 |
| 0.65 | 4.28 | 2.52857143 |
| 0.67 | 4.33 | 3 |
| 0.69 | 4.4 | 3.5 |
| 0.71 | 4.47 | 4 |
| 0.73 | 4.56 | 4.5 |
| 0.75 | 4.65 | 5.5 |
| 0.77 | 4.78 | 6.16666667 |
| 0.78 | 4.84 | 7.5 |
| 0.79 | 4.93 | 10 |
| 0.8 | 5.04 | 11.5 |
| 0.81 | 5.16 | 16 |
| 0.815 | 5.25 | 17 |
| 0.82 | 5.33 | 19 |
| 0.825 | 5.44 | 25 |
| 0.83 | 5.58 | 33 |
| 0.835 | 5.77 | 36 |
| 0.84 | 5.94 | 33 |
| 0.845 | 6.1 | 33 |
| 0.85 | 6.27 | 31 |
| 0.855 | 6.41 | 27 |
| 0.86 | 6.54 | 23 |
| 0.865 | 6.64 | 22 |
| 0.87 | 6.76 | 20 |

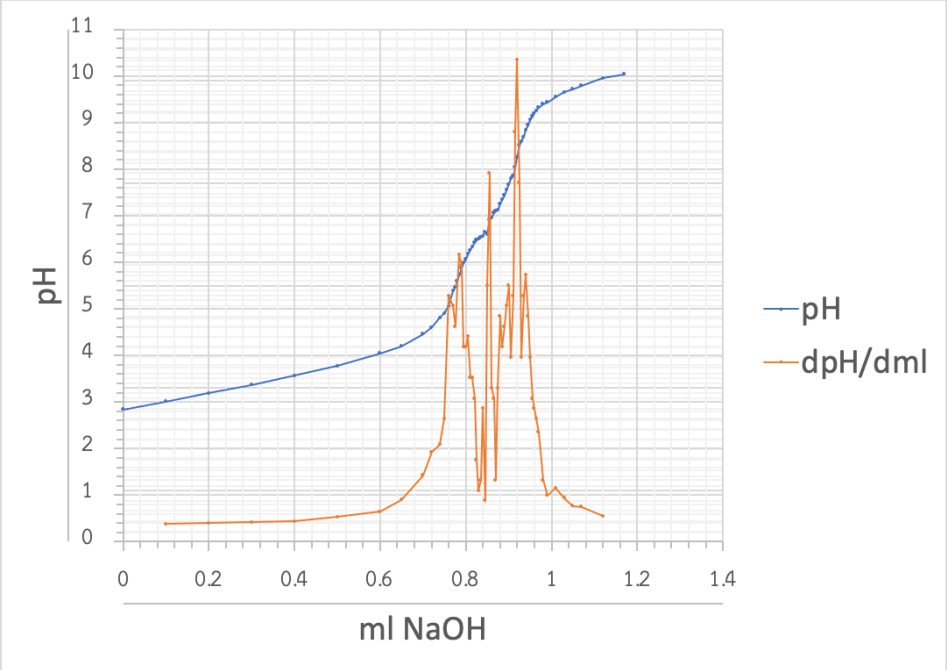
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.875 | 6.84 | 14 |
| 0.88 | 6.9 | 13 |
| 0.885 | 6.97 | 15 |
| 0.89 | 7.05 | 15.3333333 |
| 0.9 | 7.19 | 8.66666667 |
| 0.905 | 7.22 | 9 |
| 0.91 | 7.28 | 11 |
| 0.915 | 7.33 | 10 |
| 0.92 | 7.38 | 10.3333333 |
| 0.93 | 7.49 | 10.5 |
| 0.94 | 7.59 | 11 |
| 0.95 | 7.71 | 12.5 |
| 0.96 | 7.84 | 12.5 |
| 0.97 | 7.96 | 13.5 |
| 0.98 | 8.11 | 14.3333333 |
| 0.985 | 8.18 | 18 |
| 0.99 | 8.29 | 25 |
| 0.995 | 8.43 | 25 |
| 1 | 8.54 | 29 |
| 1.005 | 8.72 | 33 |
| 1.01 | 8.87 | 31 |
| 1.015 | 9.03 | 32 |
| 1.02 | 9.19 | 28 |
| 1.025 | 9.31 | 22 |
| 1.03 | 9.41 | 18 |
| 1.035 | 9.49 | 15 |
| 1.04 | 9.56 | 13 |
| 1.05 | 9.67 | 10 |
| 1.06 | 9.76 | 8.5 |
| 1.07 | 9.84 | 7.5 |
| 1.08 | 9.91 | 9.5 |
| 1.09 | 10.03 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1083 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.62** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2440 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 34.4 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00240 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.08160 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 33.44 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 2.759 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 36.20 %wt |

**ตารางที่ ฉ.62** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 2 ของแก้วไพเร็กซ์

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.84 | |
| 0.1 | 3.01 | 1.75 |
| 0.2 | 3.19 | 1.8 |
| 0.3 | 3.37 | 1.9 |
| 0.4 | 3.57 | 2 |
| 0.5 | 3.77 | 2.4 |
| 0.6 | 4.05 | 2.93333333 |
| 0.65 | 4.2 | 4.1 |
| 0.7 | 4.46 | 6.48571429 |
| 0.72 | 4.6 | 8.75 |
| 0.74 | 4.81 | 9.5 |
| 0.75 | 4.9 | 12 |
| 0.76 | 5.05 | 24 |
| 0.77 | 5.38 | 23 |
| 0.775 | 5.47 | 21 |
| 0.78 | 5.59 | 25 |
| 0.785 | 5.72 | 28 |
| 0.79 | 5.87 | 27 |
| 0.795 | 5.99 | 19 |
| 0.8 | 6.06 | 19 |
| 0.805 | 6.18 | 20 |
| 0.81 | 6.26 | 16 |
| 0.815 | 6.34 | 16 |
| 0.82 | 6.42 | 14 |
| 0.825 | 6.48 | 8 |
| 0.83 | 6.5 | 5 |
| 0.835 | 6.53 | 6 |
| 0.84 | 6.56 | 13 |
| 0.845 | 6.66 | 4 |
| 0.85 | 6.6 | 25 |
| 0.855 | 6.91 | 36 |

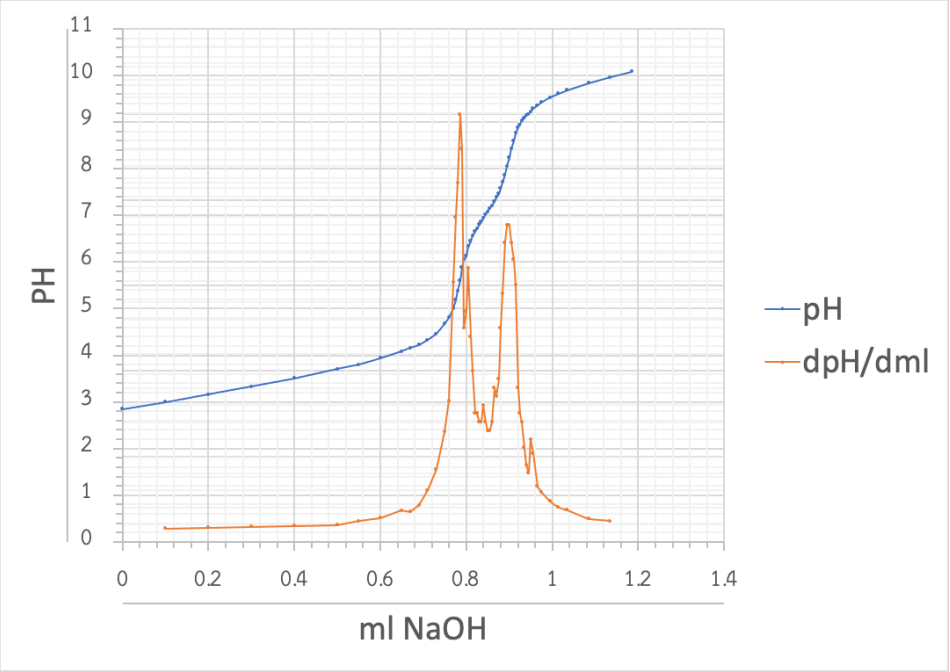
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.86 | 6.96 | 15 |
| 0.865 | 7.06 | 14 |
| 0.87 | 7.1 | 6 |
| 0.875 | 7.12 | 15 |
| 0.88 | 7.25 | 22 |
| 0.885 | 7.34 | 19 |
| 0.89 | 7.44 | 21 |
| 0.895 | 7.55 | 23 |
| 0.9 | 7.67 | 25 |
| 0.905 | 7.8 | 18 |
| 0.91 | 7.85 | 24 |
| 0.915 | 8.04 | 40 |
| 0.92 | 8.25 | 47 |
| 0.925 | 8.51 | 35 |
| 0.93 | 8.6 | 18 |
| 0.935 | 8.69 | 24 |
| 0.94 | 8.84 | 26 |
| 0.945 | 8.95 | 22 |
| 0.95 | 9.06 | 18 |
| 0.955 | 9.13 | 14 |
| 0.96 | 9.2 | 13 |
| 0.965 | 9.26 | 12 |
| 0.97 | 9.32 | 10.6666667 |
| 0.98 | 9.4 | 6 |
| 0.99 | 9.44 | 4.5 |
| 1.01 | 9.55 | 5.25 |
| 1.03 | 9.65 | 4.25 |
| 1.05 | 9.72 | 3.5 |
| 1.07 | 9.79 | 3.41428571 |
| 1.12 | 9.95 | 2.5 |
| 1.17 | 10.04 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1176 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.63** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2390 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 29.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00208 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.07068 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 29.57 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.588 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 31.16 %wt |

**ตารางที่ ฉ.63** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 2 ของขวด HDPE

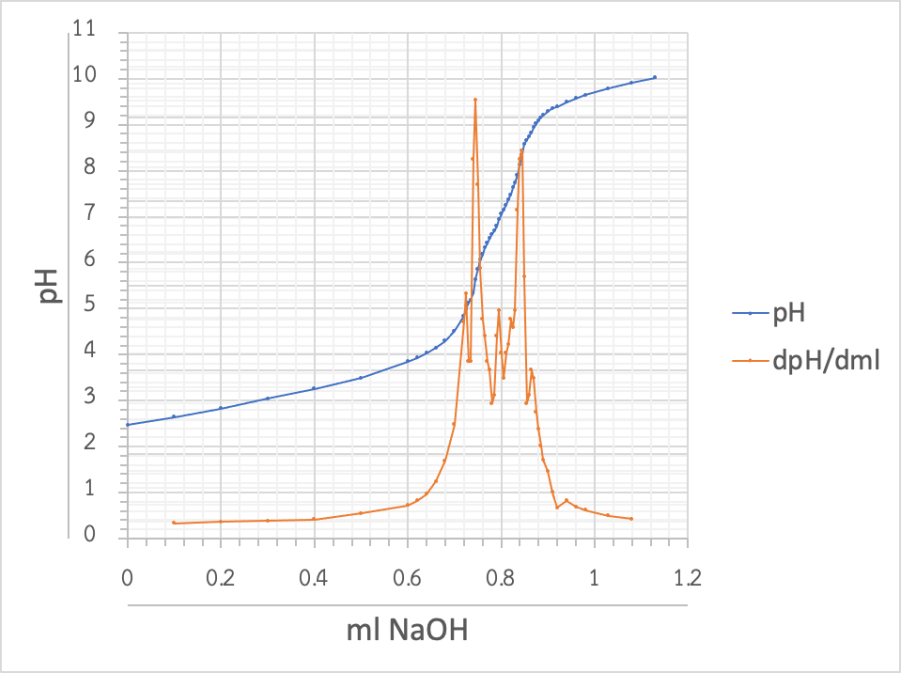
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.85 | |
| 0.1 | 3 | 1.55 |
| 0.2 | 3.16 | 1.65 |
| 0.3 | 3.33 | 1.75 |
| 0.4 | 3.51 | 1.85 |
| 0.5 | 3.7 | 1.96666667 |
| 0.55 | 3.8 | 2.4 |
| 0.6 | 3.94 | 2.8 |
| 0.65 | 4.08 | 3.65714286 |
| 0.67 | 4.16 | 3.5 |
| 0.69 | 4.22 | 4.25 |
| 0.71 | 4.33 | 6 |
| 0.73 | 4.46 | 8.5 |
| 0.75 | 4.67 | 12.8333333 |
| 0.76 | 4.81 | 16.5 |
| 0.77 | 5 | 30.3333333 |
| 0.775 | 5.18 | 38 |
| 0.78 | 5.38 | 42 |
| 0.785 | 5.6 | 50 |
| 0.79 | 5.88 | 46 |
| 0.795 | 6.06 | 25 |
| 0.8 | 6.13 | 27 |
| 0.805 | 6.33 | 32 |
| 0.81 | 6.45 | 24 |
| 0.815 | 6.57 | 20 |
| 0.82 | 6.65 | 15 |
| 0.825 | 6.72 | 15 |
| 0.83 | 6.8 | 14 |
| 0.835 | 6.86 | 14 |
| 0.84 | 6.94 | 16 |
| 0.845 | 7.02 | 14 |
| 0.85 | 7.08 | 13 |
| 0.855 | 7.15 | 13 |
| 0.86 | 7.21 | 14 |
| 0.865 | 7.29 | 18 |
| 0.87 | 7.39 | 17 |
| 0.875 | 7.46 | 19 |
| 0.88 | 7.58 | 25 |
| 0.885 | 7.71 | 29 |
| 0.89 | 7.87 | 35 |
| 0.895 | 8.06 | 37 |
| 0.9 | 8.24 | 37 |
| 0.905 | 8.43 | 35 |
| 0.91 | 8.59 | 33 |
| 0.915 | 8.76 | 30 |
| 0.92 | 8.89 | 18 |
| 0.925 | 8.94 | 15 |
| 0.93 | 9.04 | 14 |
| 0.935 | 9.08 | 11 |
| 0.94 | 9.15 | 9 |
| 0.945 | 9.17 | 8 |
| 0.95 | 9.23 | 12 |
| 0.955 | 9.29 | 10.3333333 |
| 0.965 | 9.36 | 6.5 |
| 0.975 | 9.42 | 5.83333333 |
| 0.995 | 9.53 | 4.75 |
| 1.015 | 9.61 | 4 |
| 1.035 | 9.69 | 3.71428571 |
| 1.085 | 9.84 | 2.7 |
| 1.135 | 9.96 | 2.4 |
| 1.185 | 10.08 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 2 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1157 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.64** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 2**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2280 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 28.2 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00197 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.0669 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 29.34 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 1.435 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 30.77 %wt |

**ตารางที่ ฉ.64** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 2 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.47 | |
| 0.1 | 2.64 | 1.8 |
| 0.2 | 2.83 | 2 |
| 0.3 | 3.04 | 2.1 |
| 0.4 | 3.25 | 2.25 |
| 0.5 | 3.49 | 3 |
| 0.6 | 3.85 | 3.93333333 |
| 0.62 | 3.93 | 4.5 |
| 0.64 | 4.03 | 5.25 |
| 0.66 | 4.14 | 6.75 |
| 0.68 | 4.3 | 9.25 |
| 0.7 | 4.51 | 13.5 |
| 0.72 | 4.84 | 25.7 |
| 0.725 | 4.98 | 29 |
| 0.73 | 5.13 | 21 |
| 0.735 | 5.19 | 21 |
| 0.74 | 5.34 | 45 |
| 0.745 | 5.64 | 52 |
| 0.75 | 5.86 | 42 |
| 0.755 | 6.06 | 32 |
| 0.76 | 6.18 | 26 |
| 0.765 | 6.32 | 24 |
| 0.77 | 6.42 | 21 |
| 0.775 | 6.53 | 20 |
| 0.78 | 6.62 | 16 |
| 0.785 | 6.69 | 17 |
| 0.79 | 6.79 | 24 |
| 0.795 | 6.93 | 27 |

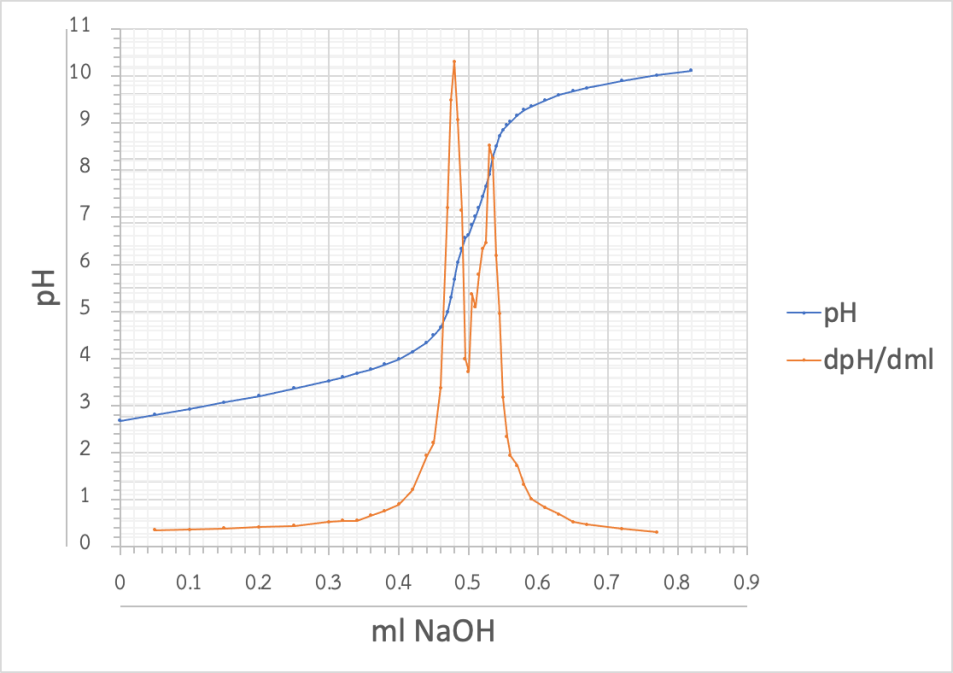
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.8 | 7.06 | 22 |
| 0.805 | 7.15 | 19 |
| 0.81 | 7.25 | 22 |
| 0.815 | 7.37 | 23 |
| 0.82 | 7.48 | 26 |
| 0.825 | 7.63 | 25 |
| 0.83 | 7.73 | 27 |
| 0.835 | 7.9 | 39 |
| 0.84 | 8.12 | 45 |
| 0.845 | 8.35 | 46 |
| 0.85 | 8.58 | 31 |
| 0.855 | 8.66 | 16 |
| 0.86 | 8.74 | 17 |
| 0.865 | 8.83 | 20 |
| 0.87 | 8.94 | 19 |
| 0.875 | 9.02 | 15 |
| 0.88 | 9.09 | 13 |
| 0.885 | 9.15 | 11 |
| 0.89 | 9.2 | 9.33333333 |
| 0.9 | 9.28 | 8 |
| 0.91 | 9.36 | 5.5 |
| 0.92 | 9.39 | 3.66666667 |
| 0.94 | 9.49 | 4.5 |
| 0.96 | 9.57 | 3.75 |
| 0.98 | 9.64 | 3.35714286 |
| 1.03 | 9.79 | 2.7 |
| 1.08 | 9.91 | 2.3 |
| 1.13 | 10.02 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 4 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1100 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.65** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 4 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 4**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2198 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 22.8 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00159 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05408 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 24.60 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.7548 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 25.36 %wt |

**ตารางที่ ฉ.65** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 4 ของแก้วไพเร็กซ์

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.67 | |
| 0.05 | 2.8 | 2.5 |
| 0.1 | 2.92 | 2.6 |
| 0.15 | 3.06 | 2.8 |
| 0.2 | 3.2 | 3 |
| 0.25 | 3.36 | 3.2 |
| 0.3 | 3.52 | 3.77142857 |
| 0.32 | 3.6 | 4 |
| 0.34 | 3.68 | 4 |
| 0.36 | 3.76 | 4.75 |
| 0.38 | 3.87 | 5.5 |
| 0.4 | 3.98 | 6.5 |
| 0.42 | 4.13 | 8.75 |
| 0.44 | 4.33 | 14 |
| 0.45 | 4.49 | 16 |
| 0.46 | 4.65 | 24.5 |
| 0.47 | 4.98 | 52.3333333 |
| 0.475 | 5.29 | 69 |
| 0.48 | 5.67 | 75 |
| 0.485 | 6.04 | 66 |
| 0.49 | 6.33 | 52 |
| 0.495 | 6.56 | 29 |
| 0.5 | 6.62 | 27 |
| 0.505 | 6.83 | 39 |
| 0.51 | 7.01 | 37 |
| 0.515 | 7.2 | 42 |
| 0.52 | 7.43 | 46 |
| 0.525 | 7.66 | 47 |
| 0.53 | 7.9 | 62 |
| 0.535 | 8.28 | 60 |
| 0.54 | 8.5 | 45 |

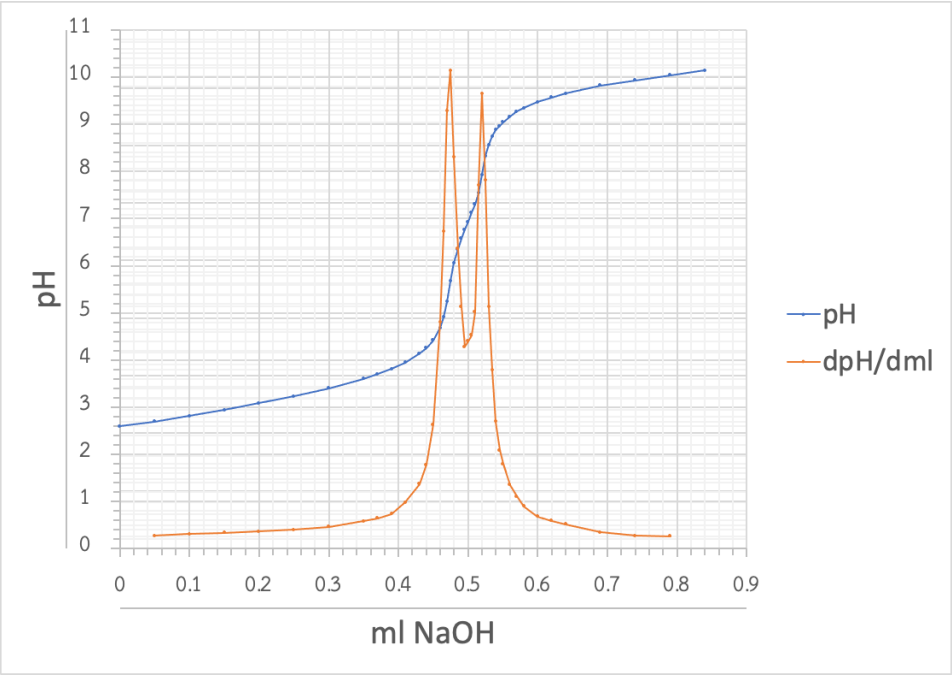
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.545 | 8.73 | 36 |
| 0.55 | 8.86 | 23 |
| 0.555 | 8.96 | 17 |
| 0.56 | 9.03 | 14 |
| 0.57 | 9.17 | 12.5 |
| 0.58 | 9.28 | 9.5 |
| 0.59 | 9.36 | 7.33333333 |
| 0.61 | 9.48 | 6 |
| 0.63 | 9.6 | 5 |
| 0.65 | 9.68 | 3.75 |
| 0.67 | 9.75 | 3.35714286 |
| 0.72 | 9.9 | 2.7 |
| 0.77 | 10.02 | 2.2 |
| 0.82 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 4 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1125 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.66** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 4 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 4**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2237 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 22.9 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00160 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05432 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 24.28 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.6642 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 24.95 %wt |

**ตารางที่ ฉ.66** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 4 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.59 | |
| 0.05 | 2.69 | 2.2 |
| 0.1 | 2.81 | 2.5 |
| 0.15 | 2.94 | 2.7 |
| 0.2 | 3.08 | 2.9 |
| 0.25 | 3.23 | 3.2 |
| 0.3 | 3.4 | 3.7 |
| 0.35 | 3.6 | 4.71428571 |
| 0.37 | 3.7 | 5.25 |
| 0.39 | 3.81 | 6 |
| 0.41 | 3.94 | 8 |
| 0.43 | 4.13 | 11.1666667 |
| 0.44 | 4.25 | 14.5 |
| 0.45 | 4.42 | 21.5 |
| 0.46 | 4.68 | 39.3333333 |
| 0.465 | 4.91 | 55 |
| 0.47 | 5.23 | 76 |
| 0.475 | 5.67 | 83 |
| 0.48 | 6.06 | 68 |
| 0.485 | 6.35 | 52 |
| 0.49 | 6.58 | 42 |
| 0.495 | 6.77 | 35 |
| 0.5 | 6.93 | 36 |
| 0.505 | 7.13 | 37 |
| 0.51 | 7.3 | 41 |
| 0.515 | 7.54 | 63 |
| 0.52 | 7.93 | 79 |
| 0.525 | 8.33 | 64 |
| 0.53 | 8.57 | 42 |
| 0.535 | 8.75 | 31 |
| 0.54 | 8.88 | 22 |

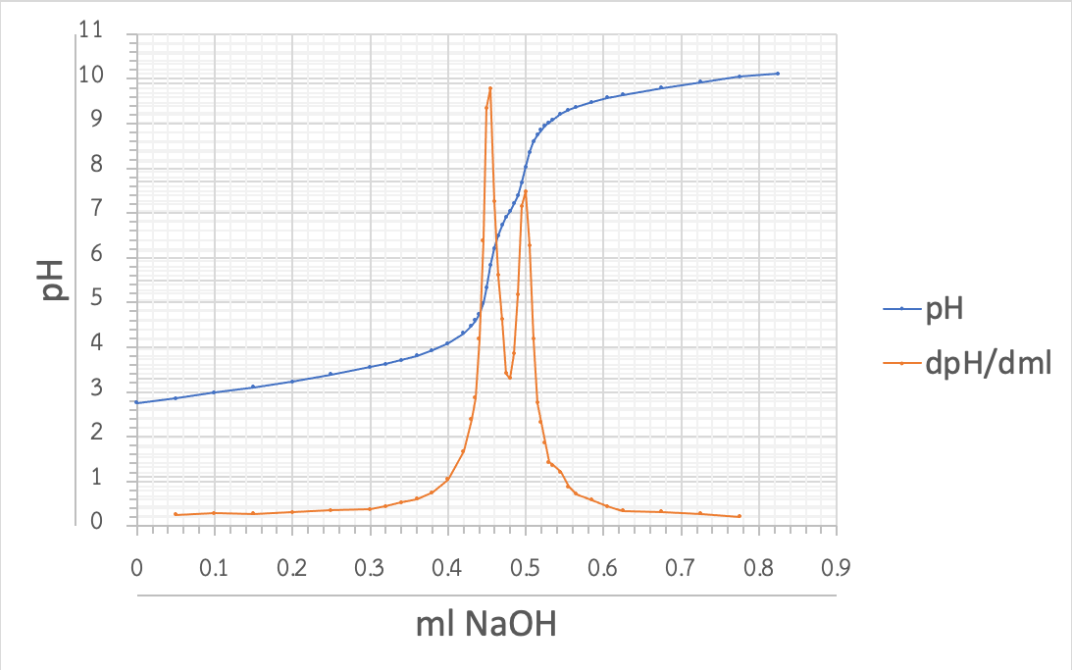
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.545 | 8.97 | 17 |
| 0.55 | 9.05 | 14.6666667 |
| 0.56 | 9.17 | 11 |
| 0.57 | 9.27 | 9 |
| 0.58 | 9.35 | 7.33333333 |
| 0.6 | 9.47 | 5.5 |
| 0.62 | 9.57 | 4.75 |
| 0.64 | 9.66 | 4.18571429 |
| 0.69 | 9.83 | 2.8 |
| 0.74 | 9.94 | 2.2 |
| 0.79 | 10.05 | 2.1 |
| 0.84 | 10.15 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 4 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1126 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.67** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 4 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 4**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2222 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 22.1 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00154 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.05242 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 23.59 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.6636 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 24.26 %wt |

**ตารางที่ ฉ.67** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 4 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 2.75 | |
| 0.05 | 2.85 | 2.3 |
| 0.1 | 2.98 | 2.6 |
| 0.15 | 3.11 | 2.5 |
| 0.2 | 3.23 | 2.8 |
| 0.25 | 3.39 | 3.2 |
| 0.3 | 3.55 | 3.41428571 |
| 0.32 | 3.62 | 4 |
| 0.34 | 3.71 | 4.75 |
| 0.36 | 3.81 | 5.5 |
| 0.38 | 3.93 | 6.75 |
| 0.4 | 4.08 | 9.5 |
| 0.42 | 4.31 | 15.1666667 |
| 0.43 | 4.48 | 21.6666667 |
| 0.435 | 4.6 | 26 |
| 0.44 | 4.74 | 38 |
| 0.445 | 4.98 | 58 |
| 0.45 | 5.32 | 85 |
| 0.455 | 5.83 | 89 |
| 0.46 | 6.21 | 66 |
| 0.465 | 6.49 | 51 |
| 0.47 | 6.72 | 42 |
| 0.475 | 6.91 | 31 |
| 0.48 | 7.03 | 30 |
| 0.485 | 7.21 | 35 |
| 0.49 | 7.38 | 47 |
| 0.495 | 7.68 | 65 |
| 0.5 | 8.03 | 68 |
| 0.505 | 8.36 | 57 |
| 0.51 | 8.6 | 38 |
| 0.515 | 8.74 | 25 |
| 0.52 | 8.85 | 21 |

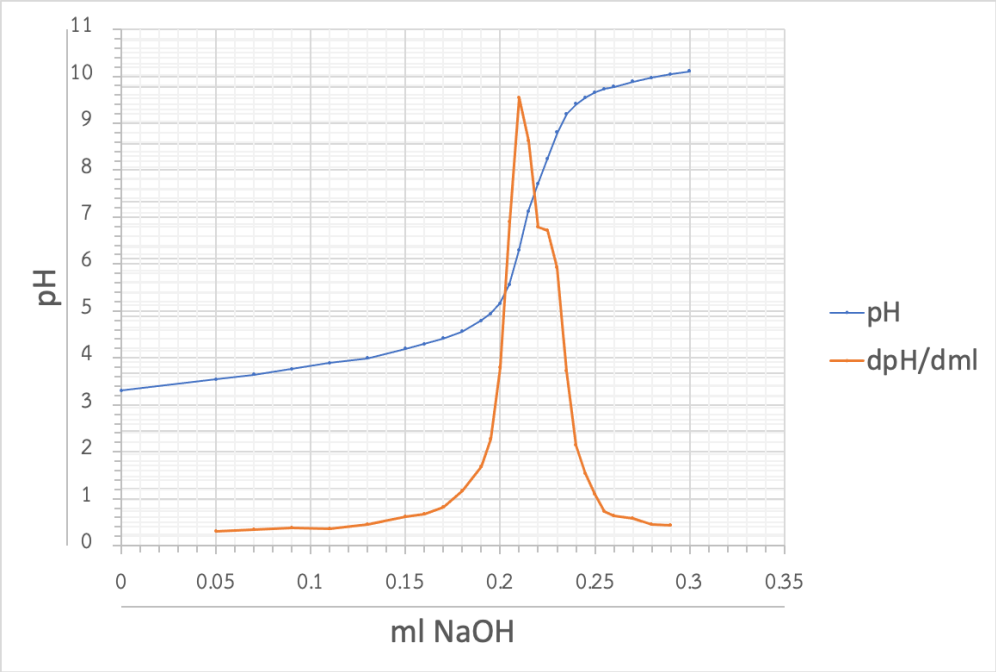
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.525 | 8.95 | 17 |
| 0.53 | 9.02 | 13 |
| 0.535 | 9.08 | 12.3333333 |
| 0.545 | 9.21 | 11 |
| 0.555 | 9.3 | 8 |
| 0.565 | 9.37 | 6.5 |
| 0.585 | 9.48 | 5.25 |
| 0.605 | 9.58 | 4 |
| 0.625 | 9.64 | 3.05714286 |
| 0.675 | 9.8 | 2.9 |
| 0.725 | 9.93 | 2.5 |
| 0.775 | 10.05 | 1.9 |
| 0.825 | 10.12 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 8 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

<u>แก้วไพเร็กซ์</u>

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1087 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.68** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 8 ของแก้วไพเร็กซ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 8**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2144 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 17.9 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00123 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.04245 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 19.80 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.00 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 19.80 %wt |

**ตารางที่ ฉ.68** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 8 ของแก้วไพเร็กซ์

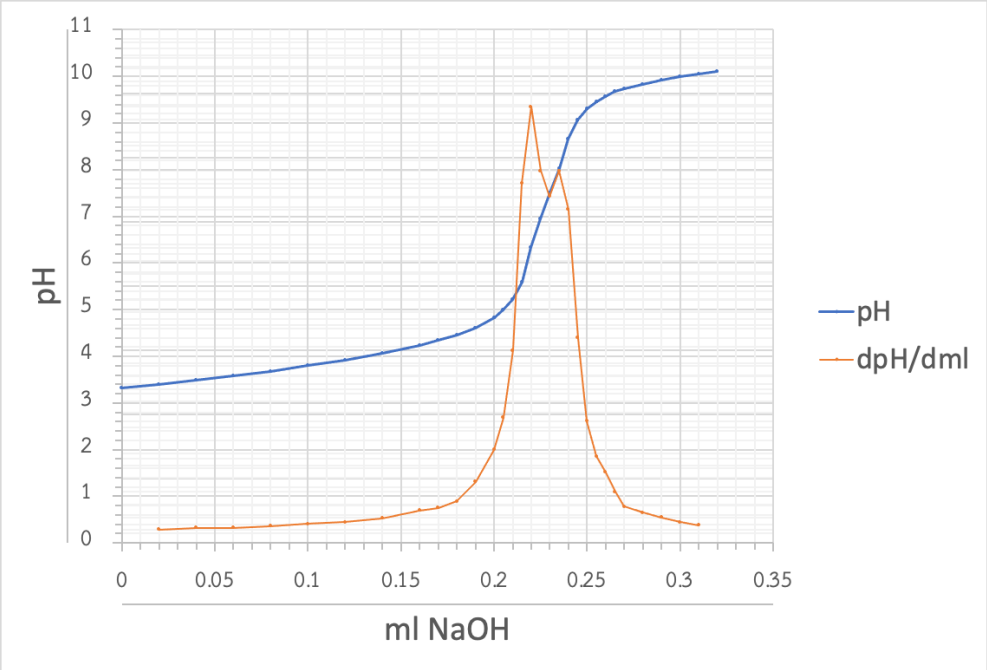
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.3 | |
| 0.05 | 3.54 | 4.94285714 |
| 0.07 | 3.64 | 5.5 |
| 0.09 | 3.76 | 6.25 |
| 0.11 | 3.89 | 5.75 |
| 0.13 | 3.99 | 7.5 |
| 0.15 | 4.19 | 10 |
| 0.16 | 4.29 | 11 |
| 0.17 | 4.41 | 13.5 |
| 0.18 | 4.56 | 19 |
| 0.19 | 4.79 | 27.6666667 |
| 0.195 | 4.94 | 37 |
| 0.2 | 5.16 | 62 |
| 0.205 | 5.56 | 113 |
| 0.21 | 6.29 | 156 |
| 0.215 | 7.12 | 141 |
| 0.22 | 7.7 | 111 |
| 0.225 | 8.23 | 110 |
| 0.23 | 8.8 | 97 |
| 0.235 | 9.2 | 61 |
| 0.24 | 9.41 | 35 |
| 0.245 | 9.55 | 25 |
| 0.25 | 9.66 | 18 |
| 0.255 | 9.73 | 12 |
| 0.26 | 9.78 | 10.3333333 |
| 0.27 | 9.89 | 9.5 |
| 0.28 | 9.97 | 7.5 |
| 0.29 | 10.04 | 7 |
| 0.3 | 10.11 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 8 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด HDPE

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.1077 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.69** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 8 ของขวด HDPE

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 8**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2089 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 16.5 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00115 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03914 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 18.74 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.2313 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 18.97 %wt |

**ตารางที่ ฉ.69** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 8 ของขวด HDPE

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.32 | |
| 0.02 | 3.4 | 4.25 |
| 0.04 | 3.49 | 4.75 |
| 0.06 | 3.59 | 4.75 |
| 0.08 | 3.68 | 5.25 |
| 0.1 | 3.8 | 6 |
| 0.12 | 3.92 | 6.5 |
| 0.14 | 4.06 | 7.75 |
| 0.16 | 4.23 | 10.1666667 |
| 0.17 | 4.34 | 11 |
| 0.18 | 4.45 | 13 |
| 0.19 | 4.6 | 19 |
| 0.2 | 4.83 | 29 |
| 0.205 | 4.99 | 39 |
| 0.21 | 5.22 | 60 |
| 0.215 | 5.59 | 112 |
| 0.22 | 6.34 | 136 |
| 0.225 | 6.95 | 116 |
| 0.23 | 7.5 | 108 |
| 0.235 | 8.03 | 116 |
| 0.24 | 8.66 | 104 |
| 0.245 | 9.07 | 64 |
| 0.25 | 9.3 | 38 |
| 0.255 | 9.45 | 27 |
| 0.26 | 9.57 | 22 |
| 0.265 | 9.67 | 16 |
| 0.27 | 9.73 | 11.3333333 |
| 0.28 | 9.83 | 9.5 |
| 0.29 | 9.92 | 8 |
| 0.3 | 9.99 | 6.5 |
| 0.31 | 10.05 | 5.5 |

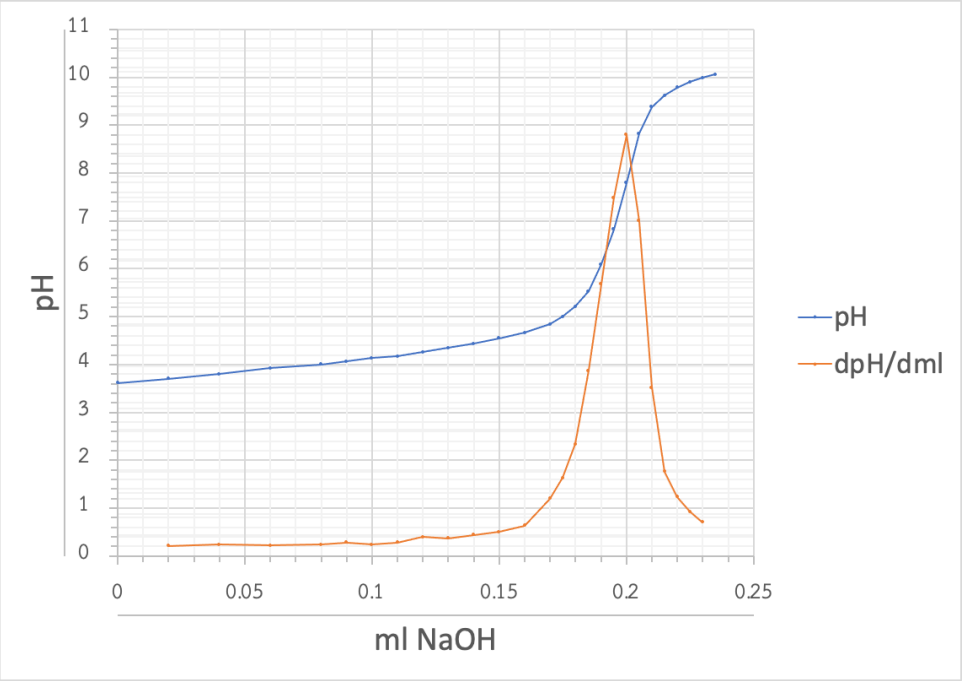
| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0.32 | 10.1 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
KORN UNIVERSITY

**ข้อมูลการสังเคราะห์กรดเปอร์ฟอร์มิกที่อัตราส่วนโดยโมล 1:1.6 ที่เตรียมโดยการทำปฏิกิริยากันระหว่าง FA 20 ml กับ$H_2O_2$ 40 ml ในวันที 8 ของภาชนะบรรจุทั้ง 3 ชนิด**

ขวด PP

| | |
|---|---|
| น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้หากรดทั้งหมด | 0.0918 g |
| ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ | 0.4882 M |




**รูปที่ ฉ.70** กราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับค่า pH และกราฟระหว่างปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่หยดกับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า pH (ค่า dpH/dml) ในวันที่ 2 ของขวด PP

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**การหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ($H_2O_2$) ที่เหลืออยู่วันที่ 8**

| | |
|---|---|
| ไทเทรต $H_2O_2$ 2 ครั้ง น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวอย่างที่ใช้ | 0.2110 g |
| ปริมาณรวมทั้งหมดของสารละลาย $KMnO_4$ ที่ใช้ | 16.3 ml |
| ความเข้มข้นของสารละลาย $KMnO_4$ | 0.02789 M |
| จำนวนโมลของ $H_2O_2$ | 0.00114 mol |
| คิดเป็นน้ำหนัก | 0.03866 g |
| wt% $H_2O_2$ ที่เหลือ | 18.32 %wt |
| wt% $H_2O_2$ ที่ไปเป็น PFA | 0.00 %wt |
| Total wt% ของ $H_2O_2$ | 18.32 %wt |

**ตารางที่ ฉ.70** ผลการไทเทรตโดยการวัดค่า pH หลังหยดสารละลาย NaOH ในวันที่ 8 ของขวด PP

| ml | pH | dpH/dml |
|---|---|---|
| 0 | 3.61 | |
| 0.02 | 3.7 | 4.75 |
| 0.04 | 3.8 | 5.5 |
| 0.06 | 3.92 | 5 |
| 0.08 | 4 | 5.33333333 |
| 0.09 | 4.06 | 6.5 |
| 0.1 | 4.13 | 5.5 |
| 0.11 | 4.17 | 6.5 |
| 0.12 | 4.26 | 9 |
| 0.13 | 4.35 | 8.5 |
| 0.14 | 4.43 | 10 |
| 0.15 | 4.55 | 11.5 |
| 0.16 | 4.66 | 14.5 |
| 0.17 | 4.84 | 27.3333333 |
| 0.175 | 5 | 37 |
| 0.18 | 5.21 | 53 |
| 0.185 | 5.53 | 88 |
| 0.19 | 6.09 | 129 |
| 0.195 | 6.82 | 170 |
| 0.2 | 7.79 | 200 |
| 0.205 | 8.82 | 159 |
| 0.21 | 9.38 | 80 |
| 0.215 | 9.62 | 40 |
| 0.22 | 9.78 | 28 |
| 0.225 | 9.9 | 21 |
| 0.23 | 9.99 | 16 |
| 0.235 | 10.06 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ORN UNIVERSITY

# บรรณานุกรม

1. *<UHMWPE.pdf>.*



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[1.] Sun, X., et al., Kinetics of Formic Acid-autocatalyzed Preparation of Performic Acid in Aqueous Phase. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2011. 19(6): p. 964-971.

[2.] Jolhe, P.D., et al., Ultrasound assisted synthesis of performic acid in a continuous flow microstructured reactor. Ultrason Sonochem, 2017. 39: p. 153-159.

[3.] “Performic acid.” https://en.wikipedia.org/wiki/Performic_acid (accessed 16 กุมภาพันธ์, 2023).

[4.] Santacesaria, E., et al., Kinetics of Performic Acid Synthesis and Decomposition. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2017. 56(45): p. 12940-12952.

[5.] “Formic acid.” https://en.wikipedia.org/wiki/Formic_acid (accessed 22 กุมภาพันธ์, 2023).

[6.] Song, Z., et al., Formic acid formation via direct hydration reaction ($CO + H_2O \longrightarrow HCOOH$) on magnesia-silver composite. Applied Surface Science, 2023. 607.

[7.] Gharib, A. and A. Arab, Decomposition of formic acid via carboxyl mechanism on the graphene nanosheet decorated by Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Pd, Ag, and Cd metals: A DFT study. International Journal of Hydrogen Energy, 2023. 48(2): p. 566-575.

[8.] “ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.” https://th.wikipedia.org/wiki/ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (accessed 22 กุมภาพันธ์, 2023).

[9.] “Hydrogen peroxide.” https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_peroxide (accessed 22 กุมภาพันธ์, 2023).

[10.] Chen, J.-H., J.-W. Xu, and C.-X. Shing, Decomposition rate of hydrogen peroxide bleaching agents under various chemical and physical conditions. The Journal of Prosthetic Dentistry, 1993. 69(1): p. 46-48.

[11.] National Center for Biotechnology Information. "PubChem Compound Summary for CID 784, Hydrogen Peroxide" PubChem, https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Hydrogen-Peroxide. Accessed 22 February, 2023.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[12.] “Hydrogen peroxide. “ http://fdathaiteci.fda.moph.go.th/PDF1700/0164.pdf https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_peroxide (accessed 23 กุมภาพันธ์, 2023).

[13.] National Center for Biotechnology Information. "PubChem Compound Summary for CID 66051, Performic acid" PubChem, https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Performic-acid. Accessed 25 February, 2023.

[14.] Keating, K.B. and A.G. Rozner, Decomposition of Hydrogen Peroxide on Glass. The Journal of Physical Chemistry, 1965. **69**(10): p. 3658-3660.

[15.] Giguère, P.A. and I.D. Liu, KINETICS OF THE THERMAL DECOMPOSITION OF HYDROGEN PEROXIDE VAPOR. Canadian Journal of Chemistry, 1957. **35**(4): p. 283-293.

[16] M. Goldman, R.G., G. G. Long, L. Pruitt, The effects of hydrogen peroxide and sterilization on the structure of ultra high molecular weight polyethylene. Elsevier Science Limited, 1998. 62: p. 97-104.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นางสาวนลพรรณ หน่อนิล |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 12 มกราคม 2541 |
| **สถานที่เกิด** | นราธิวาส |
| **วุฒิการศึกษา** | สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย สตูลและได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมีจากมหาวิทยาลัยศิลปากร ในปี พ.ศ. 2563 |
| **ที่อยู่ปัจจุบัน** | 12 ม.2 ต.บางปอ อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000 |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY