สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด-เบส

ACID-BASE TITRATION PROGRAM

จุฬาภา ชูอำไพ
อภิชาต ทินกรศรีสุภาพ
อำนาจ กุลวัชรี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43036
วัน, เดือน, ปี 26 ส.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACID-BASE TITRATION PROGRAM

JULAPA CHU-AMPAI

APICHAT TINNAKORNSRISUPAP

AMNAJ KULWACHAREE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATHEMATICS AND COMPUTER SCIENCE

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด-เบส ACID-BASE TITRATION PROGRAM	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฬาภา ชูอำไพ	41056015
	นายอภิชาต ทินกรศรีสุภาพ	41056140
	นายอำนาจ กุลวัชรี	41056144
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์	
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีรวัฒน์ ประกอบผล	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เผชิญชัย ไชยสิทธิ์	

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ประจำปีการศึกษา 2544

คณะกรรมการสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อาจารย์วีระชัย ตันยะสิทธิ์	
กรรมการ	อาจารย์วิสันต์ ตั้งวงษ์เจริญ	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีรวัฒน์ ประกอบผล	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เผชิญชัย ไชยสิทธิ์	

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพรบูลย์ พันธรักษ์พงษ์)
หัวหน้าภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปัญหาพิเศษ	โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด-เบส	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฬาภา ชูอำไพ	41056015
	นายอภิชาต ทินกรศรีสุภาพ	41056140
	นายอำนาจ กุลวัชรี	41056144
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
ภาควิชา	คณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	วิทยาการคอมพิวเตอร์	
ปีการศึกษา	2544	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีรวัฒน์ ประกอบผล	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เผชิญชัย ไชยสิทธิ์	

บทคัดย่อ

โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด-เบส ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นสื่อการสอนในวิชาเคมี และเพื่ออำนวยความสะดวกในการคำนวณผลการทดลองในห้องปฏิบัติการทางเคมีในหัวข้อการไทเทรตกรด-เบส ซึ่งโปรแกรมนี้พัฒนาด้วย Microsoft Visual Basic 6.0 Enterprise Edition ที่มีส่วนที่ช่วยติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรม และโปรแกรมจะคำนวณผลการทดลองโดยใช้พื้นฐานทางทฤษฎีเคมีกรด-เบส

ระบบมีการทำงานเป็น 2 ส่วนคือ การจำลองสถานการณ์การทดลอง และการทำการทดลองจริง แต่ในปัญหาพิเศษฉบับนี้จะเน้นในเรื่องการจำลองสถานการณ์การทดลองที่จะให้ผู้ใช้ได้เห็นความเป็นไปของการทดลองไทเทรตอย่างชัดเจนโดยไม่ต้องปฏิบัติจริงในห้องทดลอง

จากการศึกษาและพัฒนาระบบทำให้ได้โปรแกรมที่สามารถจำลองสถานการณ์การทดลองไทเทรตกรด-เบส ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะเป็นไปตามการคำนวณของโปรแกรมตามทฤษฎีเคมีที่มีความถูกต้องแม่นยำ และโปรแกรมสามารถทำรายงานผลการทดลองที่เกิดจากการจำลองหรือจากแฟ้มข้อมูลผลการทดลองที่มีอยู่ได้ หลังการศึกษาผลการทำงานของระบบพบว่าโปรแกรมไม่เพียงแต่มีประสิทธิภาพในการสร้างและแสดงผลการทดลองแบบตารางข้อมูลและกราฟ แล้วยังสามารถนำไปพัฒนาให้เป็นโปรแกรมที่ทำงานในห้องปฏิบัติการทางเคมีได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Acid-Base Titration Program
Students	Miss Julapa Chu-Ampai 41056015
	Mr. Apichat Tinnakornsrisupap 41056140
	Mr. Amnarj Kulwacharee 41056144
Degree	Bachelor's Degree of Science
Department	Mathematics and Computer Science, Faculty of Science
Programme	Computer Science
Academic Year	2001
Special Project Advisor	Assistant Professor Teerawat Prakorbpol
	Assistant Professor Pachernchai Chaiyasith

ABSTRACT

The main purpose of Acid-Base Titration Program is the learning tool and concluding the result of the experiment in laboratory about acid-base titration. This program is developed by using Microsoft Visual Basic 6.0 Enterprise Edition, which consists of the serial port communication component, and is able to compute the result by acid-base theories basis.

The structure of application has 2 parts. The first part provides the simulated titration result by computer computing and the second part collects the titration results through the serial port. However this special project focuses on experimental simulation (the first part), therefore; user can exactly observe the titration result in computer instead doing the experiment in laboratory.

According to the system, it can actually simulate the acid-base titration experiment by the computer computing which base on chemistry theories. Moreover, the application is able to do the simulated result report and file report. Finally, we found that it is not only be an efficient program to make the results and display them by tables and graphs but also improve this program to facilitate for chemistry laboratory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษเรื่องโปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด-เบส สามารถลุล่วงไปด้วยดีตามวัตถุประสงค์ในการศึกษา คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์เผชิญชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่กรุณาในคำแนะนำทั้งด้านความรู้ความเข้าใจทางเคมี และแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมในฐานะที่เป็นผู้ใช้ระบบคนหนึ่ง รวมทั้งเป็นที่ปรึกษาปัญหาพิเศษร่วมกับ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล ซึ่งเป็นผู้ในคำปรึกษาในด้านการพัฒนาโปรแกรมให้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และทั้งสองท่านยังเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของปัญหาพิเศษฉบับนี้อีกด้วย

นอกจากนี้คณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้ความสนับสนุนด้านทุนทรัพย์ และเป็นกำลังใจ จนการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้สำเร็จด้วยดี อีกทั้ง ญาติพี่น้อง และเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้าน ต่าง ๆ มากบ้างน้อยบ้าง เกี่ยวกับปัญหาพิเศษไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

มีนาคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญภาพ.....VIII

รายการสัญลักษณ์.....XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....1

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา.....2

1.5 ขอบเขตของการศึกษา.....2

1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....3

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา.....4

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

1.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....4

บทที่ 2 ทฤษฎีการคำนวณทางเคมี และหลักการของพอร์ตอนุกรม.....7

2.1 การวิเคราะห์ทางเคมี.....7

2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเคมี.....7

2.1.1.1 สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) 7

2.1.1.2 หน่วยวัดทางเคมี.....7

2.1.1.3 การเตรียมสารละลาย.....9

2.1.1.4 การรายงานผลการทดลอง.....9

2.1.2 ทฤษฎีสมดุลเคมี.....10

2.1.3 กรดและเบส.....10

2.1.3.1 ทฤษฎีปฏิกิริยากรด-เบส.....10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.3.2 การแตกตัวของกรด-เบส และน้ำบริสุทธิ์.....13
2.1.3.3 pH ของสารละลาย.....18
2.1.4 เกลือที่เกิดจากกรดและเบส.....18
2.1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโดยการวัดปริมาตร.....19
2.1.5.1 การไทเทรตกรด-เบส.....19
2.1.5.2 สารละลายมาตรฐาน.....21
2.1.5.3 ประเภทของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการวัดปริมาตร.....22
2.1.5.4 คุณสมบัติของปฏิกิริยาในการวิเคราะห์.....23
2.1.5.5 หลักการทำการวิเคราะห์.....23
2.1.5.6 การคำนวณ..... 24
2.1.5.6.1 การคำนวณการวัดปริมาตรโดยใช้หน่วยโมลาร์.....24
2.1.5.6.2 การคำนวณหา pH ในการไทเทรต.....25
2.1.5.7 กราฟของการไทเทรต.....28
2.1.5.8 การหาจุดยุติ.....31
2.2 การสื่อสารแบบอนุกรมและพอร์ต RS-232.....31
2.2.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232.....31
2.2.2 อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส UART.....33
2.2.3 แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม.....33
2.2.4 คอนโทรล MSComm.....34

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....35
3.1 วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการค้นคว้า.....35
3.2 ความต้องการเบื้องต้นของระบบ.....36
3.2.1 ความต้องการในด้านหน้าที่การทำงาน.....36
3.2.2 ความต้องการที่ไม่เกี่ยวกับการทำงาน.....37
3.3 วิเคราะห์การทำงานของระบบ.....38
3.4 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในระบบ.....39
3.4.1 การจำลองการทดลอง.....39
3.4.2 การทดลองจริง.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ.....39

บทที่ 4 รูปแบบและการทำงานของระบบ.....47

4.1 รูปแบบและความสามารถของระบบ.....47

4.2 ข้อจำกัดของระบบ.....48

4.2.1 ข้อจำกัดที่เกี่ยวกับผู้ใช้.....48

4.2.2 ข้อจำกัดตามหน้าที่การทำงานของระบบ.....48

4.2.2.1 ข้อจำกัดด้านซอฟท์แวร์.....48

4.2.2.2 ข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์.....49

4.3 การทำงานของโปรแกรม.....49

4.3.1 การคำนวณเกี่ยวกับเคมี.....49

4.3.2 ฐานข้อมูลสารเคมี.....50

4.3.3 การจัดการไฟล์ข้อมูล.....50

4.3.4 ลักษณะโดยรวมทั้งหมดของโปรแกรม.....51

บทที่ 5 อภิปรายผล.....70

5.1 ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์.....70

5.2 บทวิจารณ์เปรียบเทียบ.....70

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....71

6.1 สรุปผลของการศึกษา.....71

6.2 ปัญหาในการศึกษา.....71

6.3 ประโยชน์จากการศึกษา.....71

6.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษา.....72

ภาคผนวก คู่มือการใช้โปรแกรม.....73

บรรณานุกรม.....91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....6
2.1 ค่าคงที่ของกรดอ่อน.....15
2.2 ค่าคงที่ของเบสอ่อน.....17
2.3 สูตรการคำนวณการไทเทรตระหว่างกรดแก่และเบสแก่.....25
2.4 สูตรการคำนวณการไทเทรตระหว่างกรดแก่และเบสอ่อน.....26
2.5 สูตรการคำนวณการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนและเบสแก่.....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 การไทเทรตกรด-เบสในห้องปฏิบัติการ.....20
2.2 ตัวอย่างกราฟการไทเทรตแบบปกติระหว่างกรดแก่และเบสแก่.....28
2.3 ตัวอย่างกราฟการไทเทรตแบบปกติระหว่างกรดแก่และเบสอ่อน.....29
2.4 ตัวอย่างกราฟการไทเทรตแบบปกติระหว่างกรดอ่อนละเบสแก่.....29
2.5 ตัวอย่างกราฟอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First – Derivative).....30
2.6 ตัวอย่างกราฟอนุพันธ์อันดับที่สอง (Second – Derivative).....30
2.7 พอร์ตอนุกรม RS-232.....32
2.8 การแสดงตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ 95/98.....34
3.1 การวัดค่าความเป็นกรดโดยเครื่องวัดค่าpH และการวัดน้ำหนักของสารละลายตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล.....35
3.2 ขั้นตอนการทำงานหลักของโปรแกรม.....40
3.3 ขั้นตอนส่วนการจำลองการทดลอง.....41
3.4 ขั้นตอนส่วนการทำการทดลองจริง.....42
3.5 ขั้นตอนการแสดงข้อมูลสารเคมี.....43
3.6 ขั้นตอนการทำรายงานข้อมูลสารเคมี.....43
3.7 ขั้นตอนการจัดการฐานข้อมูล.....44
3.8 ขั้นตอนการอ่านและบันทึกแฟ้มข้อมูล.....45
3.9 ขั้นตอนการแสดงรายงานผลการทดลอง.....46
3.10 ขั้นตอนแสดงความรู้เกี่ยวกับการทดลองไทเทรต.....46
4.1 ER diagram ของฐานข้อมูลสารเคมี.....50
4.2 หน้าจอการทำงานหลัก.....51
4.3 หน้าจอการใส่ข้อมูลการทดลองเบื้องต้น.....52
4.4 หน้าจอการจำลองการทดลอง.....53
4.5 หน้าจอการทดลองจริง.....53
4.6 หน้าจอการตรวจสอบผลการทดลอง.....54
4.7 หน้าจอผลการตรวจสอบผลการทดลอง.....54
4.8 หน้าจอผลการทดลองอย่างสรุป.....55
4.9 หน้าจอเลือกการพิมพ์รายงานผลการทดลอง.....56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.10 หน้าจอรายงานผลการทดลองพร้อมพิมพ์....56
4.11 กราฟการไทเทรตแบบปกติ pH Titration Curve ที่พิมพ์จากโปรแกรม....57
4.12 กราฟอนุพันธ์อันดับที่ 1 (First Derivative) ที่พิมพ์จากโปรแกรม....57
4.13 กราฟอนุพันธ์อันดับที่ 2 (Second Derivative) ที่พิมพ์จากโปรแกรม....58
4.14 หน้าจอแสดงรายชื่อสารเคมี....61
4.15 หน้าจอการจัดการฐานข้อมูล....62
4.16 หน้าจอการเปลี่ยนรหัสผ่านในการจัดการฐานข้อมูล....62
4.17 หน้าจอรายงานข้อมูลสารเคมี....63
4.18 หน้าจอการเปิดไฟล์....66
4.19 หน้าจอการถามการปิดไฟล์....66
4.20 หน้าจอการเลือกบันทึกไฟล์ผลการทดลองใหม่....67
4.21 หน้าจอหลักของความรู้ทางเคมีที่เกี่ยวข้อง....68
4.22 หน้าจอในหัวข้อย่อยของเนื้อหาทางเคมีที่เกี่ยวข้อง....68
4.23 หน้าจอเมื่อมีการเปิดเว็บไซต์ที่น่าสนใจ....69

ภาคผนวก คู่มือการใช้โปรแกรม

1. หน้าจอหลัก....74
2. กำหนดข้อมูลเบื้องต้น....75
3. เริ่มทำการจำลองการทดลอง....76
4. ขณะทำการจำลองการทดลอง....76
5. การจำลองการทดลองสิ้นสุด....77
6. ผลการจำลองการทดลอง....78
7. กำหนดข้อมูลเบื้องต้น (การทดลองจริง) 79
8. เริ่มทำการทดลอง....80
9. เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการบันทึก....81
10. ตั้งชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการบันทึก....81
11. เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการเปิด....82
12. ผลการทดลองที่เปิดจากแฟ้มข้อมูล....82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

13. การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....83
14. เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการปิด.....83
15. เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการพิมพ์.....84
16. แสดงรายงานผลการทดลอง.....85
17. แสดงฐานข้อมูลสารเคมี.....86
18. การใส่ชื่อผู้ใช้ และรหัสผ่าน.....87
19. เพิ่มข้อมูลในฐานข้อมูลสารเคมี.....87
20. ลบข้อมูลในฐานข้อมูลสารเคมี.....88
21. แก้ไขข้อมูลในฐานข้อมูลสารเคมี.....88
22. เลือกประเภทสารเคมีที่จะทำรายงานสารเคมี.....89
23. รายงานสารเคมี.....89
24. ความรู้เกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบส.....90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

ความหมาย	สัญลักษณ์
อะลูมิเนียมไอออน	Al^{3+}
ซิลเวอร์ (I) ไอออน	Ag^{+}
ซิลเวอร์ไซยาไนด์	AgCN
ซิลเวอร์คลอไรด์	AgCl
เบริเลียมไอออน	Be^{2+}
โบรอนฟลูออไรด์	BF_3
BF_4 anion	BF_4^-
โบรมีนอิออน	Br^-
คาร์บอน 12	C-12
แคดเมียม	Cd
อะซิเตตไอออน	CH_3COO^-
กรดอะซีติก	CH_3COOH
คลอไรด์ไอออน	Cl^-
เปอร์คลอเรตไอออน	ClO_4^-
ฟลูออไรด์ไอออน	F^-
โปรตอน	H^+
น้ำ	H_2O
ไฮโดรเนียมไอออน	H_3O^+
กรดโบริก	H_3BO_3
กรดไฮโดรโบรมิก	HBr
กรดไฮโปรโบรมิก	$HBrO_3$
กรดคาร์บอนิก	H_2CO_3
กรดไฮโดรคลอริก	HCl
กรดคลอริก	$HClO_3$
กรดเปอร์คลอริก	$HClO_4$
ปรอท	Hg
กรดไฮโดรไอโอดิก	HI
กรดไนตริก	HNO_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

ความหมาย	สัญลักษณ์
ไดไฮโดรเจนฟอสเฟตไอออน	$H_2PO_4^-$
กรดฟอสฟอริก	H_3PO_4
กรดไฮโดรซัลฟูริก	H_2S
กรดซัลฟูรัส	H_2SO_3
ไฮโดรเจนซัลเฟตไอออน	HSO_4^-
กรดซัลฟูริก	H_2SO_4
ไอโอไดร์ไอออน	I^-
ค่าคงที่สมดุลของกรด	K_a
ค่าคงที่สมดุลของเบส	K_b
ค่าคงที่สมดุลของน้ำ มีค่าเท่ากับ 1.0×10^{-14}	K_w
แมกนีเซียมไอออน	Mg^{2+}
แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์	$Mg(OH)_2$
โซเดียมไอออน	Na^+
โซเดียมไฮดรอกไซด์	NaOH
แอมโมเนีย	NH_3
แอมโมเนียมไอออน	NH_4^+
ไนเตรตไอออน	NO_3^-
ก๊าซออกซิเจน	O_2
ไฮดรอกไซด์ไอออน	OH^-
ค่าความเป็นกรด	pH
ค่าความเป็นเบส	pOH
ซัลเฟตไอออน	SO_4^{2-}
Universal Asynchronous Receiver Transmitter	UART
สังกะสี	Zn
ใช้แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย	(aq)
ใช้แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นของแข็ง	(s)
ใช้แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นของเหลว	(l)
ใช้แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นก๊าซ	(g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

ความหมาย	สัญลักษณ์
ความเข้มข้นของสาร A เมื่อ A เป็นสารใด ๆ หน่วยเป็น โมลต่อลิตร	[สาร A]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยการทดลองทางเคมีประกอบด้วยปัจจัยและตัวแปรที่ต้องควบคุมหลายประการ รวมทั้งการบันทึกผลการทดลองอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในการคำนวณ หรือบันทึกผลการทดลองนั้นอาจเกิดความผิดพลาดอันเนื่องจากการวัดผลได้ เช่น ในการเก็บค่าความเป็นกรดของสาร (pH) หรืออุณหภูมิที่แปรผันตามเวลา เป็นต้น นอกจากนี้ยังไม่สะดวกในการวัดผลการทดลองที่เกี่ยวกับตัวแปรต้น เช่น ปริมาณสารที่หยดลงไป

ดังนั้นการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำการทดลองนอกจากทำให้สะดวกมากยิ่งขึ้น ใช้บุคลากรน้อยลง แล้วยังช่วยลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองด้วย ในปัจจุบันโปรแกรมที่ทำงานประเภทนี้มีราคาสูงเพราะต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ ซึ่งในบางครั้งก็ไม่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ จึงเห็นว่าหากเราสามารถผลิตโปรแกรมประเภทนี้ขึ้นได้เองในประเทศก็จะเป็นผลดีเพราะโปรแกรมจะมีรูปแบบที่ตรงกับความต้องการมากที่สุด เป็นการลดค่าใช้จ่ายของการนำเข้าผลิตภัณฑ์ด้วย

ในการศึกษาปัญหาพิเศษนี้ได้นำเอาวิทยาการทางด้านคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้สำหรับการทดลองไทเทรตกรด-เบส เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองหนึ่งที่ใช้ในการเรียนการสอนในวิชาเคมีและมีปัจจัยหลายประการที่ต้องควบคุมให้เกิดความแม่นยำที่สุดเพื่อความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองสามารถนำไปใช้ในการคำนวณอื่น ๆ ต่อไป หากเรานำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ก็จะเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำให้กับผลการทดลองและสะดวกแก่ผู้ทำการทดลองอีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อช่วยในการคำนวณผลการทดลองไทเทรตได้อย่างถูกต้องตามทฤษฎี
2) เพื่อนำศาสตร์ทางด้านเคมีและความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์ รวมทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้ามาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
3) เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่สนับสนุนการคำนวณด้านเคมีเป็นภาษาไทย และตรงตามต้องการของผู้ใช้มากที่สุด
4) เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่เหมาะแก่การศึกษาเพิ่มเติมนอกห้องเรียนและเหมาะแก่การใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

1) มีการใช้สูตรและวิธีการคำนวณทางเคมี ซึ่งเป็นสูตรที่ผ่านการพิสูจน์และใช้กันทั่วไปที่ใช้ในการทำการทดลองไทเทรตกรด - เบส เพื่อสร้างโปรแกรมสนับสนุนการทดลองดังกล่าว จึงทำให้ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมมีความถูกต้องตามทฤษฎีทางเคมี
2) การประยุกต์ใช้ความรู้ระหว่างความรู้ด้านคอมพิวเตอร์และกระบวนการทางเคมีสามารถนำอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิคส์เข้ามาช่วยพัฒนาโปรแกรมให้สามารถรับข้อมูลจากการทดลองจริงได้ทันที
3) โปรแกรมที่พัฒนาสามารถรองรับภาษาไทยในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้ซึ่งทำให้ความหมายในการสื่อสารระหว่างโปรแกรมและผู้ใช้ชัดเจนขึ้นและทำให้ผลของการคำนวณจากโปรแกรมตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากที่สุด
4) โปรแกรมสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อใช้สนับสนุนการทดลองเคมีหัวข้ออื่น ๆ จนกระทั่งครอบคลุมเนื้อหาที่ต้องการในการเรียนวิชาเคมีแล้วนำไปใช้งาน ซึ่งส่งผลให้การนำเข้าโปรแกรมจากต่างประเทศที่มีราคาสูงมีจำนวนลดน้อยลงได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษา

แนวความคิดในการจัดทำปัญหาพิเศษเรื่องของการทดลองทางเคมีในเรื่องการไทเทรตกรด-เบส คือการนำทฤษฎีและการคำนวณทางเคมี เช่น ทฤษฎีกรด-เบส การคำนวณสมดุลเคมี และสูตรการคำนวณของปฏิกิริยากรด-เบส เป็นต้น มาประยุกต์ร่วมกับความรู้ความเข้าใจในเรื่องของการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย Microsoft Visual Basic และพอร์ตอนุกรมที่จะนำมาใช้ในการรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อให้ได้โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด - เบส ซึ่งโปรแกรมที่ทำงานในลักษณะนี้สั่งซื้อได้จากต่างประเทศเท่านั้น ดังนั้นหากสามารถพัฒนาโปรแกรมให้ใกล้เคียงกับของต่างประเทศได้แล้ว ในอนาคตการนำเข้าโปรแกรมเหล่านั้นก็จะไม่จำเป็นอีกต่อไป นั่นคือในการพัฒนาจะนำโปรแกรมจากต่างประเทศที่มีอยู่เป็นกรอบของการออกแบบโปรแกรมในเบื้องต้น

1.5 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาปัญหาพิเศษในหัวข้อนี้จะเน้นในเรื่องของการประยุกต์ใช้ความรู้ความเข้าใจของโครงสร้างในการสร้างโปรแกรม ความรู้เรื่องปฏิกิริยากรด-เบส ทฤษฎีทางเคมีและความรู้เกี่ยวกับการใช้พอร์ตอนุกรมในการรับข้อมูลเข้าเพื่อประมวลผลในคอมพิวเตอร์

โปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของการจำลองสถานการณ์การทดลองไทเทรตกรด - เบส และการทดลองการไทเทรตจริง ซึ่งทั้ง 2 ส่วนต่างกันที่การจำลองสถาน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การณ์การทดลองจะมีการสร้างผลการทดลองและรายงานจากข้อมูลค่าตัวแปรเบื้องต้นที่ผู้ใช้กำหนดให้กับโปรแกรม และค่าอื่น ๆ ที่มีการคำนวณขึ้นเองจากโปรแกรมตามทฤษฎีที่ใช้ แต่ในส่วนการทดลองไทเทรตจริงจะได้ผลการทดลองจากการปฏิบัติการทดลองจริงแล้วรับข้อมูลของการทดลองผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมต่อพอร์ต ซึ่งไม่ว่าจะเป็นไปในลักษณะใดก็ตามหลังจากที่ได้รับข้อมูลเข้ามาแล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่าง ๆ ตามทฤษฎีทางเคมี จากนั้นจึงแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ในลักษณะของกราฟการไทเทรตแบบต่อเนื่องตามปริมาตรของสารที่เปลี่ยนไป และตารางแสดงผลการทดลองซึ่งสามารถนำไปสร้างรายงานสรุปการทดลองพร้อมทั้งพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ได้ในลำดับต่อไป

ในการพัฒนาปัญหาพิเศษฉบับนี้จะทำการพัฒนาโปรแกรมในส่วนแรกเป็นสำคัญ คือ การทำการจำลองสถานการณ์การทดลอง เนื่องจากการพัฒนาส่วนนี้จะเป็นพื้นฐานในการพัฒนาในส่วนที่ 2 การรับผลการทดลองจริงต่อไป

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1) ศึกษาขอบเขตงานเกี่ยวกับการทดลองทางเคมีและทฤษฎีทางเคมีที่เกี่ยวข้องในเรื่องการไทเทรตกรด-เบส โดยทำการศึกษาจากผู้ปฏิบัติการเคมีและหนังสือเอกสารวิชาการในวิชาเคมี
2) ศึกษาความเป็นไปได้ของการดำเนินงานตามความต้องการของผู้ใช้ และความเป็นไปได้ในการเขียนโปรแกรม จากนั้นจึงออกแบบลักษณะการทำงานของโปรแกรม รวมถึงอุปกรณ์และงบประมาณในการดำเนินงาน
3) เตรียมข้อมูลที่ต้องใช้ในการทดลองทั้งหมดซึ่งแบ่งเป็น
   - ข้อมูลการทำไทเทรตกรด - เบสและทฤษฎีทางเคมีที่เกี่ยวข้อง
   - ข้อมูลอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดค่าจากการทดลอง
   - ข้อมูลการเขียนโปรแกรมที่จะใช้ในการติดต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
   - ข้อมูลและรูปแบบในการทำโปรแกรมโดยที่มีส่วนนำเสนอลักษณะโปรแกรมช่วยสอน
4) ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมตามข้อมูลและรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้
5) ทดสอบและแก้ไขปรับปรุงในส่วนที่มีข้อผิดพลาดหรือไม่ตรงตามวัตถุประสงค์
6) จัดทำเอกสารประกอบการทำปัญหาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

1) การทดลองไทเทรตกรด - เบสที่นำมาใช้คำนวณโปรแกรมต้องเป็นการทดลองระหว่างกรดและเบสที่แตกตัวเพียงครั้งเดียว (Monoprotic) ไม่ว่าจะเป็นกรด-เบสอ่อนหรือแก่ก็ตาม และต้องเป็นสารที่มีข้อมูลทางเคมีซึ่งมีการกำหนดค่าไว้ในโปรแกรม
2) ปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสที่เกิดจะต้องเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ การแสดงผลรายงานทางเครื่องพิมพ์จะใช้เครื่องพิมพ์ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ผู้ใช้ซึ่งเป็นผู้ทำงานด้านปฏิบัติการเคมีสามารถนำโปรแกรมไปใช้ควบคุมการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสะดวกสบายมากขึ้น
2) ผู้ใช้สามารถสรุปผลการทดลองได้อย่างรวดเร็ว และสามารถควบคุมความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเก็บค่าข้อมูลผลการทดลองได้มากยิ่งขึ้น
3) สามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้ประโยชน์ในการเรียนการสอนวิชาเคมีในเรื่องการไทเทรตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้งานส่วนการจำลองสถานการณ์การทดลอง
4) โปรแกรมนี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นในประเทศ จึงสามารถลดการนำเข้าซอฟท์แวร์ประเภทนี้ได้และยังเป็นโปรแกรมที่เป็นภาษาไทย ทำให้ง่ายต่อการใช้งานสำหรับคนไทย

1.9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีหน่วยประมวลผลกลางอย่างต่ำเป็น Pentium II
2) RAM 64 MB
3) Hard Disk 10.2 GB
4) Microsoft Windows 98
5) Microsoft Visual Basic 6.0 Enterprise Edition
6) เครื่องพิมพ์เอกสาร (Printer)
7) เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH meter)
8) เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
9) ชุดทดลองเรื่องการไทเทรต ซึ่งประกอบด้วย
   - บิวเรตต์ (Buret)
   - ขาตั้งบิวเรตต์ (Buret Stand)
   - ขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask)

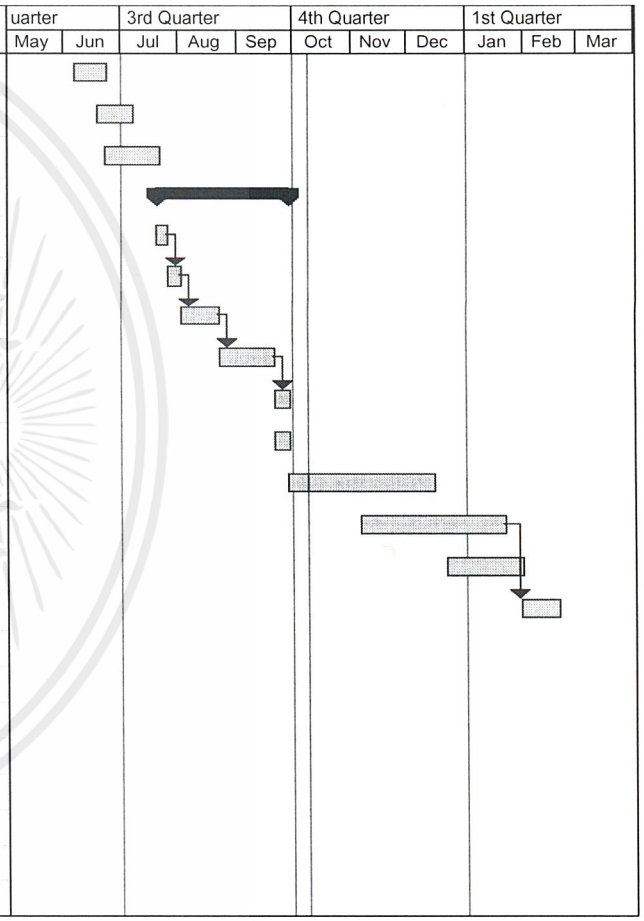
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรวย (Funnel)
- ปีเปตต์ (Pipet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ID	Task Name	Duration	Start	Finish
1	กำหนดหัวข้อและขอบเขตของโครงงานปัญหาพิเศษ	14 days	Wed 6/6/01	Fri 22/6/01
2	ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนา	15 days	Mon 18/6/01	Fri 6/7/01
3	ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุปกรณ์ RS-232 และ เครื่องวัดค่า pH	21 days	Fri 22/6/01	Fri 20/7/01
4	**ศึกษาความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีเคมี**	**52 days**	**Thu 19/7/01**	**Fri 28/9/01**
5	ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเคมี	5 days	Thu 19/7/01	Wed 25/7/01
6	ศึกษาทฤษฎีสมดุลเคมี	5 days	Thu 26/7/01	Wed 1/8/01
7	ศึกษาทฤษฎีกรด-เบส	14 days	Thu 2/8/01	Tue 21/8/01
8	ศึกษาทฤษฎีการคำนวณการไทเทรตกรด-เบส	21 days	Wed 22/8/01	Wed 19/9/01
9	สรุปทฤษฎีที่นำไปใช้	7 days	Thu 20/9/01	Fri 28/9/01
10	จัดทำเอกสารและสรุปความก้าวหน้า	7 days	Thu 20/9/01	Fri 28/9/01
11	ออกแบบระบบ และขั้นตอนการทำงาน	60 days	Fri 28/9/01	Fri 14/12/01
12	พัฒนาโปรแกรมตามที่ได้ออกแบบไว้	60 days	Mon 5/11/01	Mon 21/1/02
13	ทำการทดสอบโปรแกรมและแก้ไขข้อผิดพลาด	30 days	Fri 21/12/01	Wed 30/1/02
14	สรุปโครงงาน และจัดทำเอกสารประกอบปัญหาพิเศษ	14 days	Wed 30/1/02	Mon 18/2/02



บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวิเคราะห์ทางเคมี

2.1.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเคมี

2.1.1.1 สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

สารประกอบเคมีส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องทางเคมีวิเคราะห์ ได้แก่ " สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) " ซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวเป็นไอออนได้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ อิเล็กโทรไลต์แก่ (Strong Electrolyte) เป็นสารที่แตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ หรือเกือบสมบูรณ์ และอิเล็กโทรไลต์อ่อน (Weak Electrolyte) แตกตัวได้บ้างเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องรู้ว่าสารที่ใช้ในการทำเคมีวิเคราะห์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์แก่ หรืออ่อน เพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการคำนวณทางเคมีวิเคราะห์

อิเล็กโทรไลต์แก่

- กรดอนินทรีย์ ได้แก่ HNO_3, $HClO_4$, H_2SO_4, HCl, HI, HBr, $HClO_3$, $HBrO_3$
- ไฮดรอกไซด์ของอัลคาไลน์ และอัลคาไลน์เอริทธ์ และไฮดรอกไซด์ของโลหะหนักบางตัว
- เกลือส่วนใหญ่

อิเล็กโทรไลต์อ่อน

- กรดอนินทรีย์หลายชนิด เช่น H_2CO_3, H_3BO_3, H_3PO_4, H_2S, H_2SO_3
- กรดอินทรีย์ส่วนใหญ่
- แอมโมเนีย และเบสของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่
- เฮไลด์ ไซยาไนด์ และไทโอไซยาเนตของ Hg, Zn และ Cd

2.1.1.2 หน่วยวัดทางเคมี

1) หน่วยน้ำหนัก

- **น้ำหนักอะตอม** (Atomic Weight) **หรือมวลอะตอม** (Atomic Mass)

  = น้ำหนักของธาตุใด ๆ ที่มีจำนวนอะตอมเท่ากับ 6.02×10^{23} อะตอม

  $$= \frac{\text{น้ำหนักของธาตุ 1 อะตอม}}{\text{เศษหนึ่งส่วนสิบสองของน้ำหนัก C - 12 จำนวน 1 อะตอม}}$$

  = มวลอะตอมในตารางธาตุ ซึ่งเป็นน้ำหนักเฉลี่ยของไอโซโทปต่าง ๆ ของธาตุนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **น้ำหนักโมเลกุล** (Molecular Weight)

  = น้ำหนักของสารต่าง ๆ ที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากับ 6.02×10^{23} ตัว

  = น้ำหนักอะตอมของแต่ละธาตุในโมเลกุลมารวมกัน

- **น้ำหนักสูตร** (Formular Weight)

  = น้ำหนักของสารประกอบต่าง ๆ ที่มีจำนวน 6.02×10^{23} ตัว

  = น้ำหนักอะตอมของธาตุต่าง ๆ ในสูตรเคมีของสารประกอบนั้นมารวมกัน

- **กรัมอะตอม** (A Gram Atomic Weight, gaw)

  = 1 กรัมอะตอมของธาตุจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น

  เช่น กรัมอะตอมของธาตุ O มีค่าเท่ากับ 16 g ดังนั้น O หนัก 32 g = 2 gaw

- **กรัมโมเลกุล** (A Gram Molecular Weight, Mol)

  = 1 โมลของโมเลกุลจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักโมเลกุลของสารนั้น

  เช่น O_2 1 โมล จะหนัก 32 g ดังนั้น O_2 64 g = 2 โมล

$$= \frac{\text{น้ำหนักสาร (g)}}{\text{น้ำหนักโมเลกุล}}$$

- **กรัมน้ำหนักสูตร** (A Gram Formular Weight, GFW)

  = 1 กรัมน้ำหนักสูตรจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักสูตรของสารประกอบนั้น

$$= \frac{\text{น้ำหนักสาร (g)}}{\text{น้ำหนักสูตร}}$$ นั่นคือเป็นหน่วย โมล

2) หน่วยปริมาตร

ลิตร (Liter) คือปริมาตรที่มีขนาดเท่ากับน้ำบริสุทธิ์หนัก1kg ที่ 3.98 องศาเซลเซียส (dm^3)

มิลลิลิตร (Milliliter) คือ 1 ใน 1,000 ของปริมาตร 1 ลิตร (cm^3)

3) หน่วยความเข้มข้น

- หน่วยโมลาร์ (Molarity) (M) คือ ตัวถูกละลายจำนวน 1 โมล ละลายในสารละลาย 1 ลิตร (mol/l), (mol/ dm^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยฟอร์แมล (Formality) (F) คือ ตัวถูกละลายจำนวน 1 กรัมสูตร ละลายในสารละลาย 1 ลิตร (gfw/l)
- หน่วยไตเตอร์ (Titer) (T) คือ จำนวนกรัม หรือมิลลิกรัมของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไทแทรนต์จำนวน 1 ลิตร
- หน่วยร้อยละ แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนัก (\%w / w)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย (g)}}{\text{น้ำหนักสารละลาย (g)}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละโดยปริมาตร (\%v / v)} = \frac{\text{ปริมาตรตัวถูกละลาย (ml)}}{\text{ปริมาตรตัวทำละลาย (ml)}} \times 100$$

$$\text{ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (\%w/v)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย (g)}}{\text{ปริมาตรสารละลาย (ml)}} \times 100$$

- หน่วยอัตราส่วนการเจือจาง (Dilution ratio) จะบอกอัตราส่วนโดยปริมาณของตัวถูกละลายต่อตัวทำละลาย เช่น (1:1) HCl = กรดไฮโดรคลอริก 1 ส่วนเติมน้ำ 1 ส่วน

2.1.1.3 การเตรียมสารละลาย

ในทางปฏิบัติ นักเคมีมักต้องใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับงานที่วิเคราะห์ มีสารประกอบหลายชนิดที่เป็นของเหลว เช่น พวกกรด - เบสเข้มข้น ที่ข้างขวดของสารจะบอกข้อมูลที่สำคัญ ๆ ของสาร เช่น ชื่อสาร ความเข้มข้นของสารอย่างประมาณ (%w/w) ความถ่วงจำเพาะของสาร เป็นต้น ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ทราบสามารถนำมาคำนวณต่อไป เพื่อหาปริมาตรของสารละลายในขวดที่ต้องการที่จะนำมาใช้ทำให้เจือจางลง เพื่อเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นประมาณที่เราต้องการ แล้วจึงนำไปหาความเข้มข้นจริงที่แน่นอนอีกครั้งด้วยการเทียบมาตรฐาน กับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ

2.1.1.4 การรายงานผลการทดลอง

การรายงานผลของการทดลองนิยมรายงานเป็นความเข้มข้น ถ้าสารตัวอย่างเป็นของแข็งจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักคือมักบอกน้ำหนักของสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นร้อยละโดยน้ำหนักของสารตัวอย่าง (%w/w) แต่ถ้าสารตัวอย่างเป็นของเหลวอาจรายงานผลในหน่วยของปริมาตรต่อปริมาตร หรือเป็นร้อยละน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/vol)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ทฤษฎีสมดุลเคมี

เมื่อปฏิกิริยาถึงสมดุล หมายความว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า เท่ากับอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เช่น $A+B \Leftrightarrow C+D$

ค่าคงที่สมดุล(K_m) จะได้ดังนี้ $$K_m = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

เมื่อ K_m = ค่าคงที่สมดุลโมลาร์ (Molar Equilibrium)

ในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่ใช่อัตราส่วน 1:1 ค่าคงที่สมดุลต้องยกกำลังตามตัวเลขที่ใช้ในการทำให้สมการสมดุล เช่น $aA+bB \Leftrightarrow cC+dD$

ค่าคงที่สมดุล(K_m) จะได้ดังนี้ $$K_m = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

สิ่งที่มีอิทธิพลต่อสมดุลปฏิกิริยาเคมี ได้แก่

- ผลของความเข้มข้น
- ผลของอุณหภูมิ
- ผลของความดัน

2.1.3 กรดและเบส

2.1.3.1 ทฤษฎีปฏิกิริยากรด-เบส

ทฤษฎีของอาร์เรเนียส

ค.ศ.1884 สวันเต เอากุสต์ อาร์เรเนียส (Swonte August Arrhenius) กล่าวว่า

กรด คือ สารประกอบที่มีไฮโดรเจนเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวให้ H^+

1. กรดแก่ เมื่อละลายน้ำแตกตัวให้ H^+ ได้มาก เช่น

$$HCl\,(aq) \longrightarrow H^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$

2. กรดอ่อน เมื่อละลายน้ำแตกตัวให้ H^+ ได้น้อย เช่น

$$CH_3COOH\,(aq) \Leftrightarrow + CH_3COO^-\,(aq) + H^+\,(aq)$$

เบส คือ สารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกไซด์เมื่อละลายน้ำแตกตัวให้ OH^-

1. เบสแก่ เมื่อละลายน้ำแล้วให้ OH^- ได้มาก เช่น

$$NaOH\,(s) \longrightarrow Na^+\,(aq) + OH^-\,(aq)$$

2. เบสอ่อน เมื่อละลายน้ำแล้วให้ OH^- ได้น้อย เช่น

$$Mg(OH)_2\,(aq) \Leftrightarrow Mg^{2+}\,(aq) + 2OH^-\,(aq)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นปฏิกิริยาสะเทินระหว่างกรดกับเบสจะได้น้ำ เนื่องจาก H^+ ทำปฏิกิริยากับ OH^-

$$H^+(aq) + OH^-(aq) \Leftrightarrow H_2O(l)$$

แต่ทฤษฎีของอาร์เรเนียส มีปัญหาหลายประการคือ

- สารที่เป็นกรด หรือเบสตามทฤษฎีนี้ต้องละลายน้ำ
- สารบางตัวที่ไม่มีหมู่ OH^- ในสูตร แต่เมื่อละลายน้ำแล้วให้หมู่ OH^- เช่น NH_3
- กรดเมื่อละลายน้ำแตกตัวให้ H^+ (aq) ซึ่ง H^+ คือนิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจน หรือโปรตอน และเนื่องจากน้ำเป็นโพลาร์โมเลกุล ไอออนต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำจึงมีน้ำล้อมรอบ เช่น ไฮเดรทไอออน H_3O^+ ที่เรียก ไฮโดรเนียมไอออน หรือไฮดรอกโซเดียมไอออน

ทฤษฎีของลิวอิส

ค.ศ.1923 กิลเบิร์ต นิวตัว ลิวอิส (Gillbert Newton Lewis) กล่าวว่า

กรด คือ สารที่สามารถรับอิเล็กตรอนคู่ (Electron pair)

เบส คือ สารที่สามารถให้อิเล็กตรอนคู่ที่เกิดพันธะโคเวเลนต์ เช่น $BF_3 + F^- \Leftrightarrow BF_4$

ทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี

ค.ศ.1923 โยฮันเนส นิโคเลาส์ เบรินสเตด (Johannes Nicolaus Broonsted) และทอมัส มาร์ติน ลาวรี (Thomas Marton Lowry) กล่าวว่า

กรด คือ สารที่ให้โปรตอนได้

$$\text{กรด}_1 \rightarrow H^+ + \text{เบส}_1 \qquad \text{เป็นสมการที่ 1.}$$

เบส คือ สารที่สามารถรับโปรตอนได้

$$\text{เบส}_2 + H^+ \rightarrow \text{กรด}_2 \qquad \text{เป็นสมการที่ 2.}$$

จากสมการที่ 1. กรดเมื่อเสียโปรตอน (H^+) ไปส่วนที่เหลือจะเรียกว่า คู่เบสของกรด (conjugate base) ซึ่งมีประจุลบ และมีสมบัติเป็นเบส เพราะสามารถรับโปรตอนแล้วกับเป็นกรดได้ เช่น

$$NH_4^+ \rightarrow H^+ + NH_3$$

$$HSO_4^- \rightarrow H^+ + SO_4^{2-}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 2. เบสเมื่อรับโปรตอน (H^+) แล้ว ผลที่ได้จะเรียกว่า คู่กรดของเบส (Conjugate acid) ซึ่งมีประจุบวก และมีสมบัติเป็นกรด เพราะสามารถให้โปรตอนแล้วกลับเป็นเบสได้ เช่น

$$NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$$
$$H_2O + H^+ \rightarrow H_3O^+$$

ทฤษฎีกรดนี้จะเป็นลักษณะการถ่ายโอนโปรตอน (เกิดปฏิกิริยาทั้งไปข้างหน้า และย้อนกลับ) และจะได้คู่กรด-เบส (Conjugate Acid-Base Pair) 2 คู่ ดังนี้

- กรด กับคู่เบสของกรด
- เบส กับคู่กรดของเบส

$$\text{กรด}_1 + \text{เบส}_2 \Leftrightarrow \text{เบส}_1\ (\text{คู่เบสของกรด}_1) + \text{กรด}_2\ (\text{คู่กรดของเบส}_2)$$

$$HCl + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + Cl^-$$
$$H_2O + H_2O \Leftrightarrow H_3O^+ + OH^-$$
$$NH_4+ + S_2^- \Leftrightarrow HS^- + NH_3$$

ตามทฤษฎีกรด-เบส เบรินสเตด-ลาวรี กรดและเบสเป็นได้ทั้งโมเลกุลไอออนบวก และไอออนลบ ซึ่งสารที่เป็นโมเลกุล และไอออนลบบางชนิดมีแนวโน้มที่จะให้ และรับโปรตอนได้ กล่าวคือ ทำหน้าที่เป็นทั้งกรด และเบส เรียกว่า สารแอมฟิโพรติก (Amphiprotic Subtance) หรือแอมฟิโพรติกไอออน (Amphiprotic Ion)

- ถ้ากรดที่มีความแรงมาก คู่เบสของกรดจะมีความแรงน้อย
- ถ้าเบสที่มีความแรงมาก คู่กรดของเบสจะมีความแรงน้อย
- ถ้ากรดที่มีความแรงน้อย คู่เบสของกรดจะมีความแรงมาก
- ถ้าเบสที่มีความแรงน้อย คู่กรดของเบสจะมีความแรงมาก

H_3O^+ จัดเป็นกรดแก่มากที่สุด หรือมีความแรงของกรดมากที่สุดจึงสามารถอยู่ได้ในสารละลาย ดังนั้นกรดที่มีความแรงมากกว่า H_3O^+ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้ H_3O^+ และคู่เบสของกรด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาไปข้างหน้าอย่างเดียวกรดที่มีความแรงน้อยกว่า H_3O^+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ (มีปฏิกิริยาผันกลับเกิดขึ้น) จะได้ H_3O^+ และคู่เบสของกรด

OH^- จัดเป็นเบสแก่มากที่สุด หรือมีความแรงของเบสมากที่สุด จึงสามารถอยู่ได้ในสารละลาย ดังนั้นเบสที่มีความแรงมากกว่า OH^- เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ได้ OH^- และคู่กรดของเบส เบสที่มีความแรงน้อยกว่า OH^- เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ (มีปฏิกิริยาผันกลับเกิดขึ้น) จะได้ OH^- และคู่กรดของเบส

2.1.3.2 การแตกตัวของกรด-เบส และน้ำบริสุทธิ์

สารละลายกรด หรือเบสที่เป็นอิเล็กโทรไลต์แก่ เรียกว่า กรดแก่หรือเบสแก่ตามลำดับ และกรดหรือเบสที่เป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อน ก็เรียกว่า กรดอ่อนหรือเบสอ่อน ตามลำดับ

1) การแตกตัวของกรดแก่และเบสแก่

กรดแก่และเบสแก่จัดเป็นอิเล็คโทรไลต์แก่ ซึ่งจะแตกตัวเป็นไอออนหมด เช่น

$$\underset{1\,mol/dm^3}{HNO_3\,(aq)} + H_2O\,(l) \longrightarrow \underset{1\,mol/dm^3}{H_3O^+\,(aq)} + \underset{1\,mol/dm^3}{NO_3^-\,(aq)}$$

$$\underset{1\,mol/dm^3}{NaOH\,(aq)} \longrightarrow \underset{1\,mol/dm^3}{Na^+\,(aq)} + \underset{1\,mol/dm^3}{OH^-\,(aq)}$$

ถ้าให้ HA เป็นกรดแก่ เมื่อนำมาทำเป็นสารละลายเข้มข้น C_a โมลต่อลิตร เกิดการแตกตัวได้ดังนี้

$$HA\,(aq) + H_2O\,(l) \longrightarrow H_3O^+\,(aq) + A^-\,(aq)$$

$[H^+]$ หรือ $[H_3O^+] = [A^-] = C_a$ โมลต่อลิตร

$[H^+]$ หรือ $[H_3O^+]$ = [คู่เบสของกรดแก่] = C_a โมลต่อลิตร

กรดแก่มีค่าคงที่ของการแตกตัว หรือค่าคงที่สมดุลของกรด (K_a) สูงมาก ๆ จนวัดไม่ได้จึงแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ (a ย่อจาก Acid) ถ้าให้ $M(OH)_n$ เป็นเบสแก่ เมื่อนำมาทำเป็นสารละลายเข้มข้น C_b โมลต่อลิตร จะแตกตัวดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$M(OH)_n\,(aq) \longrightarrow M^{+n}\,(aq) + nOH^-\,(aq)$$

$$[OH^-] = nCb$$

$[OH^-]$ = [คู่กรดของเบสแก่] = nC_b โมลต่อลิตร

n = จำนวนไฮดรอกไซด์ใน 1 โมเลกุลของเบสแก่

เบสแก่มีค่าคงที่ของการแตกตัว หรือค่าคงที่สมดุลของเบส (K_b) สูงมาก ๆ จนวัดไม่ได้ จึงแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ (b ย่อจาก Base)

2) การแตกตัวของกรดอ่อน

สารละลายกรดอ่อนทั่วไปทำได้ไม่ดีเท่าสารละลายกรดแก่ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน สมมติ HA เป็นกรดอ่อนชนิดหนึ่ง เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวได้ไม่หมดการแตกตัวของ HA จะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ และมีภาวะสมดุลเกิดขึ้น ดังนี้

$$HA\,(aq) + H_2O\,(l) \Leftrightarrow H_3O^+\,(aq) + A^-\,(aq)$$

สารละลายกรดอ่อนมีภาวะสมดุล และหาค่าคงที่สมดุลได้ คือ

$$K = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA][H_2O]}$$

เนื่องจากความเข้มข้นของน้ำมีค่าคงที่ เมื่อนำไปคูณกับค่าคงที่สมดุลจะได้ค่าคงที่ ที่เรียกว่า “ค่าคงที่สมดุลของกรด” ใช้สัญลักษณ์ K_a

$$K_a = K[H_2O] = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

- กรดที่มีค่า Ka สูงจะแตกตัวเป็นไอออนได้มากกว่ากรดที่มีค่า K_a ต่ำ
- กรดแก่แตกตัวได้สมบูรณ์ในน้ำ แสดงว่า K_a มากกว่า 55.5 และกรดอ่อนแตกตัวไม่สมบูรณ์ในน้ำแสดงว่า K_a น้อยกว่า 55.5
- กรดมอนอโพรติก ถ้าให้ C_a เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดอ่อนชนิดมอนอโพรติก (mol/dm^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า $\frac{K_a}{C_a} \leq 10^{-3}$ (ถือว่ากรดอ่อนแตกตัวน้อยมาก)

$$[H^+] = [\text{คู่เบสของกรดอ่อน}] = \sqrt{K_a \cdot C_a}$$

$$\text{ร้อยละของการแตกตัว} = \frac{[H^+]}{C_a} \times 100 = \frac{\sqrt{K_a \cdot C_a}}{C_a} \times 100$$

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่ของกรดอ่อน

Dissociation Constants for Acids

Name	*Formula*	*Dissociation Constant, at 25 C*			
		K_{a1}	K_{a2}	K_{a3}	K_{a4}
Acetic	CH_3COOH	1.75×10^{-5}			
Alanine	$CH_3CH(NH_2)COOH$[a]	4.5×10^{-3}	1.3×10^{-10}		
Arsenic	H_3AsO_4	6.0×10^{-3}	1.0×10^{-7}	3.0×10^{-12}	
Arsenious	H_3AsO_3	6.0×10^{-10}	3.0×10^{-14}		
Benzoic	C_6H_5COOH	6.3×10^{-5}			
Boric	K_3BO_3	6.4×10^{-10}			
Carbonic	H_2CO_3	4.3×10^{-7}	4.8×10^{-11}		
Chloroacetic	$ClCH_2COOH$	1.51×10^{-3}			
Citric	$HOOC(OH)C(CH_2COOH)_2$	7.4×10^{-4}	1.7×10^{-5}	4.0×10^{-7}	
Ethylenediaminetetraacetic	$(CO_2)_2NH^+CH_2CH_2NH^+(CO_2^-)_2$[a]	1.0×10^{-2}	2.2×10^{-3}	6.9×10^{-7}	5.5×10^{-11}
Formic	$HCOOH$	1.76×10^{-4}			
Glycine	H_2NCH_2COOH[b]	4.5×10^{-3}	1.7×10^{-10}		
Hydrocyanic	HCN	7.2×10^{-10}			
Hydrofluoric	HF	6.7×10^{-4}			
Hydrogen sulfide	H_2S	9.1×10^{-8}	1.2×10^{-15}		
Hypochlorous	$HOCl$	1.1×10^{-8}			
Iodic	HIO_3	2×10^{-1}			
Lactic	$CH_3CHOHCOOH$	1.4×10^{-4}			
Leucine	$(CH_3)_2CHCH_2CH(NH_2)COOH$[b]	4.7×10^{-3}	1.8×10^{-10}		
Maleic	cis-$HOOCCH{:}CHCOOH$	1.5×10^{-2}	2.6×10^{-7}		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) **การแตกตัวของเบสอ่อน**

การแตกตัวเป็นไอออนของเบสอ่อนในสารละลายเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ เช่นเดียวกับกรดอ่อน ทำให้มีภาวะสมดุลเกิดขึ้น จะได้ "ค่าคงที่สมดุลของเบส" ที่ใช้สัญลักษณ์ K_b เช่นเดียวกับค่า K_a ดังนี้

$$K_b = \frac{[OH^-]\ [\text{คู่กรดของเบสอ่อน}]}{[\text{เบสอ่อน}]}$$

เบสอ่อนที่มี K_b มาก จะมีความแรงของเบสมากกว่าเบสอ่อนที่มี K_b น้อย ถ้าให้ C_b เป็นความเข้มข้นเริ่มต้นของเบสอ่อน (mol/dm^3)

ถ้า $\frac{K_b}{C_b} \leq 10^{-3}$ (ถือว่าเบสแตกตัวน้อยมาก)

$$[OH^-] = [\text{คู่กรดของเบสอ่อน}] = \sqrt{K_b \cdot C_b}$$

$$\text{ร้อยละของการแตกตัว} = \frac{[OH^-]}{C_b} \times 100 = \frac{\sqrt{K_b \cdot C_b}}{C_b} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ของเบสอ่อน

Dissociation Constants for Bases

		Dissociation Constant , at 25 C	
Name	*Formula*	K_{b1}	K_{b2}
Ammonia	NH_3	1.75×10^{-5}	
Aniline	$C_6H_5NH_2$	4.0×10^{-10}	
I-Butylamine	$CH_3(CH_2)_2CH_2NH_2$	4.1×10^{-4}	
Diethylamine	$(CH_3CH_2)_2NH$	8.5×10^{-4}	
Dimethylamine	$(CH_3)_2NH$	5.9×10^{-4}	
Ethanolamine	HOC_2H_4NH2	3.2×10^{-5}	
Ethylamine	$CH_3CH_2NH_2$	4.3×10^{-4}	
Ethylenediamine	$NH_2C_2H_4NH_2$	8.5×10^{-5}	7.1×10^{-8}
Glycine	$HOOCCH_2NH_2$	2.3×10^{-12}	
Hydrazine	H_2NNH_2	1.3×10^{-6}	
Hydroxylamine	$HONH_2$	9.1×10^{-9}	
Methylamine	CH_3NH_2	4.8×10^{-4}	
Piperidine	$C_5H_{11}N$	1.3×10^{-3}	
Pyridine	C_5H_5N	1.7×10^{-9}	
Triethylamine	$(CH_3CH_3)_3N$	5.3×10^{-4}	
Trimethylamine	$(CH_3)_3N$	6.3×10^{-5}	
Tris(hydroxymethyl)aminomethane	$(HOCH_2)_3CNH_2$	1.2×10^{-6}	
Zinc hydroxide	$Zn(OH)_2$		4.4×10^{-5}

4) **การแตกตัวของน้ำบริสุทธิ์** (Autoprotolysis **หรือ** Self-ionization)
น้ำกลั่นเป็นอิเล็กโทรไลต์อ่อนมาก คือ แตกตัวเป็นไอออนได้น้อย

$$H_2O\ (l) + H_2O\ (l) \Leftrightarrow H_3O^+\ (aq) + OH^-\ (aq)$$

$$K = \frac{[H_3O^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

ค่าคงที่สมดุลของน้ำ (Ionic Product Constant of Water) ใช้สัญลักษณ์คือ K_w

ที่ 25 องศาเซลเซียส $K_w = K[H_2O]^2 = [H_3O^+]\,[OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}\ mol/dm^{-3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

43036

2.1.3.3 pH ของสารละลาย

จะเห็นว่า $[H^+]$, $[OH^-]$, K_w, K_a, K_b มีค่าในรูป 10^{-x} มีหน่วยเป็นความเข้มข้น mol/dm^3 เมื่อ x เป็นเลขจำนวนเต็มใด ๆ เพื่อความสะดวกจะทำให้ค่า 10^{-x} อยู่ในรูป x จึงเอา log ฐาน 10 เข้ามาช่วยโดยกำหนดว่า

" $P = -\log$ " ดังนั้น

$$pH = -\log [H^+]$$

$$pOH = -\log [OH^-]$$

$$pK_a = -\log K_a$$

$$pK_b = -\log K_b$$

$$pK_w = -\log K_w$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับ pOH ได้จากความสัมพันธ์ $K_w = [H^+][OH^-]$

ความสัมพันธ์ระหว่าง K_a และ K_b ของคู่กรด-เบส คือ

$$K_a \text{ (คู่กรดของเบส)} \times K_b \text{ (เบส)} = 10^{-14}$$

$$K_a \text{ (กรด)} \times K_b \text{ (คู่เบสของกรด)} = 10^{-14}$$

2.1.4 เกลือที่เกิดจากกรดและเบส

1) เกลือที่เกิดจากกรดแก่กับเบสแก่

ส่วนที่เป็นไอออนบวก คือ โลหะไอออนของหมู่ IA และ IIA (ยกเว้น Be^{2+})

ส่วนที่เป็นไอออนลบ คือ อนุมูลของกรดแก่ (Cl^-, Br^-, I^-, ClO_4^-, NO_3^-, SO_4^{2-})

เมื่อนำเกลือมาละลายน้ำจะมีสมบัติเป็นกลาง

2) เกลือที่เกิดจากเบสแก่กับกรดอ่อน

ส่วนที่เป็นไอออนบวก คือ โลหะไอออนของหมู่ IA และ IIA (ยกเว้น Be^{2+})

ส่วนที่เป็นไอออนลบ คือ คู่เบสของกรดอ่อน (ยกเว้น HSO_4^-, $H_2PO_4^-$)

เมื่อนำเกลือมาละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส

3) เกลือที่เกิดจากกรดแก่กับเบสอ่อน

ส่วนที่เป็นไอออนบวก คือ Al^{3+}, NH_4^+ และโลหะไอออนแทรนซิชัน

ส่วนที่เป็นไอออนลบ คือ คู่เบสของกรดแก่

เมื่อนำเกลือมาละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เกลือที่เกิดจากกรดอ่อนกับเบสอ่อน

- เกลือที่เกิดจากกรดอ่อนกับเบสอ่อนที่มีค่า Ka ของคู่กรดของเบสอ่อน (ไอออนบวก) เท่ากับ Kb ของคู่เบสของกรดอ่อน (ไอออนลบ) เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็น กลาง
- เกลือที่เกิดจากกรดอ่อนกับเบสอ่อนที่มีค่า Ka ของคู่กรดของเบสอ่อน (ไอออนบวก) มากกว่า Kb ของคู่เบสของกรดอ่อน (ไอออนลบ) เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็น กรด
- เกลือที่เกิดจากกรดอ่อนกับเบสอ่อนที่มีค่า Ka ของคู่กรดของเบสอ่อน (ไอออนบวก) น้อยกว่า Kb ของคู่เบสของกรดอ่อน (ไอออนลบ) เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส

2.1.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโดยการวัดปริมาตร

2.1.5.1 การไทเทรตกรด-เบส

การวิเคราะห์หาปริมาณโดยการวัดปริมาตรเป็นวิธีที่ดี ทำได้รวดเร็ว และได้ผลถูกต้องการวิเคราะห์ทำได้โดยนำสารตัวอย่างมาทำให้เป็นสารละลายทราบปริมาตรแน่นอนใส่ในขวดรูปกรวย (Erlenmeyer Flask) แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ซึ่งอยู่ในบิวเรตต์ (Buret) ที่เรียกว่าไทแทรนต์ (Titrant) แล้ววัดปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณสารตัวอย่างได้

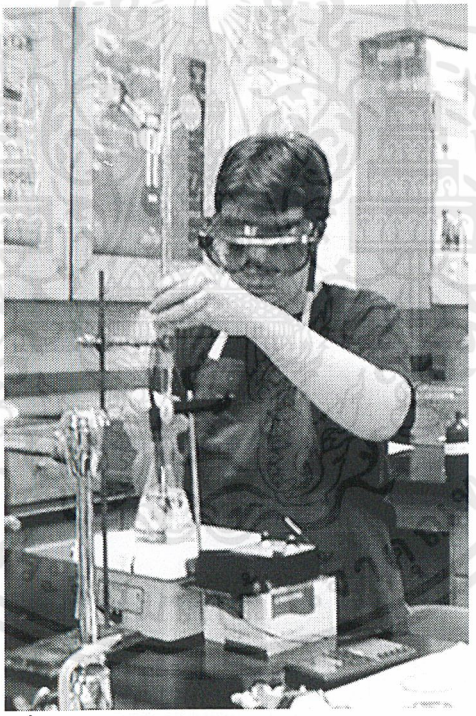
กระบวนการไขสารละลายจากบิวเรตต์เข้าทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง เรียก "การไทเทรต (Titration)" การไทเทรตกรด-เบสจัดเป็นเทคนิคปริมาณวิเคราะห์ (Volumetric Analysis หรือ Titration analysis) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณสาร หรือหาความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์ นำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน ซึ่งเรียกว่าสารละลายมาตรฐาน (Standard Solution) โดยทั่วไปสารละลายมาตรฐานจะบรรจุไว้ในบิวเรตต์ ส่วนสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณซึ่งทราบปริมาตรแล้วจะบรรจุในขวดรูปกรวย กระบวนการหยดสารละลายมาตรฐานจากบิวเรตต์ลงในขวดรูปกรวยจนกระทั่งเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ เรียกว่าการไทเทรต จุดที่สารละลายทั้งสองทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์ เรียกว่า จุดสมมูลหรือจุดสะเทิน การไทเทรตนี้จะทราบว่าปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์หรือไม่ก็อาศัยดูจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากสารละลายมาตรฐานเอง หรือโดยการเติมอินดิเคเตอร์ และจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้นี้ เรียกว่า "จุดยุติของการไทเทรต" สามารถสังเกตจุดยุติของปฏิกิริยาได้โดยดูการเปลี่ยนแปลงของอินดิเคเตอร์ ถ้าจุดยุติห่างจากจุดสมมูลของปฏิกิริยามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่า การทดลองมีข้อผิดพลาด ซึ่งความผิดพลาดของการไทเทรต (Titration error) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\% \text{ Titration error} = \frac{(V_{\text{end point}} - V_{\text{equivalence point}}) \times 100}{V_{\text{equivalence}}}$$

การทดลองควรมีข้อผิดพลาดไม่เกิน 0.1% หรือ 1 ppt (หนึ่งในพันส่วน) หรือทำปฏิกิริยาสมบูรณ์ 99.9% เรียกวิธีการวิเคราะห์แบบนี้ว่ามีการวิเคราะห์โดยการไทเทรต Titrametric analysis (ในทางปฏิบัติจะเกิดความแตกต่างระหว่างจุดสมมูล และจุดยุติเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนของการไทเทรต)



ภาพที่ 2.1 การไทเทรตกรด-เบสในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.2 **สารละลายมาตรฐาน**

สารละลายมาตรฐาน คือสารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่ถูกต้องและแน่นอน มีการเตรียม 2 วิธี คือ

- วิธีตรง ชั่งสารอย่างละเอียด ทำให้เป็นสารละลายที่ทราบปริมาณแน่นอน และคำนวณความเข้มข้นได้แน่นอน เรียกว่า สารปฐมภูมิ

- วิธีอ้อม ชั่งสาร และวัดปริมาตรอย่างหยาบ ๆ แล้วหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardize) กับสารละลายปฐมภูมิ เรียกว่า สารทุติยภูมิ

สารมาตรฐานตามปกติแบ่งออกได้เป็น Primary และ Secondary Standard ซึ่งอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ กัน และสามารถหาได้จากแหล่งต่าง ๆ เช่น

1. NBS (National Bureau of Standard) USA
2. MBM LTD (Bureau of Analysed Samples LTD) UK
3. IAEA (International Atomatic Energy Agency) Austria
4. Spex จาก USA

สารมาตรฐานเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็น Primary Standard ซึ่งอาจเรียกได้อีกว่าเป็น Standard Reference Materials (SRM) นั่นคือมีใบรับรอง (Certifying SRM) แจ้งปริมาณด้วยเสมอ

คุณสมบัติของสารมาตรฐานปฐมภูมิ

สารมาตรฐานปฐมภูมิ คือ สารที่สามารถชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้นที่แน่นอน เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานทุติย-ภูมิ ซึ่งสารมาตรฐานปฐมภูมิควรมีสมบัติ ดังนี้

1. เป็นสารที่ง่ายต่อการทำให้บริสุทธิ์ ทำให้แห้งง่าย และเก็บในสภาวะที่คงทน ความบริสุทธิ์ได้
2. เป็นสารที่มีความบริสุทธิ์สูง
3. เป็นสารที่ไม่เปลี่ยนแปลงขณะชั่ง
4. เสถียรที่อุณหภูมิใช้อบสารนั้นเพื่อทำให้แห้ง
5. ต้องเป็นสารที่สามารถละลายได้ในสภาวะการทดลอง
6. ทำปฏิกิริยากับสารมาตรฐานด้วยอัตราส่วนเลขลงตัว
7. เป็นสารที่มีมวลโมเลกุลสูง เพื่อทำให้ข้อผิดพลาดจากการชั่งน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.3 ประเภทของการวิเคราะห์หาปริมาณโดยการวัดปริมาตร

แบ่งตามชนิดของปฏิกิริยา

1) **ปฏิกิริยาสะเทิน** (Neutralization Reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดกับเบส ซึ่งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ส่วนใหญ่มักจะเป็นกรดหรือเบส ดังนั้นจึงสามารถนำมาทำการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานของเบสแก่ หรือเบสแก่ได้ "จุดยุติของการไทเทรตประเภทนี้จะดูจากการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์ หรือติดตามดูการเปลี่ยนแปลงของ pH ด้วยการวัดด้วยมาตรวัดความเป็นกรด-เบส" ในทำนองเดียวกันกรดอ่อน และเบสอ่อนก็สามารถจะนำมาทำการไทเทรตได้ด้วยปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบส ดังนี้

$$H_3^+O\ (aq) + OH^-\ (aq) \Leftrightarrow 2H_2O\ (l)$$

ถ้าการไทเทรตมีเบสเป็นสารตัวอย่าง และกรดเป็นไทแทรนต์ เรียก Alkalimetry ในทางกลับกัน เมื่อให้กรดเป็นสารตัวอย่าง และเบสเป็นไทแทรนต์เรียก Acidity

2) **ปฏิกิริยาการตกตะกอน** (Precipitation Reaction)

ในกรณีการเกิดการตกตะกอนไทแทรนต์ที่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์แล้วให้ผลิตผลเป็นสารที่ไม่ละลายในน้ำ เช่น

$$Cl^-\ (aq) + Ag^+\ (aq) \Leftrightarrow AgCl\ (s)$$

ซึ่งเราอาจใช้อินดิเคเตอร์เป็นตัวชี้จุดยุติของการไทเทรต หรือดูการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของสารละลาย หรือใช้การดูการเปลี่ยนแปลงของ pH เช่นเดียวกัน

3) **ปฏิกิริยาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน** (Complex Formation Reaction)

กรณีนี้ไทแทรนต์จะทำหน้าที่เป็นเอเจนต์ที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น และสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมานี้ละลายน้ำได้ดี สารตัวอย่างมักจะเป็นโลหะซึ่งจะถูกจับอยู่ในสารประกอบเชิงซ้อนนี้ ซึ่งไทแทรนต์มักจะเป็นสารที่เรียกว่าคีเลตติงเอเจนท์ (chelating agent) ในการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ควรเป็นชนิดที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเข้มมองเห็นเด่นชัดที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) **ปฏิกิริยารีดักชัน – ออกซิเดชัน** (Oxidation – Reduction reaction)

เรียกอีกอย่างว่า การไทเทรตปฏิกิริยารีดอกซ์ (RedoxTitration) เป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการไทเทรตระหว่างสารที่เป็นตัวออกซิไดส์กับตัวรีดิวซ์ โดยตัวออกซิไดส์จะทำหน้าที่รับอิเลคตรอน ส่วนตัวรีดิวซ์จะมีการสูญเสียอิเล็กตรอนไปในปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารสองตัว เพื่อให้เห็นจุดยุติได้ชัด สารตัวหนึ่งจะต้องเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงมาก ส่วนอีกตัวจะต้องเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง

2.1.5.4 คุณสมบัติของปฏิกิริยาในการวิเคราะห์

1) ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การเกิดปฏิกิริยาต้องไม่มากไปกว่าช่วงเวลาที่เติมไทแทรนต์หยดต่อไป
2) สีของอินดิเคเตอร์ ปรากฏที่จุดยุติช่วงเวลาประมาณ 30 วินาที
3) สามารถดุลสมการของปฏิกิริยาได้ และไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงระหว่างสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน และต้องทำปฏิกิริยากันอย่างมีปริมาณสัมพันธ์
4) สารมาตรฐานควรอยู่ในบิวเรตต์ คือใช้สารละลายมาตรฐานเป็นไทแทรนต์
5) ต้องเลือกอินดิเคเตอร์ให้เหมาะสมในการหาจุดยุติของปฏิกิริยานั้น ๆ เพื่อให้ใกล้เคียงกับจุดสมมูล

2.1.5.5 หลักการทำการวิเคราะห์

1) สารตัวอย่างไม่ควรมีปริมาณน้อยเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในการชั่งสารได้
2) ปริมาณไทแทรนต์ที่ใช้ไม่ควรน้อยเกินไป เพราะอาจมีข้อผิดพลาดจากการอ่านบิวเรตต์มาก ถ้าใช้ปริมาณไทแทรนต์น้อยเกินไป
3) สารตัวอย่างไม่ควรมากเกินไปจนใช้ไทแทรนต์มากเกินปริมาณที่มีในบิวเรตต์ ทำให้ต้องเติมไทแทรนต์ลงไปในบิวเรตต์อีกซึ่งเป็นการไม่สะดวก
4) ความเข้มข้นของไทแทรนต์มีขนาดพอเหมาะ
5) การไทเทรตโดยตรงเป็นวิธีที่ดีหาจุดยุติได้โดยตรง ถ้าหาอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมไม่ได้ก็อาจใช้วิธีการไทเทรตย้อยกลับ
6) ควรทำการทดลองที่ให้ผลใกล้เคียงมากที่สุดอย่างน้อย 3 ค่า ถ้าจะให้ผลการทดลองมีความถูกต้องมากควรทำการทดลองหลาย ๆ ครั้ง แล้วคำนวณผลที่ได้ตามหลักของสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.6 การคำนวณ

2.1.5.6.1 การคำนวณการวัดปริมาตรโดยใช้หน่วยโมลาร์

สารส่วนใหญ่จะไม่ทำปฏิกิริยากันด้วยอัตราส่วน 1:1 ดังนั้นสูตรของการคำนวณทั่วไปซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับการคำนวณของปฏิกิริยาทุก ๆ ประเภท ดังนี้

$$aA + bB \rightarrow P(product)$$

A เป็นสารตัวอย่าง B เป็นไทแทรนต์ P เป็นสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากสมการ สาร A จำนวน a โมลทำปฏิกิริยาพอดีกับสาร B จำนวน b โมล

สาร A จำนวน 1 โมลทำปฏิกิริยาพอดีกับสาร B จำนวน $\frac{b}{a}$ โมล

จะได้ $$\frac{\text{จำนวนโมลของสาร B}}{\text{จำนวนโมลของสาร A}} = \frac{b}{a}$$

สูตรคือ $$\frac{\text{molB}}{b} = \frac{\text{molA}}{a}$$

การคำนวณ

1. จำนวนโมลของไทแทรนต์ A = ปริมาตรของสารละลาย A ที่ใช้ไป x ความเข้มข้นของสารละลาย A

$$= M_A V_A$$

2. จำนวนโมลสารถูกไทเทรต B = ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง B x ความเข้มข้นของสารละลาย B

$$= M_B V_B$$

แทนค่าในสูตรจะได้ $\frac{M_B V_B}{b} = \frac{M_A V_A}{a}$ เพื่อใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.6.2 การคำนวณหา pH ในการไทเทรต

การไทเทรตกรด-เบสที่พบกันโดยมากมี 3 ประเภทตามชนิดของกรดและเบสที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ดังนี้

1) การไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสแก่ (Titration of Strong Acids and Strong Bases)

ลักษณะการไทเทรตเป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดและเบสที่แตกตัวได้สมบูรณ์จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาสะเทินที่สมบูรณ์ด้วย ซึ่งจะได้สารละลายเกลือที่เป็นกลาง (pH = 7) ที่จุดสมมูล ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาระหว่าง NaOH กับ HCl ดังนั้น $[H_3O^+]$ ของสารละลายกรดแก่จะคิดได้จาก 2 จุดกำเนิดคือ

a. ปฏิกิริยากรดแก่ในสารละลายขณะนั้น

b. การแตกตัวของน้ำ

ดังนั้น $[H_3O^+] = C_{acid} + [OH^-]$ ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ C_{acid}

และ $[OH^-] = C_{base} + [H_3O^+]$ ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ C_{base}

เมื่อ C คือความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร

ในการคำนวณ pH มีสมการสำคัญในการใช้คำนวณดังนี้

1) $K_w = [H_3O^+][OH^-]$
2) $14.00 = pH + pOH$
3) $K_w = K_a * K_b$

ตารางที่ 2.3 สูตรการคำนวณการไทเทรตระหว่างกรดแก่และเบสแก่

	สารตัวอย่างเป็นกรดแก่	สารตัวอย่างเป็นเบสแก่
ที่จุดเริ่มต้น	$[H_3O^+]$ = [กรด]	$[OH^-]$ = [เบส]
ก่อนถึงจุดสมมูล	$[H_3O^+]$ = [กรดที่เหลือจากปฏิกิริยา]	$[OH^-]]$ = [เบสที่เหลือจากปฏิกิริยา]
ที่จุดสมมูล	$[H_3O^+] = \sqrt{K_w}$	$[H_3O^+] = \sqrt{K_w}$
หลังจุดสมมูล	$[OH^-]$= [ไทแทรนต์เบสที่เกิน]	$[H_3O^+]$ = [ไทแทรนต์กรดที่เกิน]

เมื่อ

[กรดที่เหลือจากปฏิกิริยา] = C_{acid}

โดย $C_{acid} = \dfrac{(\text{จำนวนโมลของกรดเริ่มต้น} - \text{จำนวนโมลของไทแทรต์เบสที่เกิน})}{\text{ปริมาตรรวมกรดและเบส}}$

และ จำนวนโมลของกรด = ความเข้มข้นของกรดเริ่มต้น x ปริมาตรของกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[เบสที่เหลือจากปฏิกิริยา] = C_{base}

โดย C_{base} = $\frac{\text{(จำนวนโมลของเบสเริ่มต้น — จำนวนโมลของไทแทรต์กรดที่เกิน)}}{\text{ปริมาตรรวมกรดและเบส}}$

และ จำนวนโมลของเบส = ความเข้มข้นของเบสเริ่มต้น x ปริมาตรของเบส

[ไทแทรต์เบสที่เกิน] = C_{base}

โดย C_{base} = $\frac{\text{(จำนวนโมลของไทแทรนต์เบส — จำนวนโมลของกรดเริ่มต้น)}}{\text{ปริมาตรรวมกรดและเบส}}$

[ไทแทรต์กรดที่เกิน] = C_{acid}

โดย C_{acid} = $\frac{\text{(จำนวนโมลของไทแทรนต์กรด — จำนวนโมลของเบสเริ่มต้น)}}{\text{ปริมาตรรวมกรดและเบส}}$

2) **การไทเทรตระหว่างกรดแก่กับเบสอ่อน** (Titration of Strong Acids and Weak Bases)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดที่แตกตัวสมบูรณ์และเบสที่มีการแตกตัวไม่สมบูรณ์ (ผันกลับได้) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดและเบสเป็นปฏิกิริยาไปทางเดียวที่เกิดสมบูรณ์ และก่อนถึงจุดสมมูลของปฏิกิริยาจะเกิดสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) ที่เกิดจากสารละลายเบสอ่อนกับคู่กรดของเบสอ่อน (เกลือของเบสอ่อน) ส่วนที่จุดสมมูลจะได้สารละลายเบสอ่อนกับคู่กรดของเบสอ่อน (เกลือของเบสอ่อน) ส่วนที่จุดสมมูลจะได้สารละลายเกลือที่เป็นกรดนั่นคือมี pH < 7 และเกิดคู่กรดของเบสขึ้น ปฏิกิริยานี้มักจะใช้กรดแก่เป็นไทแทรนต์

ตารางที่ 2.4 สูตรการคำนวณการไทเทรตระหว่างกรดแก่และเบสอ่อน

	สารตัวอย่างเป็นเบสอ่อน
ที่จุดเริ่มต้น	$[OH^-] = \sqrt{K_b \cdot C_B}$
ก่อนถึงจุดสมมูล	$pH = (pK_w - pK_b) + \log \frac{C_B}{C_{BH^+}}$
ที่จุดสมมูล	$[H_3O^+] = \sqrt{\frac{K_w}{K_b} \cdot C_{BH^+}}$
หลังจุดสมมูล	$[H_3O^+]$ = [ไทแทรนต์กรดแก่ที่เกิน]

โดย C_B = ความเข้มข้นของเบส

C_{BH^+} = ความเข้มข้นของคู่กรดของเบสหรือเกลือของเบสอ่อนที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= ความเข้มข้นของกรดแก่ที่เติมลงไป

$$[\text{ไทแทรต์กรดแก่ที่เกิน}] = \frac{(\text{จำนวนโมลของกรดแก่} - \text{จำนวนโมลของเบสอ่อนเริ่มต้น})}{\text{ปริมาตรรวมกรดและเบส}}$$

เมื่อคู่กรดของเบสทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดังนี้

$$BH^+ + H_2O \Leftrightarrow B + H_3O^+$$

นั่นคือ $[H_3O^+] = \sqrt{K_b \cdot C_{BH^+}} = \sqrt{\frac{K_w}{K_b} \cdot C_{BH^+}}$

3) **การไทเทรตระหว่างกรดอ่อนกับเบสแก่** (Titration of Weak Acids and Strong Base)

เป็นปฏิกิริยาระหว่างกรดที่แตกตัวไม่สมบูรณ์ (ผันกลับได้) และ เบสที่แตกตัวสมบูรณ์ ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างกรดกับเบสเป็นปฏิกิริยาไปทางเดียว และเกิดขึ้นสมบูรณ์ ก่อนถึงจุดสมมูลจะเกิดสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) ที่เกิดจากกรดอ่อนกับคู่เบสของกรดอ่อน (เกลือของกรดอ่อน) ส่วนที่จุดสมมูลได้สารละลายเกลือที่เป็นเบสนั่นคือ pH > 7 และเกิดคู่เบสของกรดอ่อนขึ้น ปฏิกิริยานี้มักใช้เบสแก่เป็นไทแทรนต์

ตารางที่ 2.5 สูตรการคำนวณการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนและเบสแก่

	สารตัวอย่างเป็นกรดอ่อน
ที่จุดเริ่มต้น	$[H_3O^+] = \sqrt{K_a \cdot C_{HA}}$
ก่อนถึงจุดสมมูล	$pH = pK_a + \log \frac{C_A}{C_{HA}}$
ที่จุดสมมูล	$[OH^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_a} \cdot C_{A^+}}$
หลังจุดสมมูล	$[OH^-]$ = [ไทแทรนต์เบสแก่ที่เกิน]

โดย C_{HA} = ความเข้มข้นของกรด

C_A = ความเข้มข้นของคู่เบสของกรดหรือเกลือของกรดอ่อนที่เกิดขึ้น

= ความเข้มข้นของเบสแก่ที่เติมลงไป

$$[\text{ไทแทรต์เบสแก่ที่เกิน}] = \frac{(\text{จำนวนโมลของเบสแก่} - \text{จำนวนโมลของกรดอ่อนเริ่มต้น})}{\text{ปริมาตรรวมกรดและเบส}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคู่กรดของเบสทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดังนี้

$$A + H_2O \Leftrightarrow HA + OH^-$$

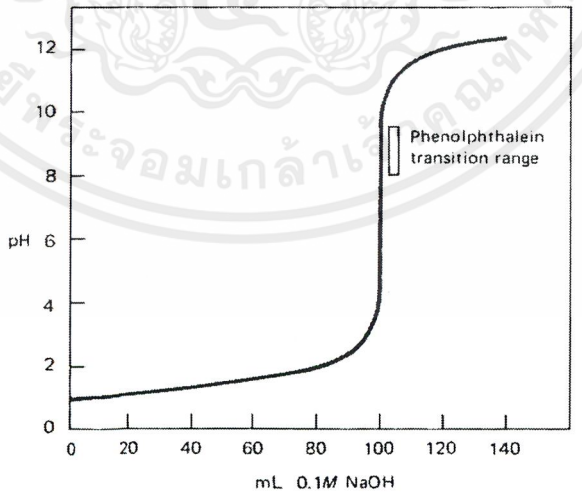
นั่นคือ $[OH^-] = \sqrt{K_b \cdot C_A} = \sqrt{\frac{K_w}{K_a} \cdot C_A}$

2.1.5.7 กราฟของการไทเทรต

ในขณะทำการไทเทรตจะเกิดการเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายซึ่งสามารถวัดได้โดยใช้มาตรวัดความเป็นกรดเป็นด่าง (pH Meter) หรือถ้าทราบความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรตก็คำนวณ pH ของสารละลายขณะที่ทำการไทเทรต แล้วนำไปสร้างกราฟโดยให้ปริมาตรของไทแทรนต์เป็นแกน x และค่า pH ของแต่ละจุดที่เติมไทแทรนต์เป็นแกน y จะได้กราฟที่เรียกว่าเคอร์ฟของการไทเทรต (Titration Curve) ทำให้สามารถหาจุดสมมูลของปฏิกิริยาและการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมได้

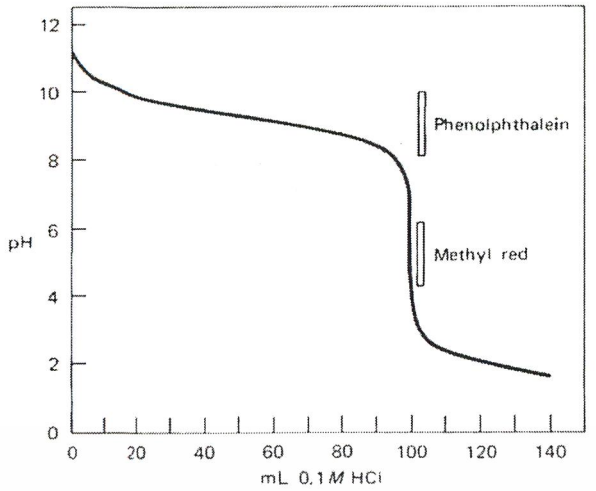
1) **กราฟการไทเทรตแบบปกติ** (Normal Titration Curve)

เป็นกราฟที่มีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของไทแทรนต์ (X) กับค่า pH (Y) ซึ่งจะมีรูปเป็นลักษณะของ S-Curve ในช่วงที่มีความชันมากที่สุดจะเป็นช่วงของปริมาตรของไทแทรต์ทำให้เกิดจุดยุติ

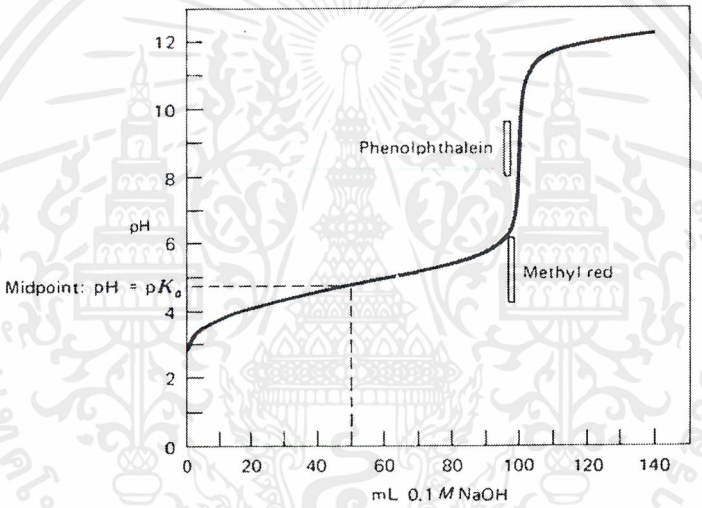


ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟการไทเทรตแบบปกติระหว่างกรดแก่และเบสแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟการไทเทรตแบบปกติระหว่างกรดแก่และเบสอ่อน

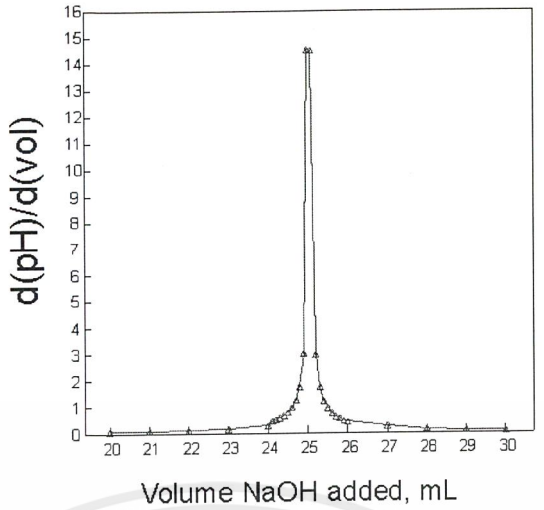


ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟการไทเทรตแบบปกติระหว่างกรดอ่อนละเบสแก่

2) **กราฟอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง** (First-Derivative)

เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด(pH) ต่อ 1 หน่วยปริมาตร (ΔpH / ΔV) กับค่าเฉลี่ยของปริมาตร (Midpoint of Volume) โดยค่าเฉลี่ยปริมาตรเป็นค่าในแกนนอน และค่า ΔpH / ΔV เป็นค่าในแกนตั้ง จะได้กราฟที่มีจุดสูงสุดที่สามารถหาปริมาตรของไทแทรนต์ที่ทำให้เกิดจุดยุติได้ที่จุดนั้น

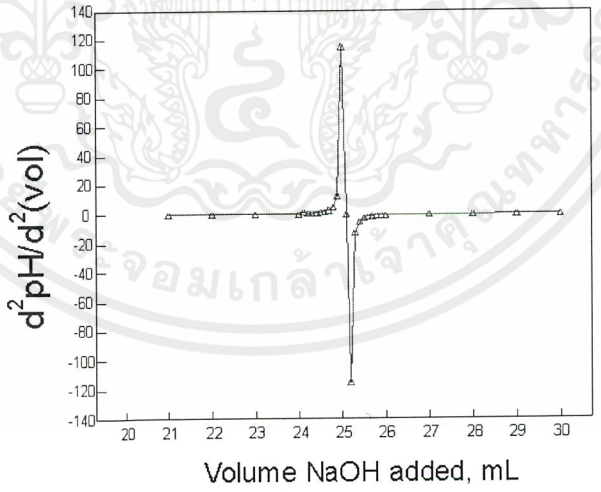
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟอนุพันธ์อันดับที่หนึ่ง (First – Derivative)

3) **กราฟอนุพันธ์อันดับที่สอง** (Second-Derivative)

เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Δ^2pH / ΔV^2 กับค่าเฉลี่ยของปริมาตรจากกราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่ง โดยใช้ค่าเฉลี่ยปริมาตรเป็นค่าในแกนนอน และค่า Δ^2pH / ΔV^2 เป็นค่าในแกนตั้ง จะได้กราฟที่มีการตัดแกนนอนที่จุดใด ๆ ที่เป็นปริมาตรของไทแทรนต์ที่เกิดจุดยุติ



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟอนุพันธ์อันดับที่สอง (Second – Derivative)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.8 **การหาจุดยุติ**

สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

1) **วิธีการสังเกตด้วยตาเปล่า** เช่น

- ไทแทรนต์ทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์ เช่น ด่างทับทิม ($KMnO_4$)

- อินดิเคเตอร์กรด-เบส (Hln) ซึ่งในสภาพกรดจะมีสีเฉพาะ และเมื่อเปลี่ยนเป็นรูปเบสจะมีสีเปลี่ยนไป เช่น ฟินอล์ฟทาลีนที่ในรูปกรดไม่มีสี แต่ในรูปเบสจะมีสีชมพูบานเย็น เป็นต้น อินดิเคเตอร์ประเภทนี้จะต้องเป็นกรด-เบส ที่อ่อนกว่าไทแทรนต์ นั่นคือ อินดิเคเตอร์จะไม่เข้าทำปฏิกิริยาจนกว่าการวิเคราะห์จะเกิดสมบูรณ์ ซึ่งการเลือกใช้อินดิเคเตอร์จะขึ้นกับ pH ของสารละลายที่จุดสมมูลของปฏิกิริยา

- สังเกตตะกอนที่เกิดขึ้น ซึ่งใช้ในการทำไทเทรตไซยาไนด์ด้วยสารละลายซิลเวอร์ไอออน นั่นคือสังเกตจุดยุติที่เกิดตะกอนขาวของ Ag $(AgCN)_2$

2) **วิธีการเชิงไฟฟ้า**

ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ตัวอย่างเช่น โพเทนชิโอเมทรี

2.2 การสื่อสารแบบอนุกรมและพอร์ต RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณอยู่ในช่วงระหว่าง —3 ถึง —12V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12 แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

2.2.1 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้ หรือ DB-9 ตัวผู้ โดยจะใช้ขาเหลือเพียง 9 ขาจากเดิมที่มี 25 ขา เพราะปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดย 9 ขานั้นประกอบไปด้วย

Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Data Carrier ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล โดยปกติขานี้จะไม่ค่อยได้ใช้งานมากนัก

Receive Data : RD (RxD) ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ที่รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Transmitted Data : TD (TxD) ใช้ขานี้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป

Data Terminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วย

Signal Ground : GND ขากราวด์ของระบบ

Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งส่งมาจากขา DTR

Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังเครื่องคอมพิวเตอร์

Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

Ring Imdicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ โดยปกติทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานต่อเมื่อมีการเชื่อต่อกับโมเด็ม และโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

ภาพที่ 2.7 พอร์ตอนุกรม RS-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 อุปกรณ์สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส UART

UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเองสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรมบนระบบคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือเป็นหัวใจสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรมเลย

หน้าที่หลักของ UART คือแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอะซิงโครนัส แล้วส่งออกไป รวมถึงการแปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ส่งกลับมา UART ให้เป็นแบบขนานก่อนจะข้อมูลที่ได้รับเข้ามาส่งกลับเข้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ และนอกจากจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่น ๆ ให้คอมพิวเตอร์ทราบด้วย เช่น อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล รูปแบบการรับส่งข้อมูล ความผิดพลาดจากการรับส่งข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี้ เฟรมข้อมูล หรือโอเวอร์รัน) เป็นต้น

2.2.3 แอดเดรสของพอร์ตอนุกรม

แอดเดรสพื้นฐานของพอร์ตอนุกรมมี 4 ตำแหน่ง ดังนี้คือ

COM1 : 3F8H

COM2 : 2F8H

COM3 : 3E8H

COM4 : 2E8H

เมื่อเริ่มเปิดเครื่องใช้งานคอมพิวเตอร์ ไบออสภายในคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจสอบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรมทั้งหมด ถ้าไบออสตรวจพบแอดเดรสของพอร์ตอนุกรม ไบออสจะนำแอดเดรสที่ตรวจพบไปเก็บไว้ในหน่วยความจำขนาด 2 ไบต์ สำหรับพอร์ตอนุกรม COM1 จะเก็บไว้ที่แอดเดรส 0000:0400H และ 0000:0401H

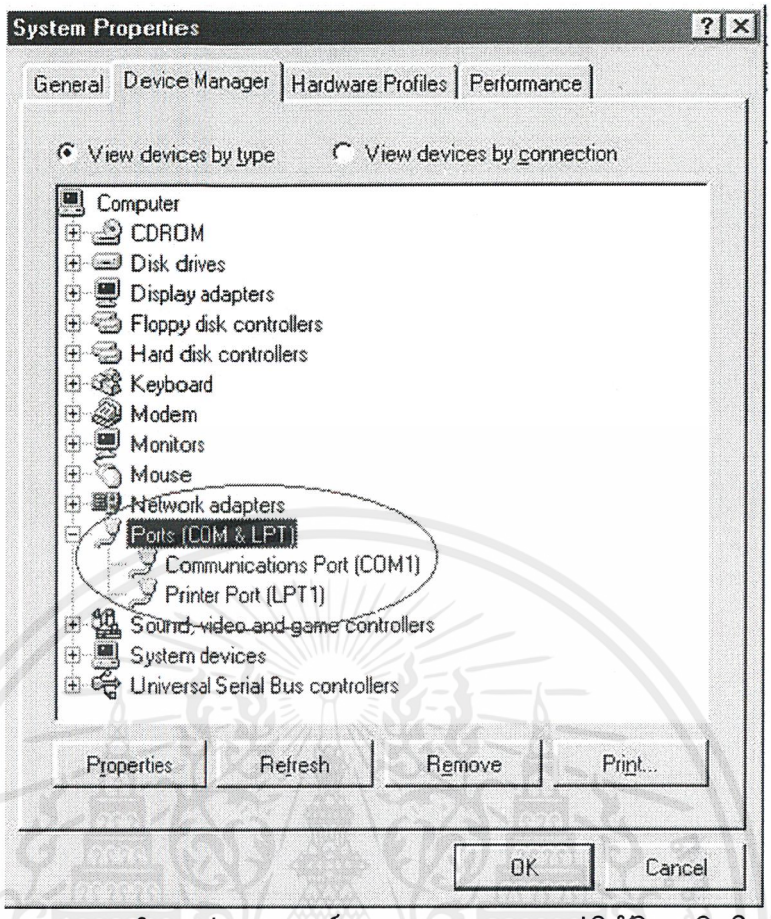
ส่วนตำแหน่งอื่น ๆ มีรายละเอียดดังนี้

COM2 = 0000:0402H — 0000:0403H

COM3 = 0000:0404H — 0000:0405H

COM4 = 0000:0406H — 0000:0407H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 การแสดงตำแหน่งของพอร์ตอนุกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ 95/98

2.2.4 คอนโทรล MSComm

สำหรับการใช้งาน Microsoft Visual Basic ตั้งแต่เวอร์ชัน 2 ขึ้นมา ใน Microsoft Visual Basic จะมี คัสตอมคอนโทรลสำหรับการสื่อสารอนุกรมผ่านทางพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์มาให้ โดยใช้ชื่อว่า MSComm16.OCX สำหรับทำงานกับระบบปฏิบัติการแบบ 16 บิต และ MSComm32.OCX สำหรับระบบปฏิบัติการแบบ 32 บิต โดยใน Microsoft Visual Basic เวอร์ชัน 5 จะมีเพียงแต่ MSComm32.OCX เพียงเท่านั้น เพราะถูกออกแบบมาให้ใช้กับระบบปฏิบัติการแบบ 32 บิต

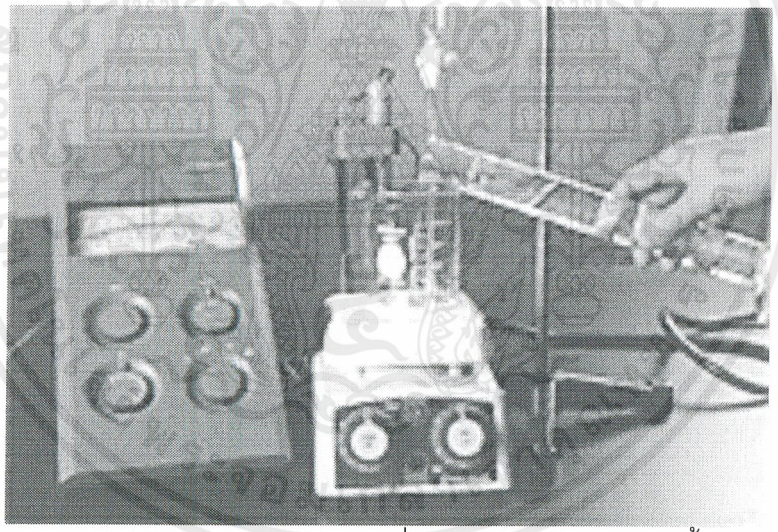
ตัวคอนโทรล MSComm 1 ตัวสามารถควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมได้ 1 พอร์ต ถ้าต้องการติดต่อมากกว่า 1 พอร์ตจะต้องใช้ตัวคอนโทรลนี้มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมพอร์ตอนุกรมทีละพอร์ต แอดเดรสของพอร์ตอนุกรมและแอดเดรสของการเกิดอินเทอร์รัพท์สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการแก้ไขค่าที่ Control Panel ของระบบปฏิบัติการวินโดว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการค้นคว้า

ในการพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด-เบส มีการดำเนินการพัฒนา 2 ส่วนคือ ส่วนที่ให้คอมพิวเตอร์ทำการสร้างสถานการณ์จำลองการทดลองการไทเทรตกรด-เบสซึ่งผลการทดลองที่ได้จะมาจากทฤษฎีทางเคมีอีกส่วนคือ การทำการทดลองจริงซึ่งคอมพิวเตอร์จะรับค่าข้อมูลจากการทดลองจริง 2 ค่าผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 นั่นคือ ค่าความเป็นกรดจากเครื่องวัดค่า pH และค่าน้ำหนักของสารตัวอย่างจากเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณ โดยทั้งสองส่วนเมื่อการทดลองเสร็จสิ้นผู้ใช้สามารถคำนวณผลการทดลองหาจุดยุติของการไทเทรตกรด-เบสได้เอง แล้วให้โปรแกรมหาค่าความผิดพลาด นอกจากนั้นโปรแกรมที่พัฒนาจะต้องใช้ค่าข้อมูลเฉพาะของสารเคมีจากฐานข้อมูลที่มีในการคำนวณตามทฤษฎี จึงต้องมีระบบส่วนจัดการฐานข้อมูลสารเคมี



ภาพที่ 3.1 การวัดค่าความเป็นกรดโดยเครื่องวัดค่าpH และการวัดน้ำหนักของสารละลายตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล

เครื่องมือในการค้นคว้าพัฒนาโปรแกรมที่จำเป็นมีดังนี้

- โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ง่ายต่อการพัฒนา มีประสิทธิภาพในการพัฒนาโปรแกรมสูงในระดับหนึ่ง และมีความสามารถในการติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ โดยผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งโปรแกรม Microsoft Visual Basic นั้นมีคอมโพเนนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และฟังก์ชั่นการทำงานที่ช่วยในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม RS-232 อยู่แล้ว จึงมีความสะดวกและเหมาะสมในการพัฒนาโปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด-เบส

- พอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งเป็นพอร์ตมาตรฐานที่มีอยู่บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และเป็นพอร์ตชนิดเดียวกับที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ คือ เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลได้

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH Meter) สำหรับการวัดค่าความเป็นกรดของสารละลายขณะทำการทดลอง และเพื่อใช้หาจุดยุติของการไทเทรต

- เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล สำหรับวัดน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสารละลายขณะทำการทดลอง เพื่อนำเอาน้ำหนักของสารละลายที่ได้ไปคำนวณหาปริมาตร

3.2 ความต้องการเบื้องต้นของระบบ (Requirement)

3.2.1 ความต้องการในด้านหน้าที่การทำงาน (Functional Requirements)

1) การรับข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณ

ระบบจะรับข้อมูลจากผู้ใช้ซึ่งเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จำเป็นในการคำนวณทางทฤษฎี เช่นปริมาตรของสารตัวอย่าง หรือประเภทการไทเทรตกรดเบส เป็นต้น ซึ่งจะเก็บเป็นค่าที่ใช้ในทุกส่วนของโปรแกรม

2) การรับผลการทดลองจริง

ระบบจะรับผลการทดลองซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดจากเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH Meter) และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลซึ่งส่งค่าผ่านพอร์ต RS-232

3) การคำนวณผลการทดลองตามทฤษฎี

การคำนวณผลการทดลองในการจำลองการทดลอง ระบบจะคำนวณค่าผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลเบื้องต้น และสร้างค่าข้อมูลบางค่าขึ้นเอง เช่น ปริมาตรของสารตัวอย่าง แล้วนำค่าที่คำนวณได้ตามสูตรของทฤษฎี ซึ่งผลการทดลองที่สำคัญดังนี้

- ค่าความเป็นกรด (pH) เมื่อปริมาตรของไทแทรนต์เปลี่ยนไป
- ค่าความเป็นกรด (pH) ที่จุดยุติ
- ค่าปริมาตรไทแทรนต์ที่จุดยุติ
- ค่าอนุพันธ์อันดับที่ 1 (First Derivative)
- ค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 (Second Derivative)

การคำนวณผลการทดลองจริง ระบบจะคำนวณค่าผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลเบื้องต้น และนำข้อมูลการทดลองจริงมาคำนวณตามสูตรของทฤษฎี ซึ่งผลการทดลองที่สำคัญเหมือนผลในการจำลองการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) **การแสดงผลการทดลอง**

ตารางผลการทดลอง ระบบจะนำผลการทดลองแสดงบนหน้าจอในรูปของตารางซึ่งมีค่าปริมาตรไทแทรนต์ที่ใช้ไป เช่นค่าความเป็นกรด (pH) ค่าอนุพันธ์อันดับที่ 1 ค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 แสดงให้เห็นความเป็นไปของการทดลอง

กราฟผลการทดลอง ระบบจะทำการวาดกราฟผลการทดลองทั้งกราฟการไทเทรตแบบปกติที่เป็น S-Curve กราฟอนุพันธ์อันดับ 1 และกราฟอนุพันธ์อันดับ 2

5) **การจัดการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูลการทดลอง**

ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลผลการทดลองที่ผู้ใช้ต้องการลงบน Hard Drive ของเครื่อง หรือทำการเปิดใช้งานไฟล์ที่ได้บันทึกไว้

6) **การจัดการเกี่ยวกับฐานข้อมูล**

การแสดงข้อมูลสารเคมี ระบบจะแสดงข้อมูลของสารเคมีตามที่ผู้ใช้ต้องการให้แสดงผล โดยติดต่อกับฐานข้อมูล

การจัดการฐานข้อมูล ระบบจะทำการจัดการฐานข้อมูลตามที่ผู้ใช้ต้องการ ทั้งการเพิ่มข้อมูล การลบข้อมูล และการเปลี่ยนแปลงข้อมูล โดยจะต้องติดต่อกับฐานข้อมูล

7) **การตรวจสอบค่าความผิดพลาดของผลการทดลอง**

ระบบจะนำผลการทดลองที่คำนวณได้จากทฤษฎีไปเปรียบเทียบกับของผู้ใช้แล้วจะทำการหาค่าความผิดพลาดให้ผู้ใช้

8) **การติดต่อกับเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง**

ระบบจะเชื่อมโยงให้บราวเซอร์หลักของคอมพิวเตอร์เปิดเข้าเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องหากเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

9) **ความรู้และทฤษฎีทางเคมีที่เกี่ยวข้อง**

ระบบแสดงทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณการไทเทรตกรด-เบส และความรู้พื้นฐานที่ต้องใช้ให้ผู้ใช้ได้ศึกษา หรือทบทวนความรู้เดิม

3.2.2 **ความต้องการที่ไม่เกี่ยวกับการทำงาน** (Nonfunctional Requirement)

1) **คู่มือการใช้โปรแกรม** คู่มือจะแบ่งออกตามหัวข้อการทำงานเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ตรงตามคุณลักษณะของผู้ใช้โปรแกรม

2) **ส่วนติดต่อระหว่าง Software** ต้องการระบบปฏิบัติการวินโดว์ในการทำงานและใช้ฐานข้อมูลแบบ Jet Engine

3) **ส่วนติดต่อระหว่าง Hardware** ใช้คอมโพเนนต์ MSComm32. OCX ของ Visual Basic 6.0 ในการสื่อสารกับพอร์ตอนุกรม RS-232 เพื่อรับค่าข้อมูลจากเครื่องวัดค่า pH และเครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิเคราะห์การทำงานของระบบ

ระบบจะมีการทำงาน 8 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1) **การคำนวณสถานการณ์จำลอง**

เมื่อผู้ใช้เลือกทำการจำลองการทดลอง ผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าข้อมูลเบื้องต้นให้โปรแกรม จากนั้นระบบจึงจะสามารถจำลองสถานการณ์การทดลองให้ผู้ใช้ และระบบจะมีการสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นเองเพื่อใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ผู้ใช้คำนวณได้

2) **การคำนวณสถานการณ์จริง**

เช่นเดียวกับการคำนวณสถานการณ์จำลอง ผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าข้อมูลเบื้องต้นในโปรแกรมซึ่งโปรแกรมจะนำค่าดังกล่าวไปคำนวณค่าผลการทดลองตามทฤษฎีเพื่อเก็บไว้เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ผู้ใช้คำนวณได้

3) **การจัดการแฟ้มข้อมูล**

เป็นการจัดการเกี่ยวกับการบันทึกและเปิดแฟ้มข้อมูลผลการทดลอง ซึ่งจะมีการจัดเก็บในรูปแบบ Text file นามสกุล .jaa

4) **การจัดการฐานข้อมูล**

เป็นการจัดการเกี่ยวกับข้อมูลสารเคมีซึ่งเก็บรายชื่อและคุณสมบัติบางประการของสารเคมีเพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งมีการจัดการเพิ่ม ลบ แก้ไข และทำรายงานสารเคมี

5) **การสร้างรายงานและกราฟการทดลอง**

เป็นการทำรายงานผลการทดลองที่ผู้ใช้ต้องการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ โดยสามารถระบุได้ว่าต้องการกราฟการทดลองชนิดใดบ้าง

6) **การทบทวนเนื้อหา**

ประกอบด้วยเนื้อหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทบทวนในส่วนที่ต้องการได้

7) **การติดต่อกับเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้อง**

เป็นการเชื่อมต่อกับโปรแกรม Internet Explorer เพื่อติดต่อไปยังเว็บไซต์เรื่องการไทเทรตกรด - เบส ที่น่าสนใจเพื่อให้ผู้ใช้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้

8) **ช่วยเหลือ** (Help)

ส่วนที่แนะนำการใช้โปรแกรมสนับสนุนไทเทรตกรด-เบส ซึ่งแปรตามหัวข้อการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ในระบบ

ข้อมูลที่นำมาเป็นรูปแบบในการพัฒนาโปรแกรม ผู้พัฒนาได้ศึกษาจากการทดลองการไทเทรตกรด - เบส อีกทั้งได้รวบรวมความต้องการของผู้ใช้เพื่อการพัฒนาโปรแกรมให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ และให้เกิดประโยชน์สูงสุดเมื่อนำโปรแกรมไปใช้จริง

โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด - เบส แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ จึงทำให้รูปแบบข้อมูลที่ใช้ต่างกัน 2 รูปแบบดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

3.4.1 การจำลองการทดลอง

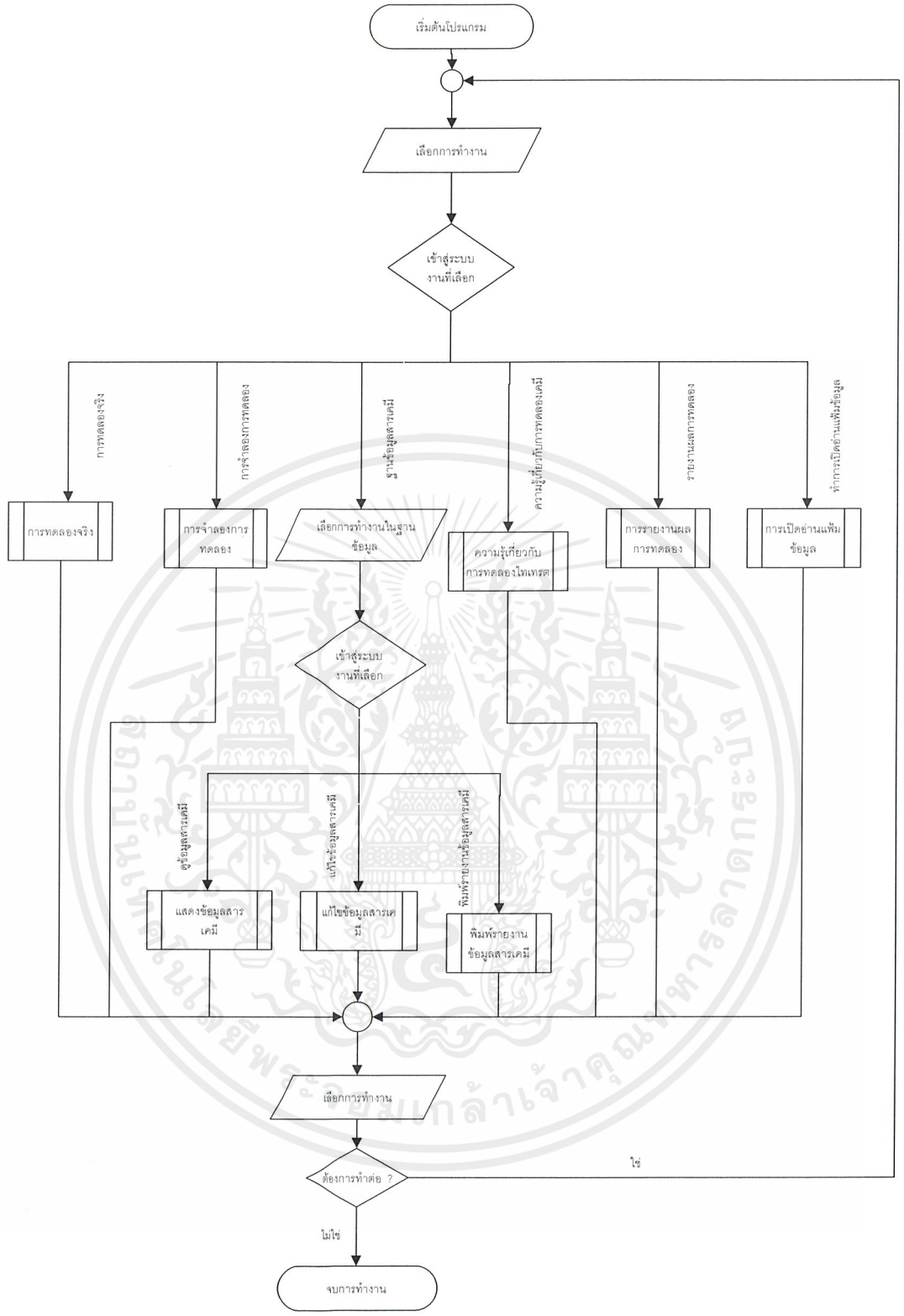
ข้อมูลที่ใช้คำนวณตามทฤษฎีกรด-เบสนั้น โปรแกรมจะทำการสังเคราะห์หรือสร้างขึ้นมา และใช้ร่วมกับข้อมูลเบื้องต้นที่ถูกกำหนดจากผู้ใช้ ซึ่งการสังเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรมจะมี 2 ค่า คือ ค่าปริมาตรของสารไทแทรนต์ที่ถูกใช้ไป และ ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

3.4.2 การทดลองจริง

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาผลการทดลองเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริงซึ่งอ่านค่าข้อมูลจากอุปกรณ์วัดค่า pH และเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล และส่งผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 และนำไปใช้ร่วมกับค่าข้อมูลเบื้องต้นที่กำหนดโดยผู้ใช้

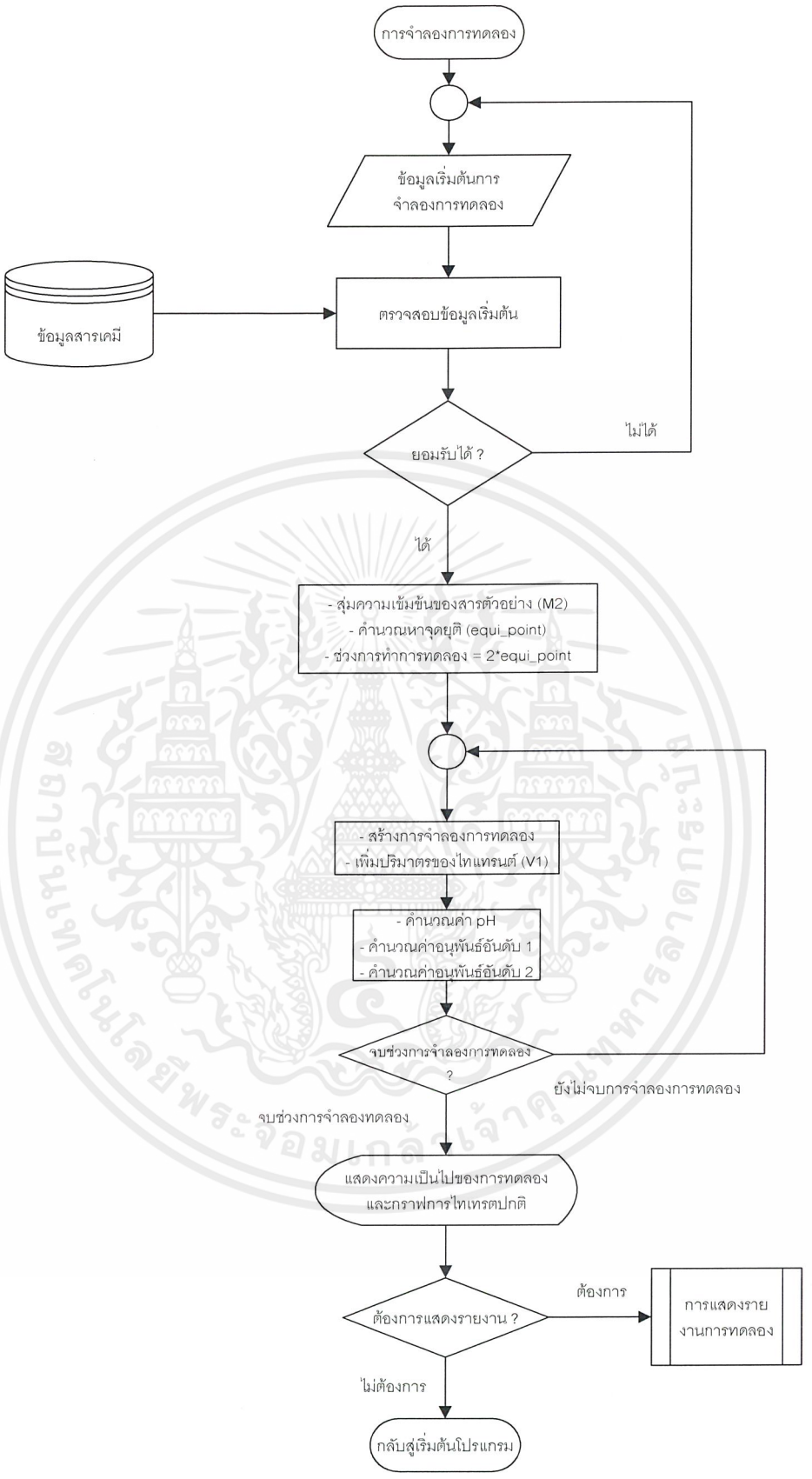
3.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



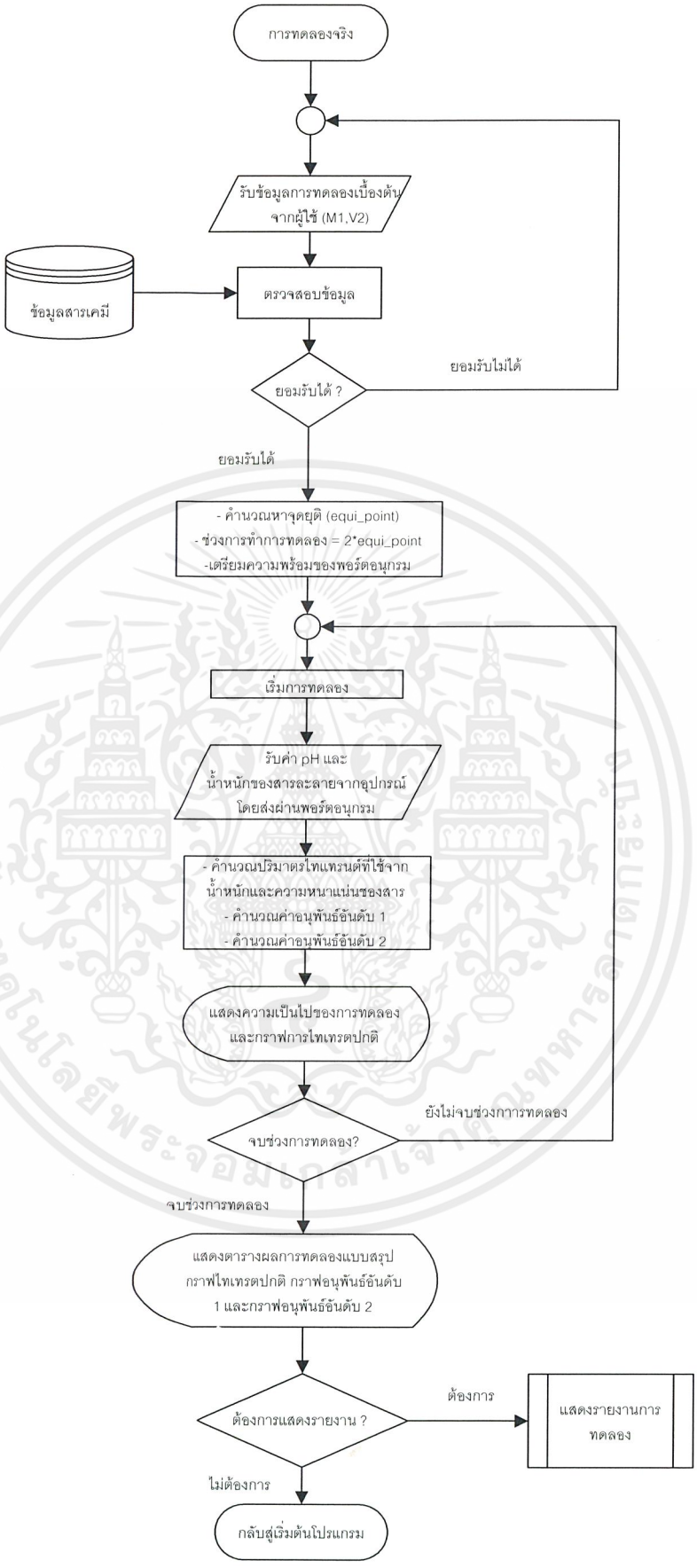
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



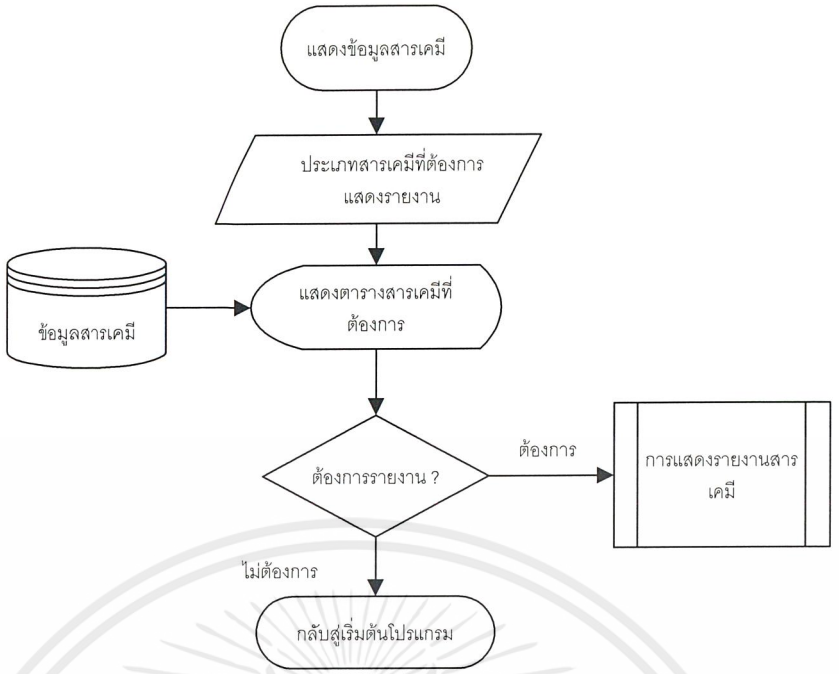
ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนส่วนการจำลองสถานการณ์การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

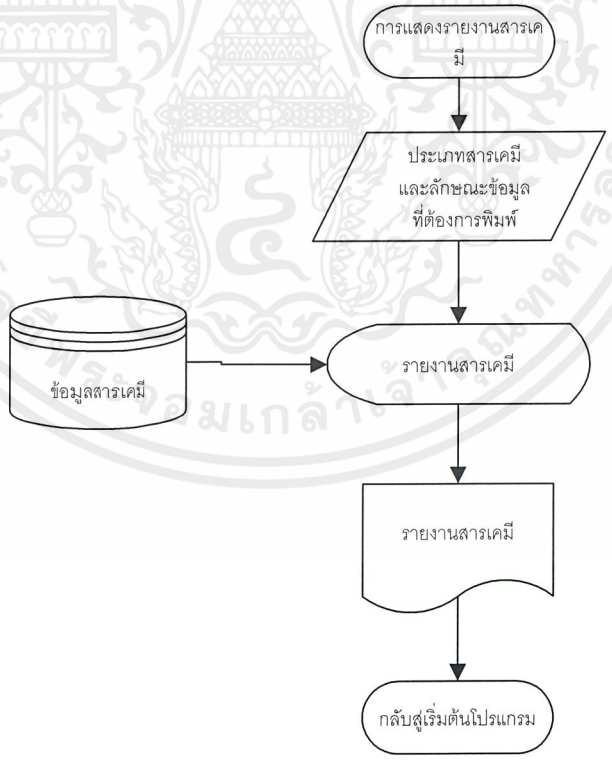


ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนส่วนการทำการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

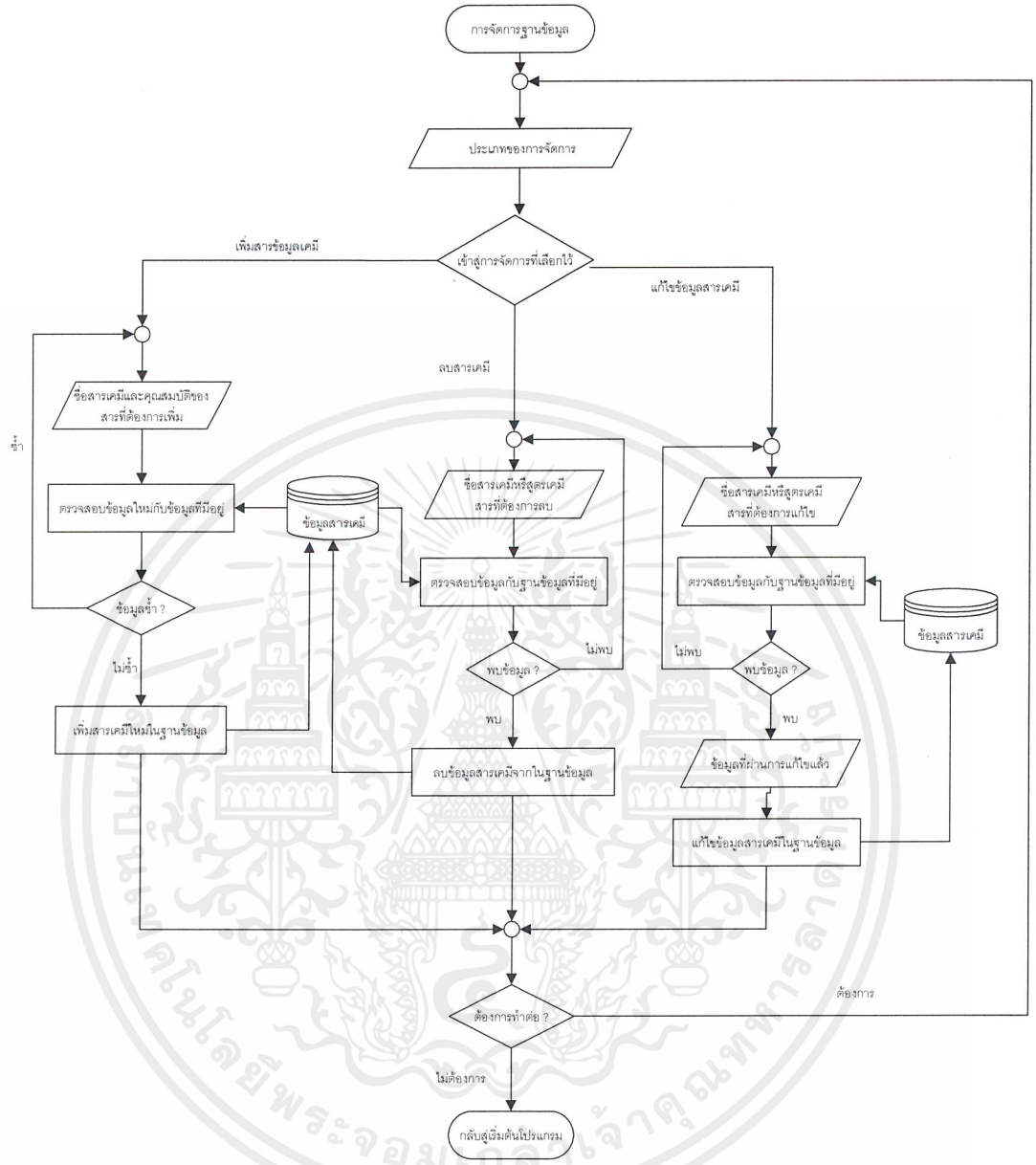


ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการแสดงข้อมูลสารเคมี



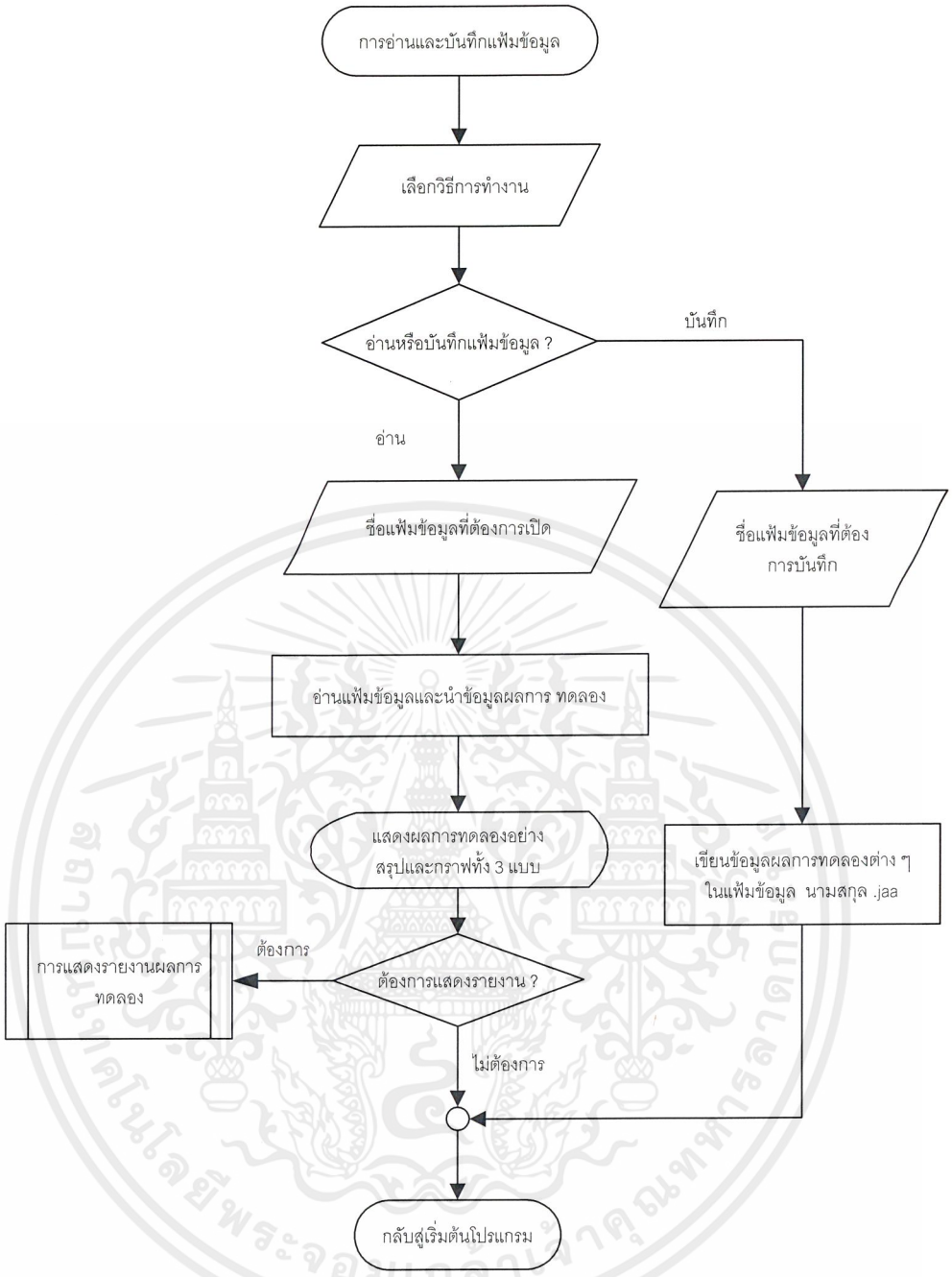
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนการทำรายงานข้อมูลสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



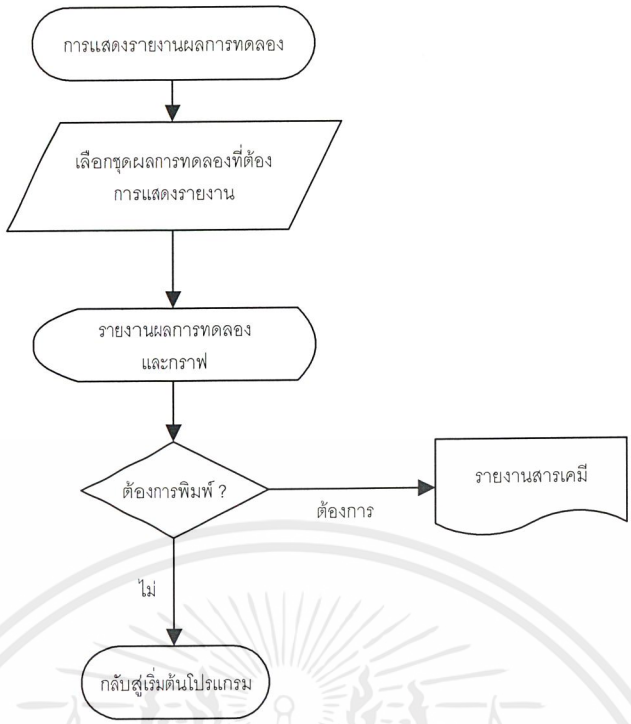
ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการจัดการฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

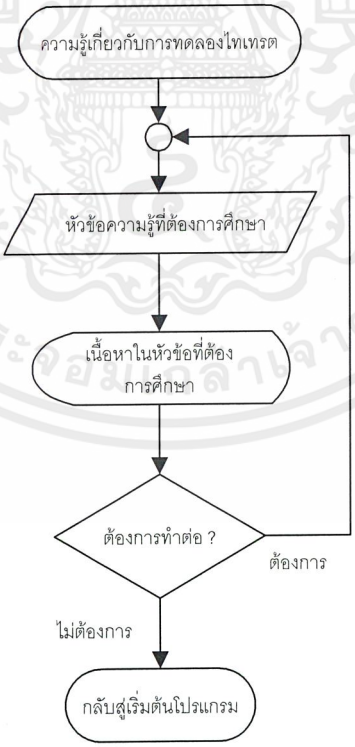


ภาพที่ 3.8 ขั้นตอนการอ่านและบันทึกแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการแสดงรายงานผลการทดลอง



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนแสดงความรู้เกี่ยวกับการทดลองไทเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
รูปแบบและการทำงานของระบบ

จากการศึกษาความต้องการเบื้องต้นของระบบ และนำมาวิเคราะห์ร่วมกับทฤษฎีและเครื่องมือต่าง ๆ ที่ได้กล่าวในบทข้างต้น ซึ่งภายใต้หัวข้อ "โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด–เบส" สามารถให้ผลการวิเคราะห์จากการศึกษาและพัฒนาโปรแกรมดังนี้

4.1 รูปแบบและความสามารถของระบบ

เนื่องจากโปรแกรมสามารถเลือกทำงานได้ในรูปแบบจึงมีการออกแบบหน้าจอหลักให้สามารถเลือกกระทำได้โดยใช้เมนูและทูลบาร์ (Toolbar) โปรแกรมแบ่งออกเป็นดังนี้

1) **การทำงานเกี่ยวกับการทดลอง** ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนการทำงาน คือ การจำลองการทดลองและการทดลองจริง ทั้งสองส่วนจะมีรูปแบบคล้ายกัน นั่นคือเริ่มต้นด้วยการใส่ค่าข้อมูลแล้วจึงทำการทดลอง ขณะทำการทดลองจะมีการแสดงกราฟไทเทรตแบบปกติ (pH Titration Curve) ที่สัมพันธ์กับการทดลองและยังแสดงค่าข้อมูลปัจจุบันที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ค่าปริมาตรของไทแทรนต์ที่ใช้ไปทั้งหมด และค่า pH ของสารละลาย พร้อมภาพเคลื่อนไหวประกอบ

2) **การทำงานเกี่ยวกับฐานข้อมูล** แบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ การแสดงรายการสารเคมีและการทำรายงานซึ่งจะไม่สามารถปรับปรุงหรือแก้ไขฐานข้อมูลได้ อีกรูปแบบคือการจัดการกับฐานข้อมูลที่เป็นการจัดการเกี่ยวกับการเพิ่ม การลบ การแก้ไขข้อมูลสารเคมีในฐานข้อมูล

3) **การทำงานเกี่ยวกับรายงานการทดลอง** เป็นส่วนที่ทำการแสดงผลการทดลองที่เป็นรูปแบบตารางและกราฟไทเทรตกรด–เบส ทั้ง 3 แบบ และผู้ใช้สามารถสั่งพิมพ์ผลการทดลองนั้นทางเครื่องพิมพ์

4) **การจัดการเกี่ยวกับไฟล์ข้อมูล** เป็นส่วนที่จัดการบันทึก เปิด ปิดไฟล์ข้อมูลผลการทดลอง ซึ่งในการปิดไฟล์จะสามารถเลือกได้ว่าต้องการปิดไฟล์ใด แต่ในการเปิดไฟล์สามารถเปิดไฟล์ได้ไม่เกิน 3 ไฟล์ โดยรวมถึงการทดลองปัจจุบันที่ทำอยู่ด้วยเพื่อให้แสดงกราฟเปรียบเทียบได้สวยงาม

5) **ความรู้ทางเคมีที่เกี่ยวข้อง** ประกอบด้วยเนื้อหาทางเคมีพร้อมรูปประกอบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเปิดดูเพื่อทบทวนเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

6) **การติดต่อกับเว็บไซต์ที่น่าสนใจ** เมื่อผู้ใช้ต้องการศึกษาข้อมูลหรือเนื้อหาทางเคมีที่เกี่ยวข้อง โปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อไปยัง Internet Explorer ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) **การตรวจสอบค่าความผิดพลาด** จะเป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้ทดสอบผลการทดลองที่คำนวณได้เองกับผลการทดลองที่ให้คอมพิวเตอร์คำนวณให้ ว่ามีความผิดพลาดมากน้อยเพียงใด ซึ่งส่วนนั้นผู้ใช้สามารถข้ามไปได้หากไม่ต้องการตรวจสอบ

4.2 ข้อจำกัดของระบบ

4.2.1 ข้อจำกัดที่เกี่ยวกับผู้ใช้

1) ผู้ใช้ระบบมีกลุ่มเป้าหมายเป็นผู้ที่ศึกษาในวิชาเคมีไทเทรตในระดับที่ไม่สูงกว่าเนื้อหาวิชาเคมีทั่วไป (General Chemistry) เนื่องจากข้อจำกัดในการคำนวณบางประการที่เกี่ยวกับทฤษฎีในระดับสูง

2) ผู้ใช้ควรมีพื้นฐานความรู้ในวิชาเคมีที่สามารถเข้าใจถึงการทดลองไทเทรตกรด–เบส เพราะเนื้อหาวิชาเคมีที่บรรจุในระบบเป็นเนื้อหาพอสังเขป อาจไม่สามารถใช้อธิบายได้ตรงตามที่ผู้ใช้ต้องการ

3) ผู้ใช้ควรเป็นผู้ที่เข้าใจการทดลองโดยใช้อุปกรณ์การทดลองเคมีและอุปกรณ์ด้านคอมพิวเตอร์ได้ในระดับหนึ่ง เนื่องจากโปรแกรมมีการเชื่อมโยงกับอุปกรณ์เหล่านี้

4.2.2 ข้อจำกัดตามหน้าที่การทำงานของระบบ

4.2.2.1 ข้อจำกัดด้านซอฟท์แวร์

1) เป็นการพัฒนาและสร้างระบบภายใต้ Microsoft Visual Basic 6.0 ซึ่งทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์

2) โปรแกรมถูกพัฒนาให้มีความสามารถในการประมวลผลสำหรับผู้ใช้เพียงคนเดียว แต่ยังคงต้องมีการรักษาความปลอดภัยในการเปลี่ยนแปลงฐานข้อมูลสารเคมีเพราะข้อมูลเป็นค่าเฉพาะของแต่ละสารเคมีและเป็นค่าคงที่ทางวิทยาศาสตร์ที่ความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นมีน้อย

3) เนื่องจากทฤษฎีการคำนวณการไทเทรตกรด–เบส ที่นำมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมครอบคลุมเพียงกรณีที่ทำการไทเทรตระหว่างกรดและเบสที่มีการแตกตัวครั้งเดียว (Monoprotic Solution) โปรแกรมจึงสามารถทำการคำนวณผลการทดลองของสารเคมีที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเท่านั้น (สารเคมีนอกเหนือจากนี้อาจมีแนวโน้มจะทำให้ผลการคำนวณค่าผิดจากความจริงมากเกินกว่าจะยอมรับได้ และเป็นสารเคมีที่ไม่นิยมใช้ในการทดลองไทเทรต)

4) การทดลองไทเทรตกรด–เบสที่โปรแกรมสามารถกระทำได้มี 3 ประเภท คือ ไทเทรตระหว่างกรดแก่–เบสแก่ กรดอ่อน–เบสแก่ และกรดแก่–เบสอ่อนเท่านั้น เพราะการไทเทรตระหว่างกรดอ่อนและเบสอ่อนให้ผลการทดลองที่ไม่ชัดเจน ไม่เหมาะกับการพัฒนาในขั้นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การเปิดไฟล์ผลการทดลองสามารถเปิดได้ไม่เกิน 3 ไฟล์เพราะมีข้อจำกัดในการแสดงผลการทดลองในรูปตารางและกราฟ

4.2.2.2 ข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์

1) โปรแกรมที่พัฒนามีขนาดใหญ่พอควรเนื่องจากมีภาพเคลื่อนไหวประกอบการทดลองเพื่อให้โปรแกรมเป็นที่น่าสนใจ

2) ในขณะที่โปรแกรมทำการประมวลผลหามผู้ใช้ต้องการบันทึกเก็บผลจากการทดลอง ระบบจำเป็นต้องมีเนื้อที่ว่างในที่ ๆ ใช้จัดเก็บข้อมูลเช่น ฮาร์ดดิสก์ หรือ แผ่นดิสก์ขนาดไม่ต่ำกว่า 100 kb และใช้หน่วยความจำสำรอง (RAM) ไม่น้อยกว่า 64 M

3) การพิมพ์รายงานออกทางเครื่องพิมพ์ โปรแกรมจะใช้เครื่องพิมพ์ที่ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ซึ่งไม่ใช่เครื่องพิมพ์แบบจุดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทางเคมี

4.3 การทำงานของโปรแกรม

4.3.1 การคำนวณเกี่ยวกับเคมี

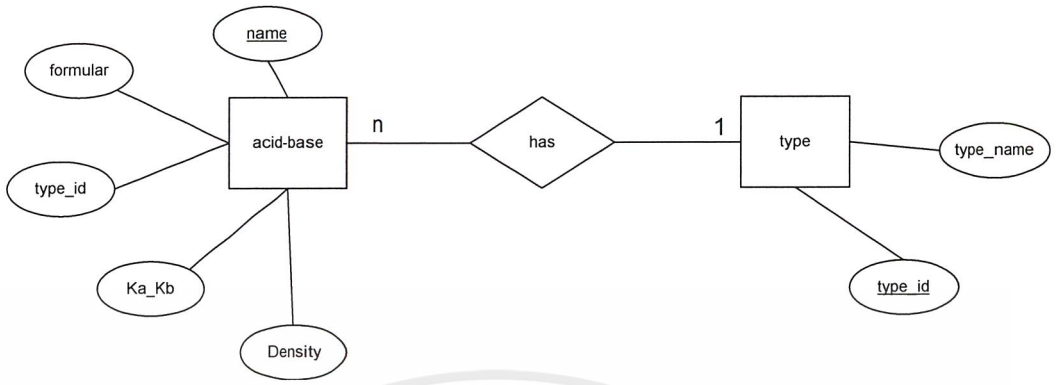
1) การคำนวณรูปแบบจำลองสถานการณ์ เมื่อมีค่าข้อมูลเบื้องต้นที่ผู้ใช้กำหนดแล้ว ระบบจะต้องทำการสุ่มค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่าง (สารที่ต้องการหาความเข้มข้น) เก็บไว้เพื่อใช้คำนวณจุดยุติและใช้ตรวจสอบกับผลการทดลองที่ผู้ใช้ได้คำนวณค่าเอง จากนั้นระบบจะทำการสร้างค่าความเป็นกรด (pH) ขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างไทแทรนต์ที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้นกับสารตัวอย่างที่มีอยู่ จากนั้นจะทำการคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่ 1 (First derivative) และค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 (Second derivative) จากค่าความเป็นกรดที่ได้

2) การคำนวณรูปแบบการทดลองจริง ทำคล้ายกับการจำลองสถานการณ์การทดลอง คือมีค่าข้อมูลเบื้องต้นที่ผู้ใช้กำหนดแล้วจึงเริ่มรับค่าความเป็นกรด (pH) ผ่านจากพอร์ตอนุกรม แล้วนำค่าความเป็นกรดนั้นไปคำนวณค่าอนุพันธ์อันดับที่ 1 (First derivative) และค่าอนุพันธ์อันดับที่ 2 (Second derivative)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 **ฐานข้อมูลสารเคมี**

รูปแบบของฐานข้อมูลสารเคมีดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ER diagram ของฐานข้อมูลสารเคมี

1) **แสดงรายงานและทำรายงาน** เมื่อผู้ใช้ต้องการตรวจสอบรายชื่อสารเคมี สามารถเลือกทำในหัวข้อนี้ซึ่งจะทำการแสดงรายชื่อตามประเภทของสารเคมีที่ผู้ใช้เลือก

2) **การจัดการฐานข้อมูล** เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงแก้ไขเพิ่มหรือลบสารเคมีในฐานข้อมูล ผู้ใช้จำเป็นต้องใส่รหัสผ่านก่อนทำการแก้ไขใด ๆ กับข้อมูลตามต้องการ ซึ่งรหัสผ่านจะถูกกำหนดโดยผู้ใช้เมื่อมีการติดตั้งโปรแกรมครั้งแรก และในการค้นหาข้อมูลในฐานข้อมูลในส่วนนี้จะทำการค้นหาได้จากชื่อสารเคมีหรือสูตรเคมี โดยฐานข้อมูลสารเคมีมีลักษณะการจัดเก็บข้อมูลจที่ใช้ชื่อสารเคมีเป็นคีย์หลักของตารางความสัมพันธ์

4.3.3 **การจัดการไฟล์ข้อมูล**

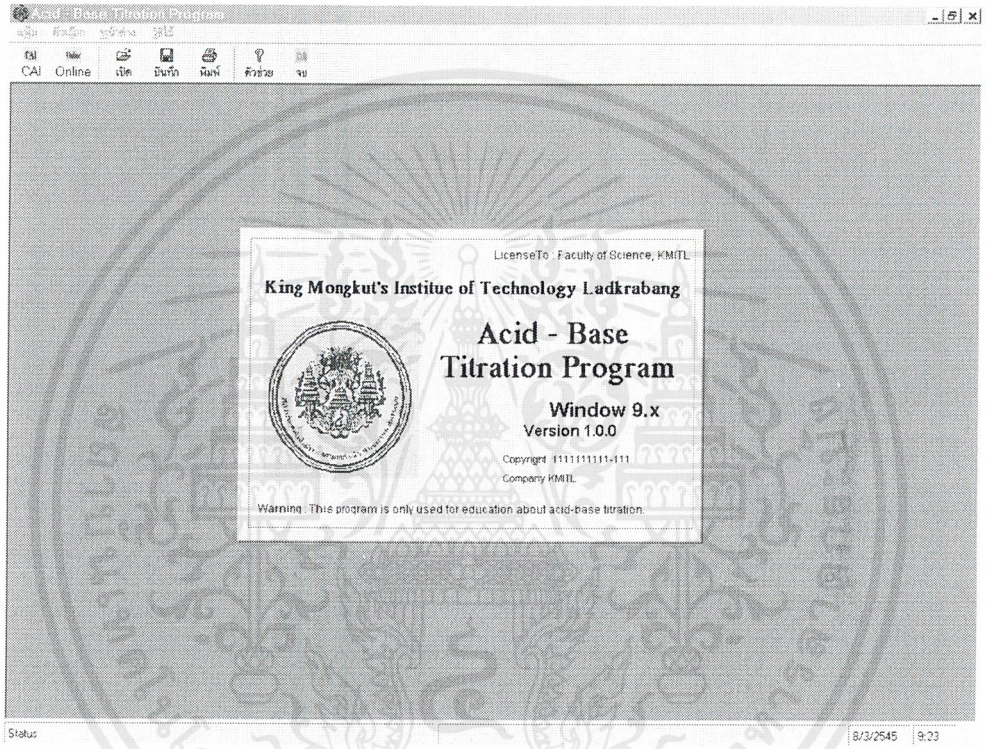
1) **การบันทึกผลการทดลอง** เมื่อมีผลการทดลองใหม่ที่เกิดขึ้นผู้ใช้สามารถบันทึกผลการทดลองนั้นๆ เป็นเท็กซ์ไฟล์นามสกุล .jaa ซึ่งเป็นรูปแบบเฉพาะของโปรแกรม

2) **การเปิดผลการทดลอง** สามารถเปิดไฟล์ของโปรแกรมซึ่งมีนามสกุล .jaa เท่านั้น และสามารถเปิดดูผลการทดลองได้อย่างมากไม่เกิน 3 ไฟล์ โดยรวมถึงการทดลองปัจจุบันที่กำลังกระทำอยู่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ลักษณะโดยรวมทั้งหมดของโปรแกรม

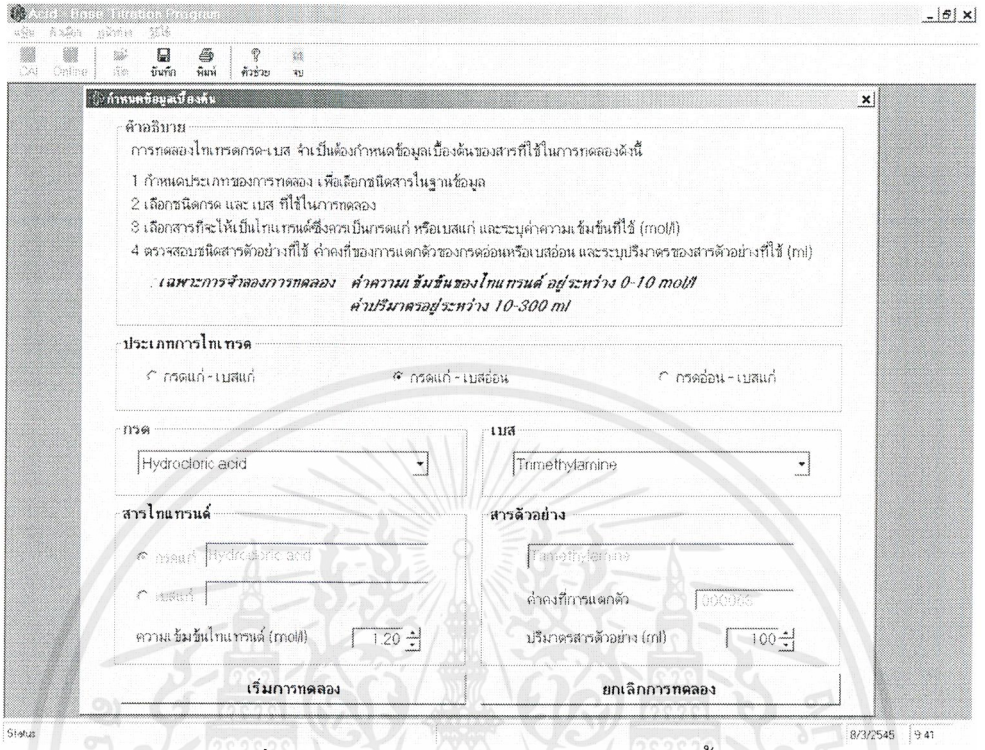
1) เมื่อเข้าสู่โปรแกรมจะปรากฏหน้าจอแสดงข้อมูลทางเทคนิคของโปรแกรมและหน้าการทำงานหลักซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกการทำงานในหัวข้อที่ต้องการ และหน้าจอนี้จะแสดงให้ผู้ใช้เห็น ตลอดจนกระทั่งออกจากโปรแกรม เมนูการใช้งานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ เมนูและแถบเครื่องมือ ในเมนูนั้นจะมีหัวข้อการกระทำทั้งหมดที่สามารถเลือกได้ ส่วนแถบเครื่องมือจะแสดงเฉพาะการกระทำที่ผู้ใช้น่าจะเรียกใช้งานมากกว่า



ภาพที่ 4.2 หน้าจอการทำงานหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

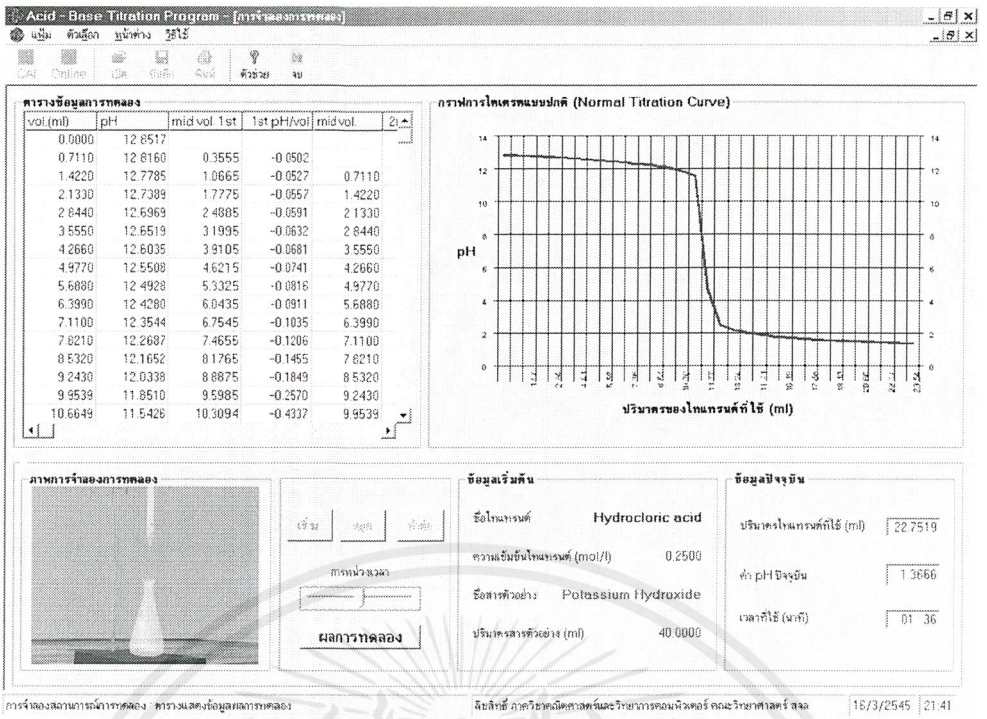
2) เมื่อเลือกเข้าสู่การทำงานของการจำลองการทดลองหรือการทดลองจริงก็ตาม โปรแกรมจะแสดงหน้าจอให้ผู้ใช้ให้ค่าข้อมูลเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลอง



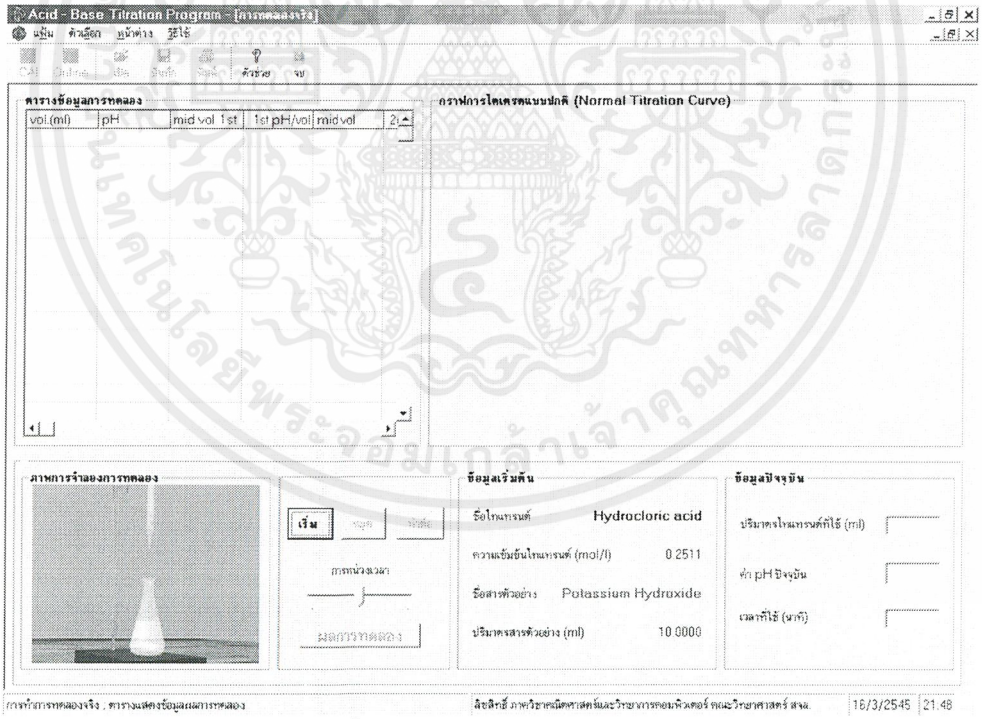
ภาพที่ 4.3 หน้าจอการใส่ข้อมูลการทดลองเบื้องต้น

3) หลังจากที่โปรแกรมรับข้อมูลเบื้องต้นเรียบร้อยจะเข้าสู่หน้าจอการทำการทดลอง ซึ่งทั้งของการทดลองจริงและการจำลองการทดลองจะมีรูปแบบเหมือนกัน คือประกอบด้วยตารางผลการทดลอง กราฟการไทเทรตแบบปกติ ภาพเคลื่อนไหว กรอบแสดงข้อมูลการทดลอง และกรอบปุ่มการจัดการเกี่ยวกับการทดลอง โดยขณะการทำการทดลองจะสามารถหยุดทดลองและตั้งระยะเวลาในการบันทึกผลการทดลองแต่ละครั้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



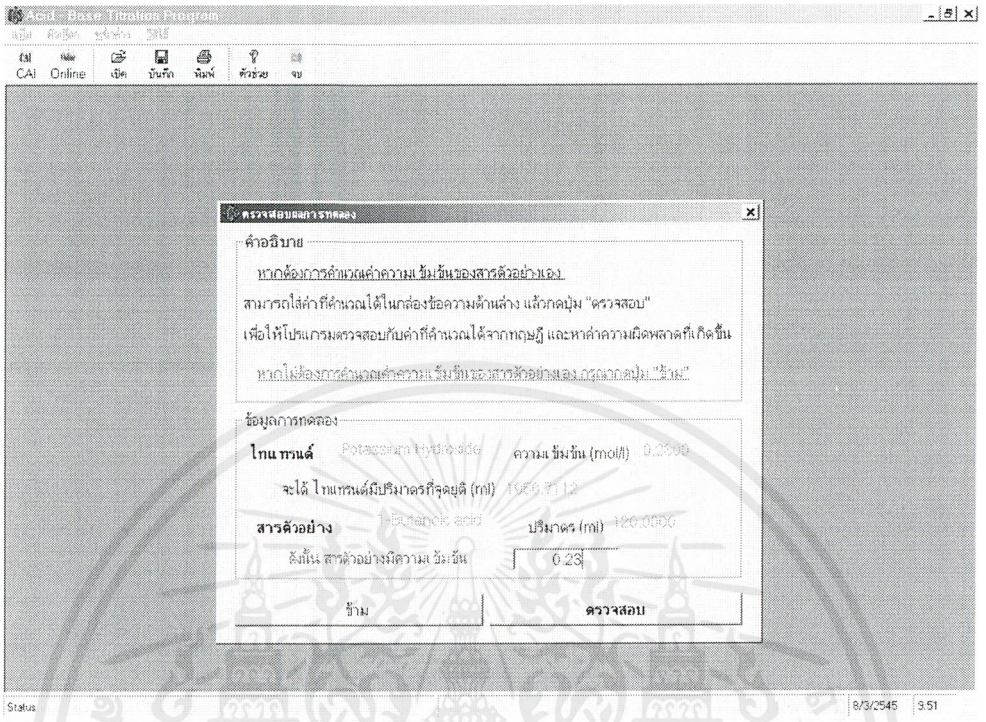
ภาพที่ 4.4 หน้าจอการจำลองการทดลอง



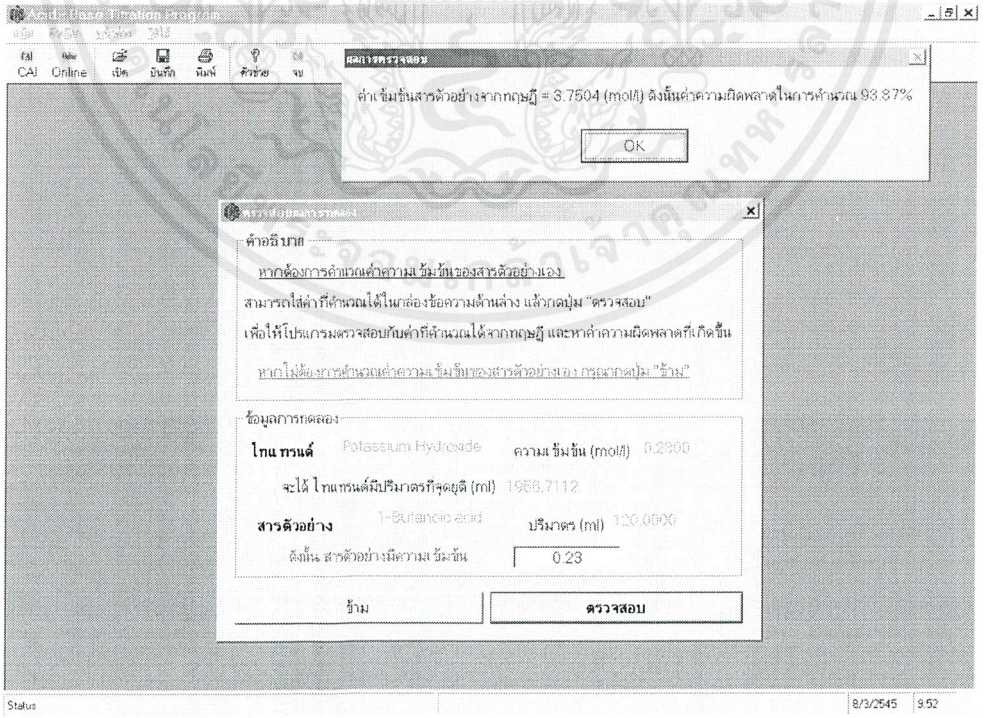
ภาพที่ 4.5 หน้าจอการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เมื่อทำการทดลองเสร็จ จะมีหน้าจอตรวจสอบผลการทดลองที่ผู้ใช้สามารถนำค่าที่คำนวณเองมาตรวจสอบหาค่าความผิดพลาดกับค่าที่โปรแกรมคำนวณได้



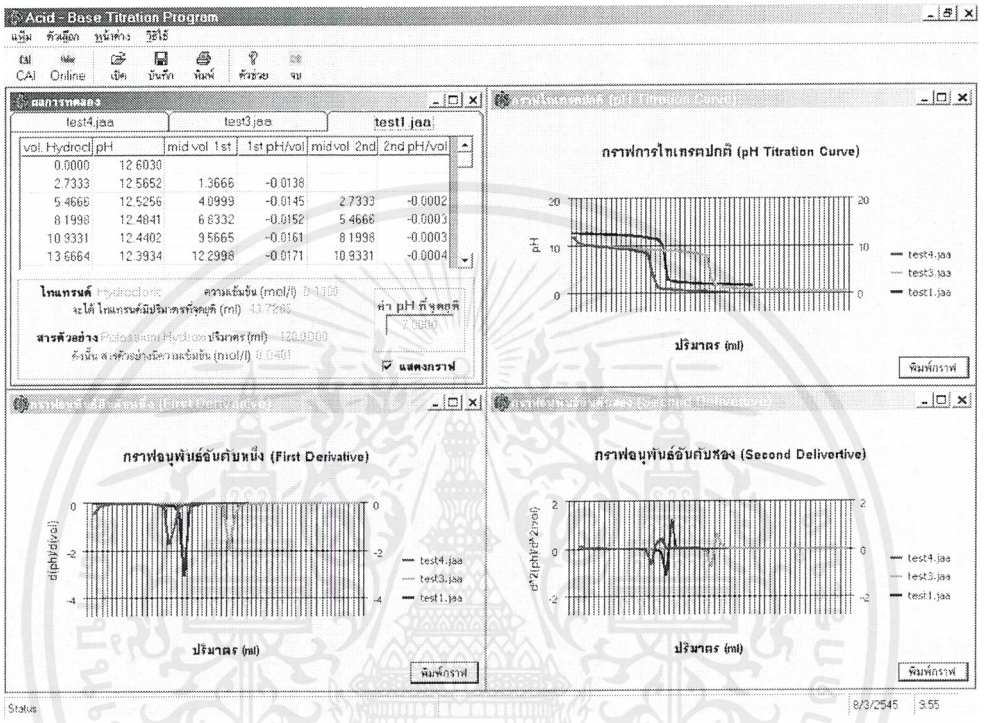
ภาพที่ 4.6 หน้าจอการตรวจสอบผลการทดลอง



ภาพที่ 4.7 หน้าจอผลการตรวจสอบ

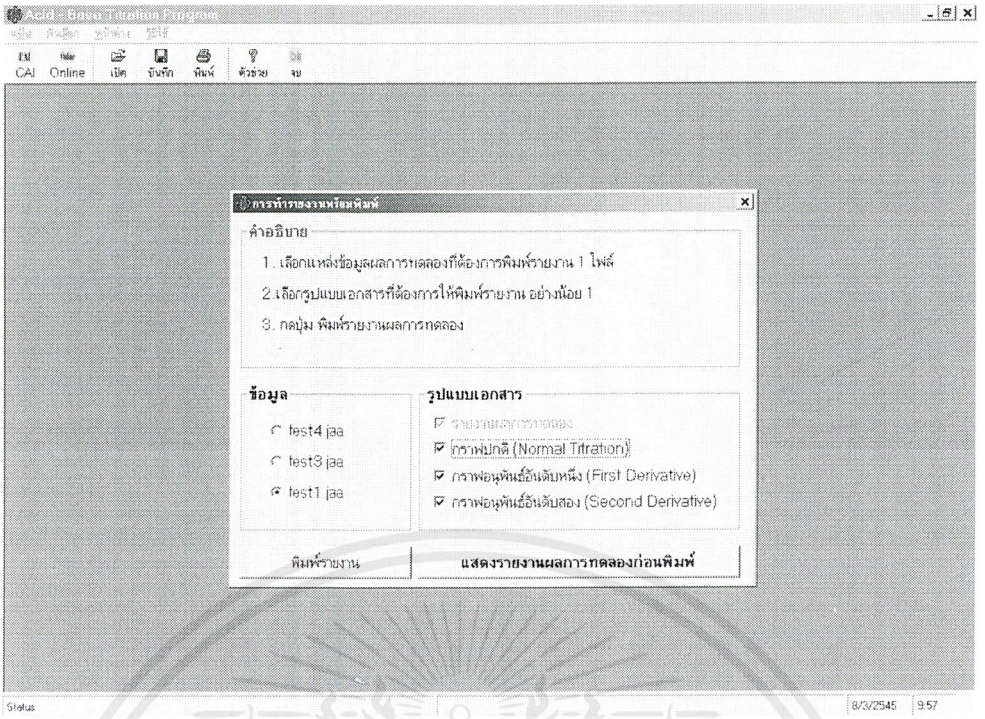
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การรายงานผลการทดลอง จะมีหน้าจอ 2 รูปแบบรายงานอย่างสรุปหลังการทำการทดลองและรายงานผลการทดลองเพื่อเป็นเอกสารพร้อมพิมพ์ ซึ่งแบบแรกสามารถพิมพ์กราฟทางเครื่องพิมพ์ที่มีการแสดงเปรียบเทียบระหว่างหลายชุดการทดลองได้ และอีกแบบสามารถพิมพ์รายงานผลการทดลองพร้อมสรุปผลการทดลองและกราฟตามที่ผู้ใช้เลือกได้

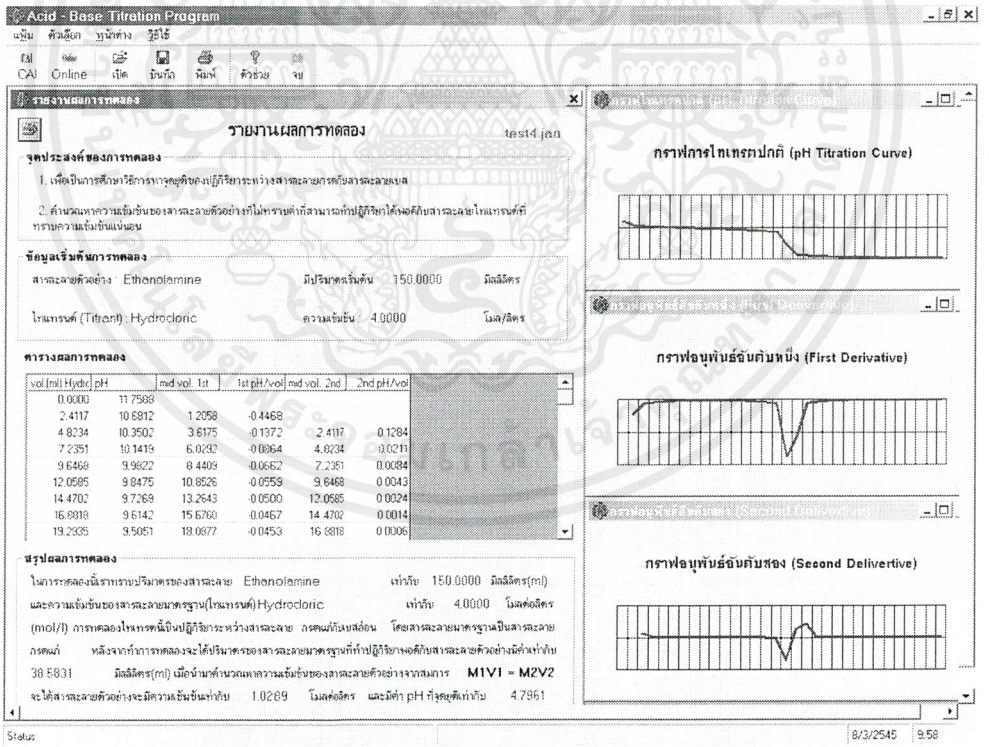


ภาพที่ 4.8 หน้าจอผลการทดลองอย่างสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



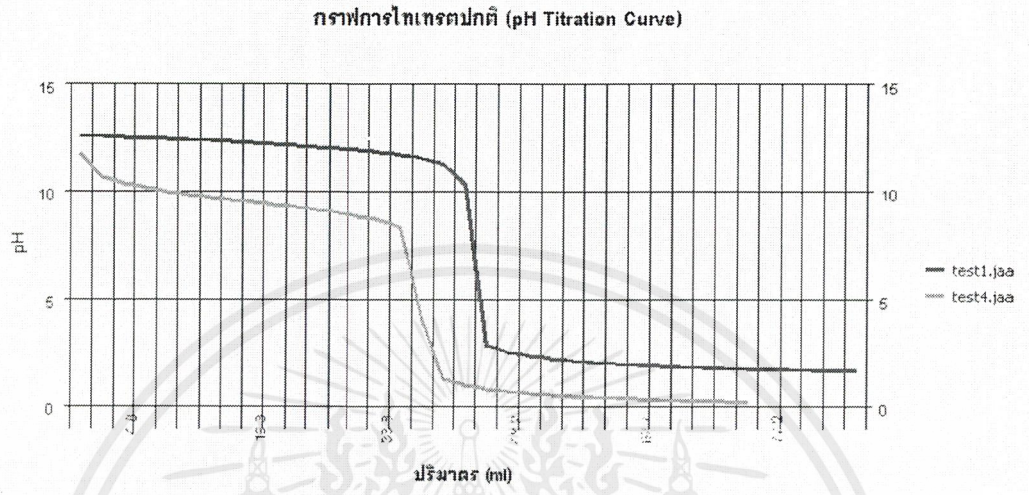
ภาพที่ 4.9 หน้าจอเลือกการพิมพ์รายงานผลการทดลอง



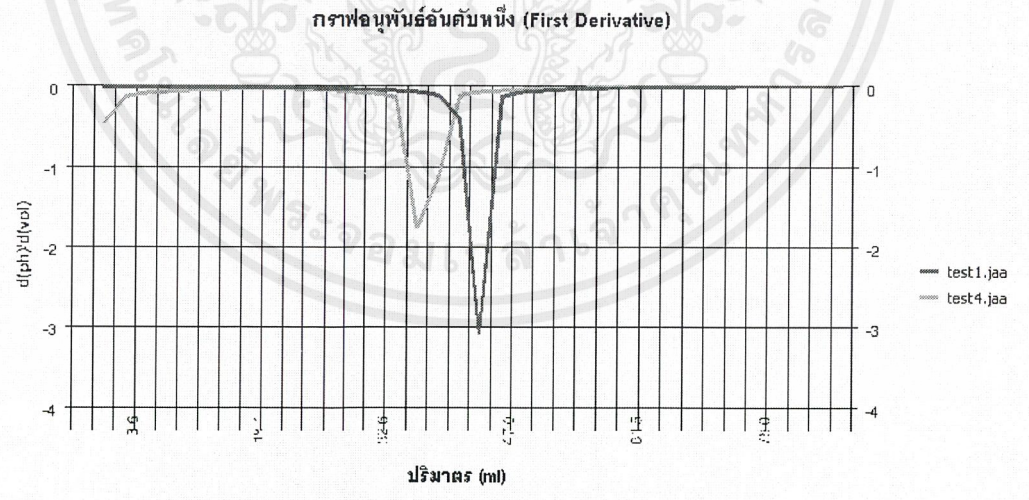
ภาพที่ 4.10 หน้าจอรายงานผลการทดลองพร้อมพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างกราฟพิมพ์ได้จากผลการทดลองอย่างสรุป และผลการทดลองพร้อมพิมพ์ ดังภาพที่ 4.11 ถึง ภาพที่ 4.13

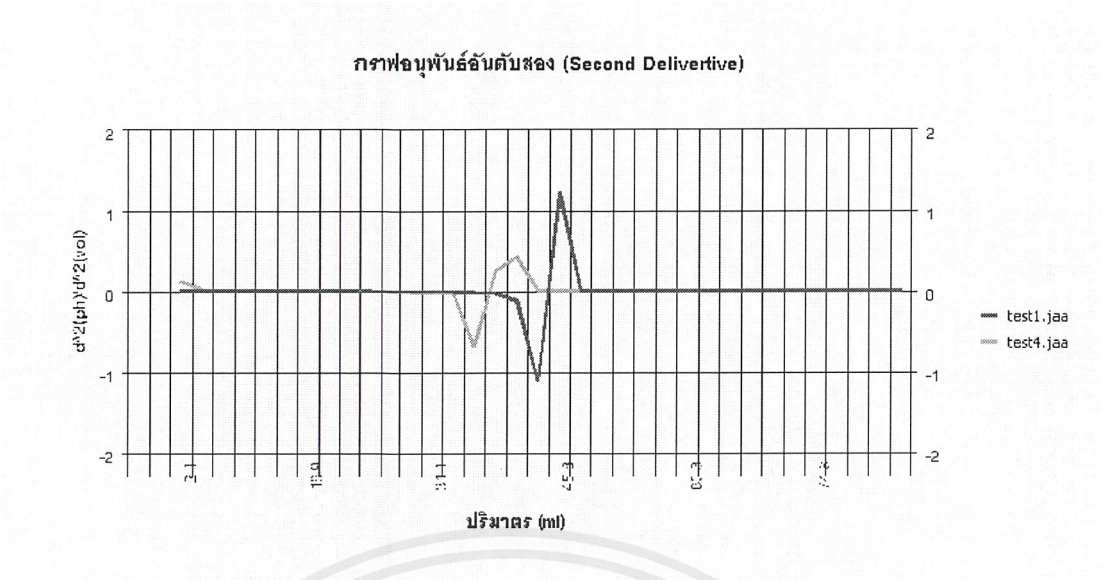


ภาพที่ 4.11 กราฟการไทเทรตแบบปกติ pH Titration Curve ที่พิมพ์จากโปรแกรม



ภาพที่ 4.12 กราฟอนุพันธ์อันดับที่ 1 (First Derivative) ที่พิมพ์จากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 กราฟอนุพันธ์อันดับที่ 2 (Second Derivative) ที่พิมพ์จากโปรแกรม

และตัวอย่างรายงานผลการทดลองพร้อมสรุปผลการทดลองเมื่อพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ดังหน้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

test4.jaa

รายงานผลการทดลอง

จุดประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อเป็นการศึกษาวิธีการหาจุดยุติของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดกับสารละลายเบส
2. คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าที่สามารถทำปฏิกิริยาได้พอดีกับสารละลายไทแทรนต์ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

ข้อมูลเริ่มต้นการทดลอง

สารละลายตัวอย่าง : Ethanolamine มีปริมาตรเริ่มต้น : 1500.0000 มิลลิลิตร

ไทแทรนต์ (Titrant) : Hydrochloric acid ความเข้มข้น : 4.0000 โมล / ลิตร

ตารางผลการทดลอง

Vol.(ml)	pH	mid vol. 1st	1st pH/vol.	mid vol. 2nd	2nd pH/vol.
0.0000	11.7588				
2.4117	10.6812	1.2058	-0.4468		
4.8234	10.3502	3.6175	-0.1372	2.4117	0.1284
7.2351	10.1419	6.0292	-0.0864	4.8234	0.0211
9.6468	9.9822	8.4409	-0.0662	7.2351	0.0084
12.0585	9.8475	10.8526	-0.0559	9.6468	0.0043
14.4702	9.7269	13.2643	-0.0500	12.0585	0.0024
16.8818	9.6142	15.676	-0.0467	14.4702	0.0014
19.2935	9.5051	18.0877	-0.0453	16.8818	0.0006
21.7052	9.3959	20.4994	-0.0453	19.2935	-0.0006
24.1169	9.2832	22.9111	-0.0467	21.7052	-0.0014
26.5286	9.1626	25.3228	-0.0500	24.1169	-0.0024
28.9403	9.0278	27.7345	-0.5590	26.5286	-0.0043
31.3520	8.8681	30.1462	-0.0662	28.9403	-0.0084
33.7637	8.6597	32.5578	-0.0864	31.3520	-0.0211
36.1754	8.3283	34.9695	-0.1374	33.7637	-0.6749
38.5871	4.0714	37.3812	-1.7651	36.1754	-0.2547
40.9988	1.2959	39.7929	-1.1508	38.5871	0.2547
43.4105	1.0007	42.2046	-0.1224	40.9988	0.4264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

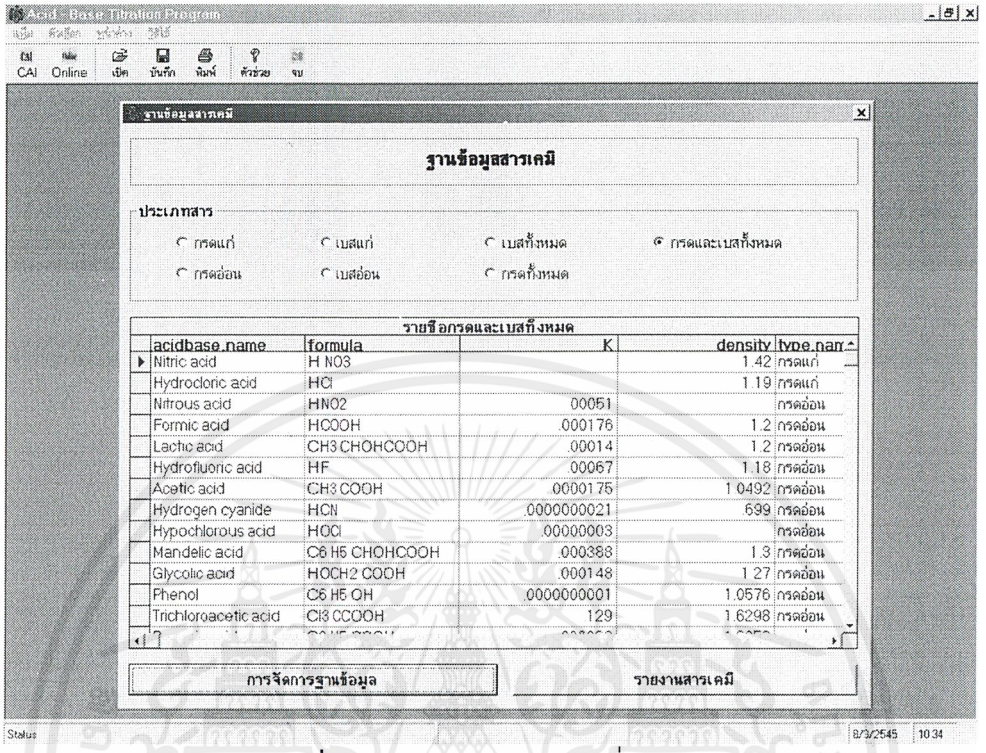
Vol.(ml)	pH	mid vol. 1st	1st pH/vol.	mid vol. 2nd	2nd pH/vol.
45.8222	0.8301	44.6163	-0.0707	43.4105	0.0214
48.2338	0.7106	47.0280	-0.0496	45.8222	0.0088
50.6455	0.6189	49.4397	-0.038	48.2338	0.0048
53.0572	0.5450	51.8514	-0.0307	50.6455	0.003
55.4689	0.4832	54.2631	-0.0256	53.0572	0.0021
57.8806	0.4303	56.6748	-0.0219	55.4689	0.0015
60.2923	0.3841	59.0865	-0.0191	57.8806	0.0012
62.704	0.3433	61.4981	-0.0169	60.2923	0.0009
65.1157	0.3068	63.9098	-0.1510	62.7041	0.0007
67.5274	0.2739	66.3215	-0.0137	65.1157	0.0006
69.9391	0.2439	68.7332	-0.0124	67.5274	0.0005
72.3508	0.2165	71.1449	-0.0114	69.9391	0.0004
74.7625	0.1912	73.5566	-0.0105	72.3508	0.0004

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองนี้เราทราบปริมาตรของสารละลาย Ethanolamine เท่ากับ 150.0000 มิลลิลิตร (ml) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน(ไทแทรนต์) Hydrochloric acid เท่ากับ 4.0000 โมลต่อลิตร (mol/l) การทดลองไทเทรตนี้เป็นปฏิกิริยาระหว่างสารละลาย กรดแก่กับเบสอ่อน โดยสารละลายมาตรฐานเป็นสารละลาย กรดแก่ หลังจากทำการทดลองจะได้ปริมาตรของสารละลายที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 38.5831 มิลลิลิตร (ml) เมื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างจากสมการ M1V1 = M2V2 จะได้สารละลายตัวอย่างมีความเข้มข้นเท่ากับ 1.0289 โมลต่อลิตร (mol/l) และมีค่า pH ที่จุดยุติเท่ากับ 4.7961

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

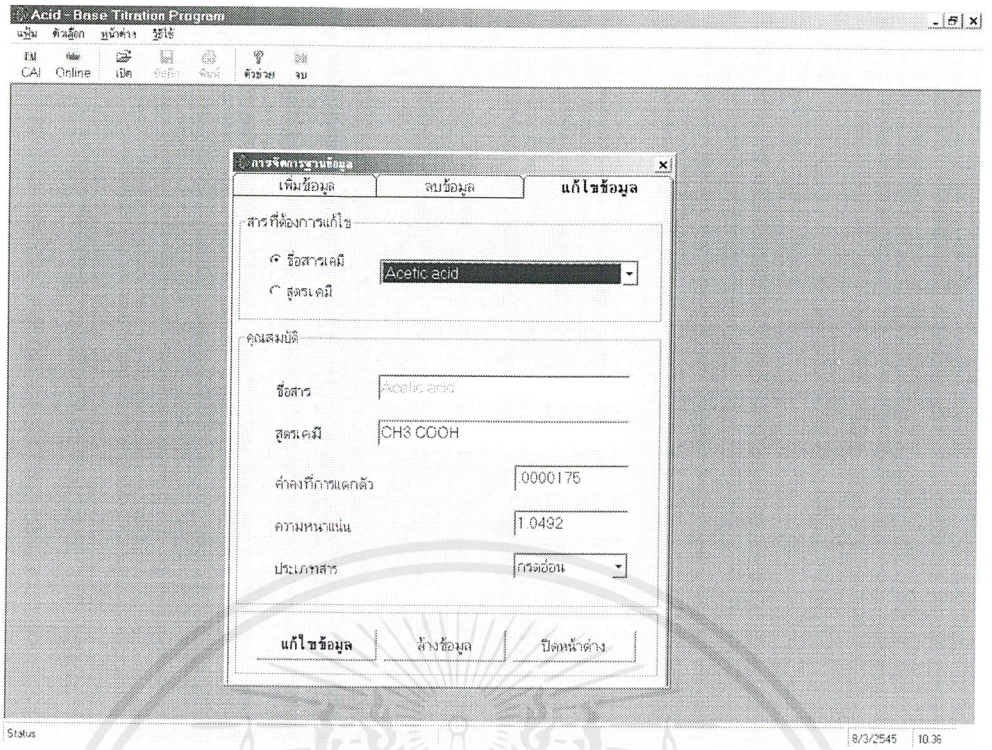
6) เมื่อผู้ใช้เลือกหัวข้อการกระทำเป็นการแสดงรายชื่อสารเคมีจะมีหน้าจอแสดงรายชื่อสารเคมีตามประเภทสาร ซึ่งสามารถเชื่อมต่อไปยังการทำรายงานสารเคมีในฐานข้อมูล



ภาพที่ 4.14 หน้าจอแสดงรายชื่อสารเคมี

7) เมื่อผู้ใช้เลือกทำการจัดการเกี่ยวกับฐานข้อมูลสารเคมี จะมีหน้าจอการจัดการฐานข้อมูลซึ่งแบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนคือ การเพิ่ม การลบ และการแก้ไข อีกทั้งในการกระทำเกี่ยวกับฐานข้อมูล จะมีการสอบถามรหัสผ่านก่อนจัดการให้ฐานข้อมูลเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

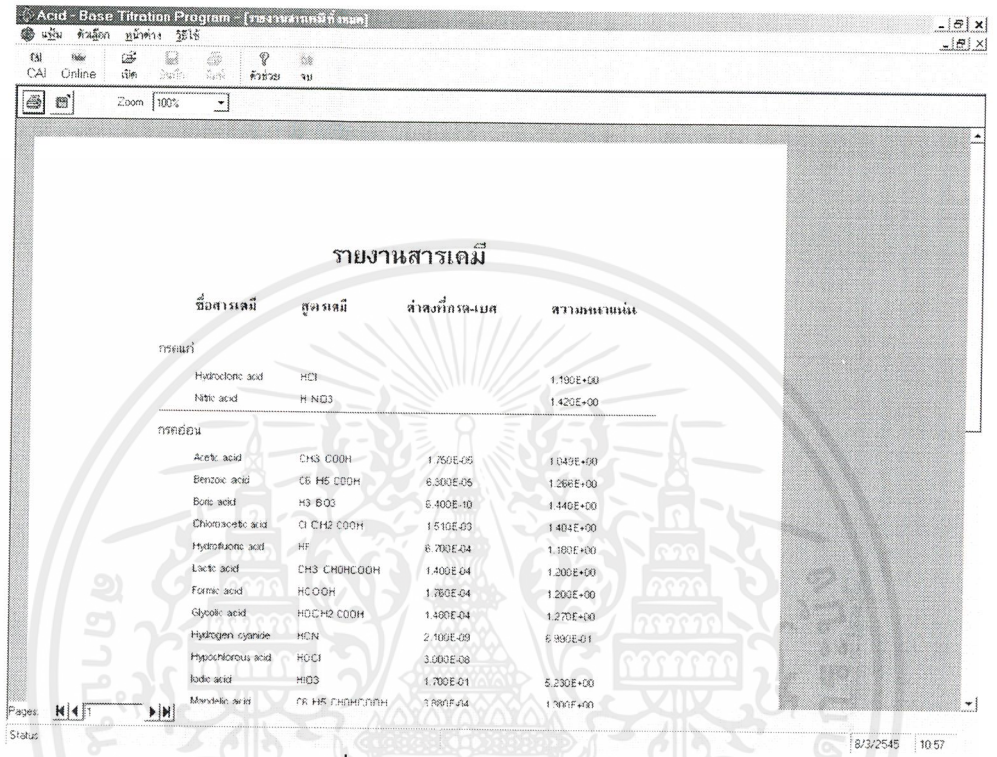


ภาพที่ 4.15 หน้าจอการจัดการฐานข้อมูล

ภาพที่ 4.16 หน้าจอการเปลี่ยนรหัสผ่านในการจัดการฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) การทำรายงานสารเคมี จะมีหน้าจอที่ให้ผู้ใช้เลือกประเภทสารที่ต้องการทำรายงาน แล้วจึงจะแสดงรายงานตามที่ผู้ใช้ระบุ ซึ่งเมื่อแสดงรายงานแล้วผู้ใช้สามารถให้พิมพ์ออกเครื่องพิมพ์ได้



ภาพที่ 4.17 หน้าจอรายงานสารเคมี

ตัวอย่างรายงานสารเคมีทั้งหมดซึ่งพิมพ์ทางเครื่องพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานสารเคมี

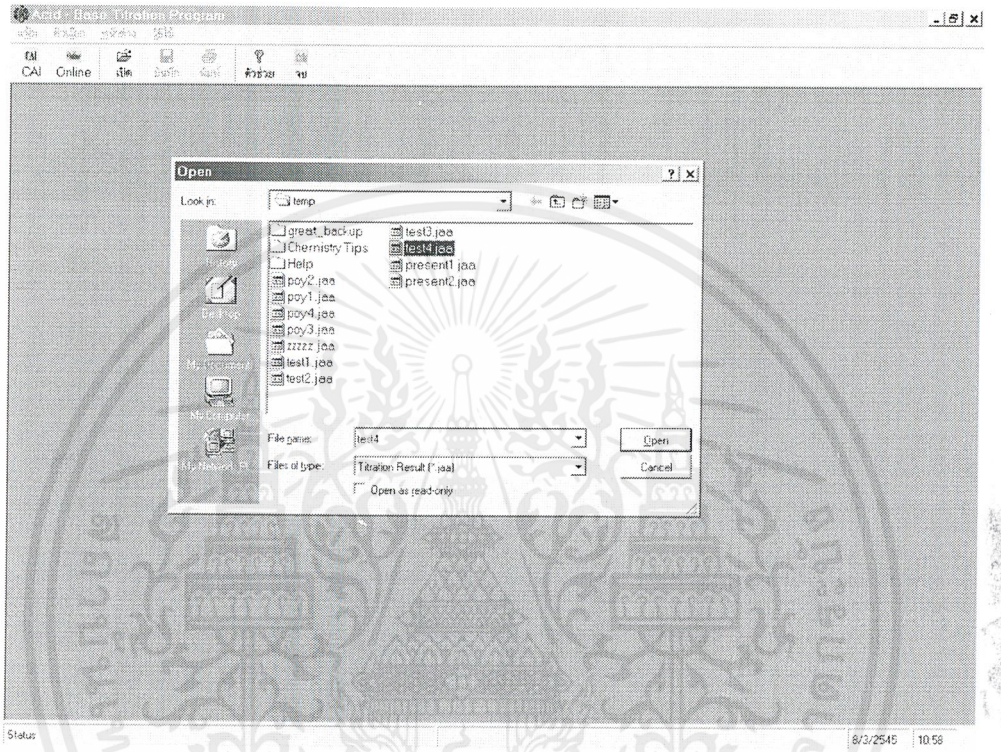
ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ค่าคงที่กรด-เบส	ความหนาแน่น
กรดแก่			
Hydrochloric acid	HCl		1.190E+00
Nitric acid	H NO3		1.420E+00
กรดอ่อน			
Acetic acid	CH3 COOH	1.750E-05	1.049E+00
Benzoic acid	C6 H5 COOH	6.300E-05	1.266E+00
Boric acid	H3 BO3	6.400E-10	1.440E+00
Chloroacetic acid	Cl CH2 COOH	1.510E-03	1.404E+00
Hydrofluoric acid	HF	6.700E-04	1.180E+00
Lactic acid	CH3 CHOHCOOH	1.400E-04	1.200E+00
Formic acid	HCOOH	1.760E-04	1.200E+00
Glycolic acid	HOCH2 COOH	1.480E-04	1.270E+00
Hydrogen cyanide	HCN	2.100E-09	6.990E-01
Hypochlorous acid	HOCl	3.000E-08	
Iodic acid	HIO3	1.700E-01	5.230E+00
Mandelic acid	C6 H5 CHOHCOOH	3.880E-04	1.300E+00
Nitrous acid	HNO2	5.100E-04	
Phenol	C6 H5 OH	1.000E-10	1.058E+00
Picric acid	(NO2)3 C6 H2 OH	5.100E-01	1.763E+00
Propanoic acid	CH3 CH2 COOH	1.340E-05	9.934E-01
Pyruvic acid	CH3 COCOOH	3.240E-03	1.265E+00
Salicylic acid	C6 H4 (OH)COOH	1.050E-03	1.440E+00
Sulfamic acid	H2 NSO3 H	1.030E-01	2.150E+00
Trichloroacetic acid	Cl3 CCOOH	1.290E-01	1.630E+00
1-Butanoic acid	CH3 CH2 CH2	1.510E-05	9.640E-01
เบสแก่			
Sodium Hydroxide	NaOH		1.540E+00
Potassium	KOH		1.460E+00
เบสอ่อน			
Ammonia	NH3	1.750E-05	1.200E+00
Ethanolamine	HOC2 H4 NH2	3.200E-05	1.018E+00
Methylamine	CH3 NH2	4.800E-04	7.000E-01
Piperidine	C5 H11 N	1.300E-03	8.622E-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

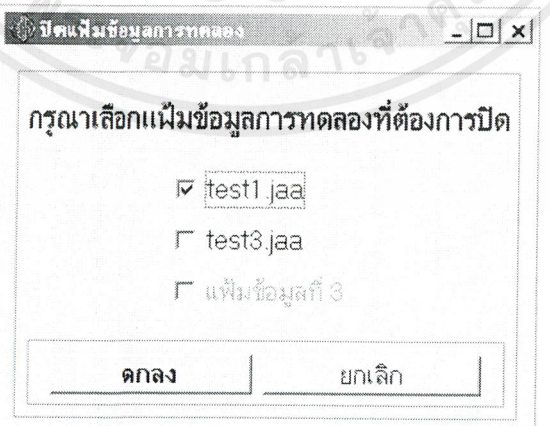
ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ค่าคงที่กรด-เบส	ความหนาแน่น
Triethylamine	(CH3 CH3)3 N	5.300E-04	7.280E-01
Diethylamine	(CH3 CH2)2 NH	8.500E-04	7.000E-01
Dimethylamine	(CH3)2 NH	5.900E-04	8.980E-01
Ethylamine	CH3 CH2 NH2	4.300E-04	8.000E-01
Trimethylamine	(CH3)3 N	6.300E-05	8.600E-01
Aniline	C6 H5 NH2	3.940E-10	1.022E+00
1-Butylamine	CH3 (CH2)2 CH2	4.000E-04	8.000E-01
Hydrazine	H2 NNH2	1.300E-06	1.004E+00
Hydroxylamine	HONH2	1.070E-08	1.200E+00
Pyridine	C5 H5 N	1.700E-09	9.780E-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) ในการเปิด ปิดและบันทึกไฟล์ เนื่องจากมีการเปิดได้อย่างมาก 3 ไฟล์จึงมีการสอบถามผู้ใช้ว่าต้องการปิดไฟล์ใดก่อนเสมอ และหากผู้ใช้จะเปิดการทดลองมากกว่า 3 จะมีการเตือนจะโปรแกรมใช้ทำการปิดการทดลองที่ไม่ใช้เสียก่อน ส่วนการบันทึกไฟล์จะทำการบันทึกผลการทดลองที่เพิ่งได้จากการจำลองสถานการณ์การทดลองซึ่งจะบันทึกเป็นไฟล์นามสกุล .jaa

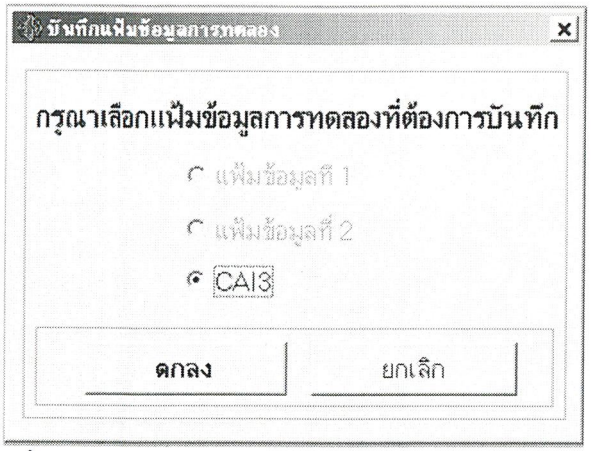


ภาพที่ 4.18 หน้าจอการเปิดไฟล์



ภาพที่ 4.19 หน้าจอการเลือกปิดไฟล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

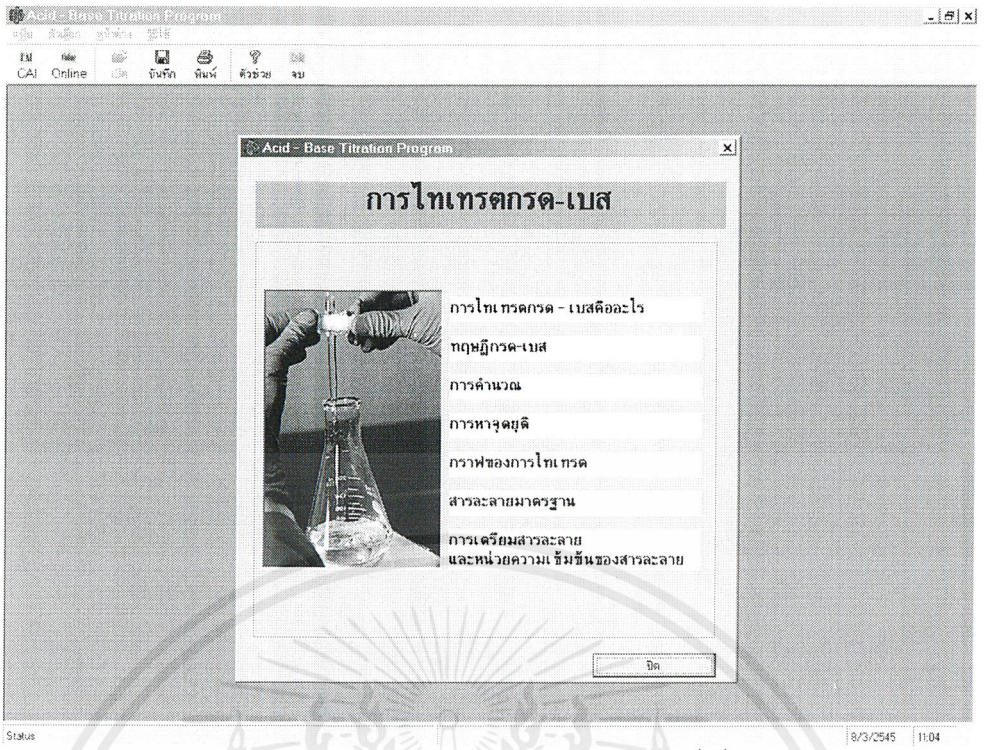


ภาพที่ 4.20 หน้าจอการเลือกบันทึกไฟล์ผลการทดลองใหม่

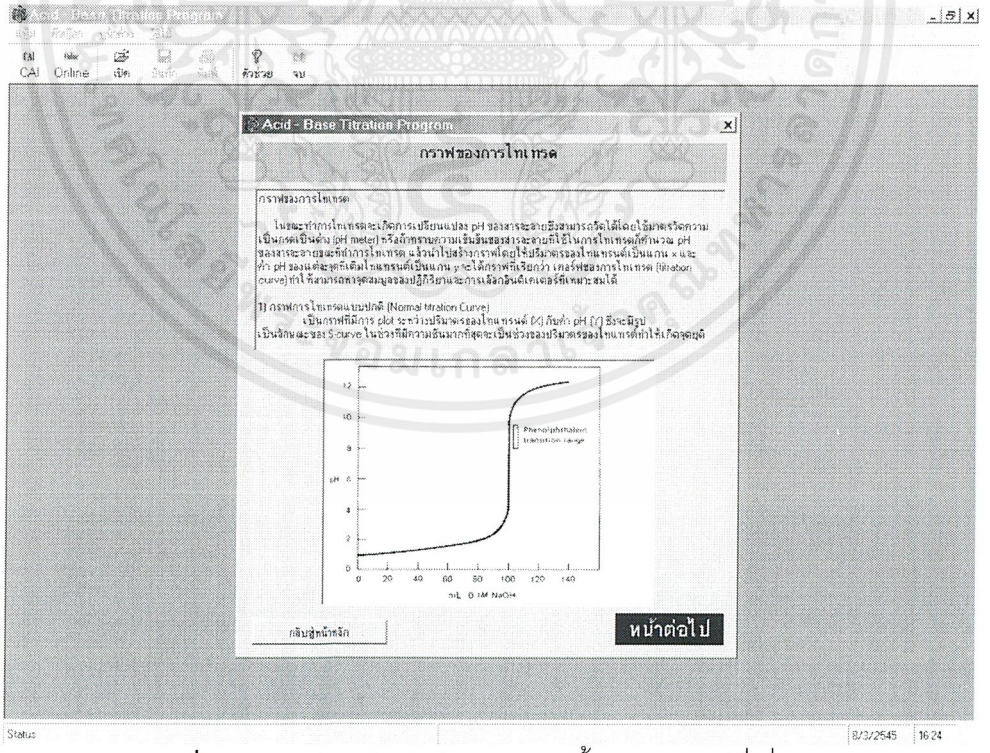
10) เกี่ยวกับความรู้ทางเคมีที่เกี่ยวข้อง เมื่อผู้ใช้เลือกการกระทำนี้ โปรแกรมจะแสดงหน้าจอความรู้ทางเคมีซึ่งแบ่งเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

- การไทเทรตกรด-เบส คืออะไร
- ทฤษฎีกรด-เบส
- การคำนวณ
- การหาจุดยุติ
- กราฟของการไทเทรต
- สารละลายมาตรฐาน
- การเตรียมสารละลาย และหน่วยของความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



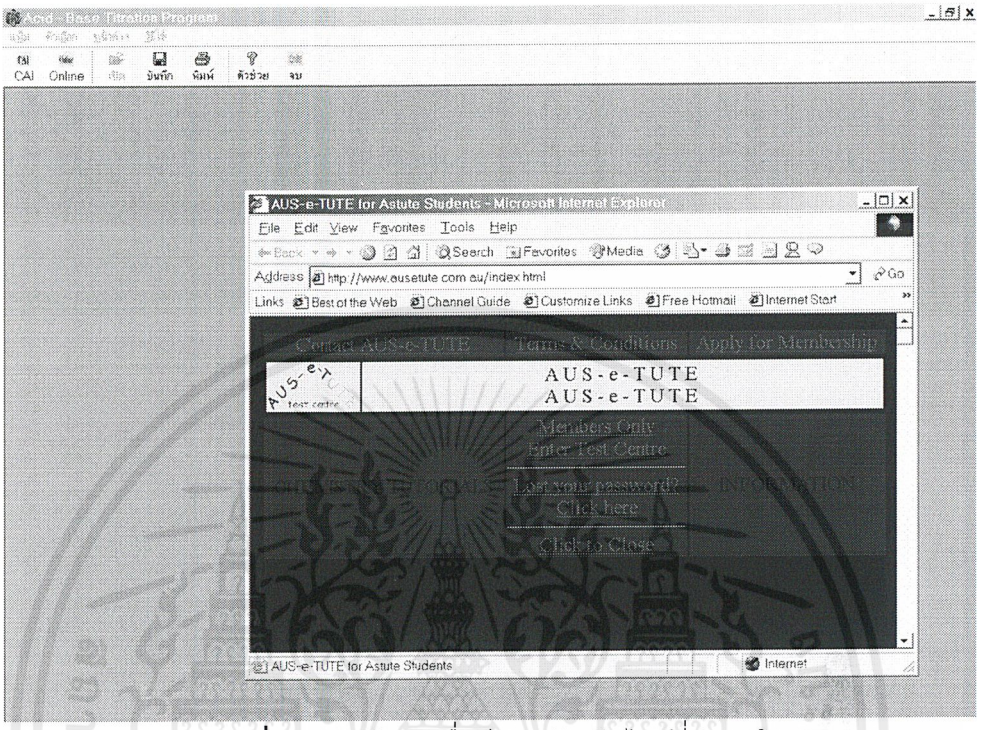
ภาพที่ 4.21 หน้าจอหลักของความรู้ทางเคมีที่เกี่ยวข้อง



ภาพที่ 4.22 หน้าจอในหัวข้อย่อยของเนื้อหาทางเคมีที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) เว็บไซต์ที่หน้าสนใจ ทางด้านการไทเทรตกรด-เบส เมื่อผู้ใช้กดเรียกดูเว็บไซต์ โปรแกรมจะทำการเรียกเปิดโปรแกรม Internet Explorer ของระบบปฏิบัติการขึ้นมาและเปิดเว็บไซต์ดังกล่าวถ้าผู้ใช้มีการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย



ภาพที่ 4.23 หน้าจอเมื่อมีการเปิดเว็บไซต์ที่น่าสนใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
อภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์

จากหัวข้อการกระทำปัญหาพิเศษ ทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สนับสนุนการเรียนการสอนในวิชาเคมี หัวข้อการไทเทรตกรด–เบส เป็นภาษาไทยที่เหมาะแก่การใช้งาน โดยได้มีการนำทฤษฎีการคำนวณทางเคมีที่เกี่ยวข้องในการทดลองและความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ด้วยกัน ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมนั้นมีความถูกต้องตามทฤษฎี แต่ในการแสดงผลกราฟการไทเทรตอาจยังไม่ละเอียดพอ

การพัฒนาโปรแกรมส่วนของการทดลองจริงยังไม่สมบูรณ์ต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาโปรแกรมในอนาคตเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์

5.2 บทวิจารณ์เปรียบเทียบ

เนื่องจากในขั้นตอนการศึกษาข้อมูลเพื่อทำปัญหาพิเศษหัวข้อนี้ ผู้พัฒนาจำเป็นต้องศึกษาถึงแนวทางความเป็นไปได้ในการพัฒนาโปรแกรม และผลการศึกษาทำให้ทราบว่าได้มีการพัฒนาโปรแกรมในลักษณะคล้ายกันไว้เป็นบางส่วนแล้ว แต่ยังคงไม่สนับสนุนการทำงานในรูปแบบภาษาไทย และโปรแกรมบางโปรแกรมมีการแสดงกราฟการไทเทรตเพียงแบบเดียวคือกราฟการไทเทรตแบบปกติ ซึ่งไม่สามารถทำการเปรียบเทียบกราฟได้

หลังจากได้ศึกษาและสอบถามถึงความต้องการของผู้ใช้ จึงได้ข้อสรุปในการพัฒนาว่าควรจะสนับสนุนภาษาไทยและสามารถแสดงผลกราฟการไทเทรตได้ทั้ง 3 แบบ ที่สามารถนำกราฟของผลการทดลองต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกันได้ อีกทั้งควรเป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปใช้งานร่วมกับการทำการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ เพราะโปรแกรมที่สามารถทำงานในลักษณะนี้จำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศในราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลของการศึกษา

การนำทฤษฎีกรด–เบสและการคำนวณการไทเทรตกรด–เบสมาประยุกต์ใช้ในการสร้างและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สนับสนุนการเรียนการสอนในหัวข้อดังกล่าว เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพทางการศึกษาให้มากขึ้น โดยนอกจากโปรแกรมจะทำการคำนวณเกี่ยวกับผลการทดลองแล้วผู้ใช้ยังสามารถใช้ทบทวนความรู้ในเรื่องเกี่ยวกับการไทเทรต เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะการทดลองดังกล่าว นอกจากนั้นยังสามารถทำรายงานผลการทดลองพร้อมพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ และมีการแสดงกราฟการไทเทรตแบบปกติขณะที่ทำการทดลองให้เห็นอย่างชัดเจน

หลังจากที่ดำเนินงานมาจนกระทั่งบรรลุวัตถุประสงค์ พบว่าโปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด–เบสที่ถูกพัฒนาขึ้นยังขาดความสมบูรณ์บางประการ เช่น การทำงานส่วนเชื่อมต่อกับการทดลองจริง การพิมพ์กราฟออกทางเครื่องพิมพ์ที่ยังไม่ละเอียด เนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้พัฒนา อีกทั้งแหล่งข้อมูลที่ใช้ค้นคว้าเพื่อพัฒนาโปรแกรมไม่ได้ให้วิธีทางแก้ปัญหาที่ชัดเจน

6.2 ปัญหาในการศึกษา

สำหรับการสร้างโปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด–เบส โดยมีการสนับสนุนภาษาไทยและมีการเชื่อมต่อกับการทดลองจริง ได้มีปัญหาระหว่างการศึกษา คือ ความรู้ทางทฤษฎีการคำนวณทางเคมีจำเป็นต้องทำความเข้าใจอย่างดีจึงสามารถนำไปใช้พัฒนาโปรแกรมได้อย่างไม่มีข้อผิดพลาด ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาพอสมควร ดังนั้นหากมีการพัฒนาโปรแกรมต่อควรวางแผนระยะเวลาการทำงานในส่วนการศึกษาทฤษฎีให้เหมาะสมกับส่วนการทำโปรแกรม

6.3 ประโยชน์จากการศึกษา

โปรแกรมสนับสนุนการไทเทรตกรด–เบส ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมที่มีการประยุกต์ใช้กับงานด้านวิชาการ ทั้งทางด้านวิชาเคมีหรือทางวิทยาศาสตร์แขนงอื่น ซึ่งจากการศึกษาผู้ศึกษาได้เข้าใจถึงวิธีการนำทฤษฎีต่าง ๆ มาเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบที่ให้คอมพิวเตอร์ใช้คำนวณได้ และวิธีการสร้างโปรแกรมให้เหมาะกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 ข้อเสนอแนะในการศึกษา

1) การเลือกใช้ทฤษฎีที่นำมาประยุกต์กับการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควรเป็นทฤษฎีที่ใช้กันทั่วไปซึ่งสามารถหาแหล่งข้อมูลในการศึกษาได้ง่าย อีกทั้งควรเลือกทฤษฎีในการศึกษาที่ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีประโยชน์ต่อการใช้งานอย่างแท้จริง

2) ควรทำการศึกษาอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการพัฒนาส่วนการเชื่อมต่อกับการทดลองจริงเพิ่มเติมอย่างรอบคอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลและแนวทางการพัฒนาที่เหมาะสม

3) กราฟไทเทรตกรด – เบส แบบปกติที่แสดงขณะทำการทดลองควรแสดงค่าของจุดที่ได้ทำการลงจุดบนกราฟให้ผู้ใช้ได้เห็น อีกทั้งควรสามารถแสดงค่าของจุดที่ถูกคลิกบนกราฟใด ๆ ได้

4) การเปิดไฟล์ผลการทดลองควรเปิดได้มากกว่า 3 ไฟล์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ ซึ่งถ้าเป็นไปได้ควรเปิดได้อย่างไม่จำกัด

5) ควรทำการศึกษาทัศนคติ ความคิดเห็นของผู้ใช้โปรแกรม เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง แก้ไขหรือพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

คู่มือการใช้โปรแกรม

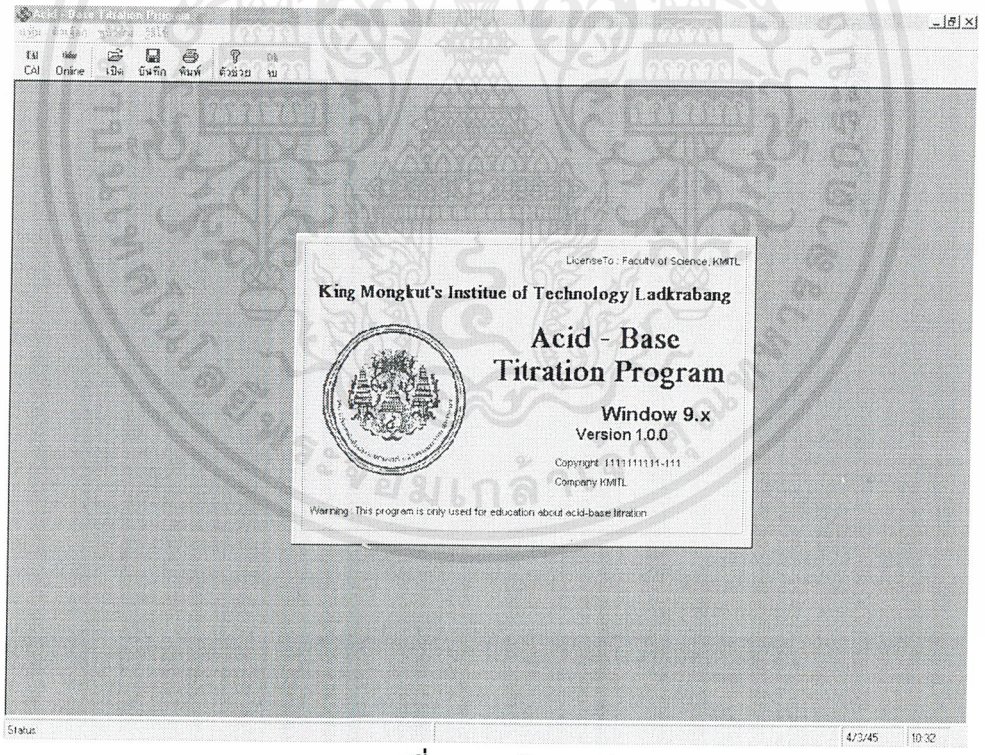
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือการใช้โปรแกรม

โปรแกรม Acid – Base Titration มีการทำงาน ซึ่งแบ่งได้เป็นหัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

1. การจำลองการทดลอง
2. การทดลองจริง
3. การทำงานเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูล
4. การพิมพ์ผลการทดลอง
5. การทำงานเกี่ยวกับฐานข้อมูลสารเคมี
6. ความรู้ที่เกี่ยวข้องทางเคมี

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา จะพบกับหน้าจอหลักดังนี้

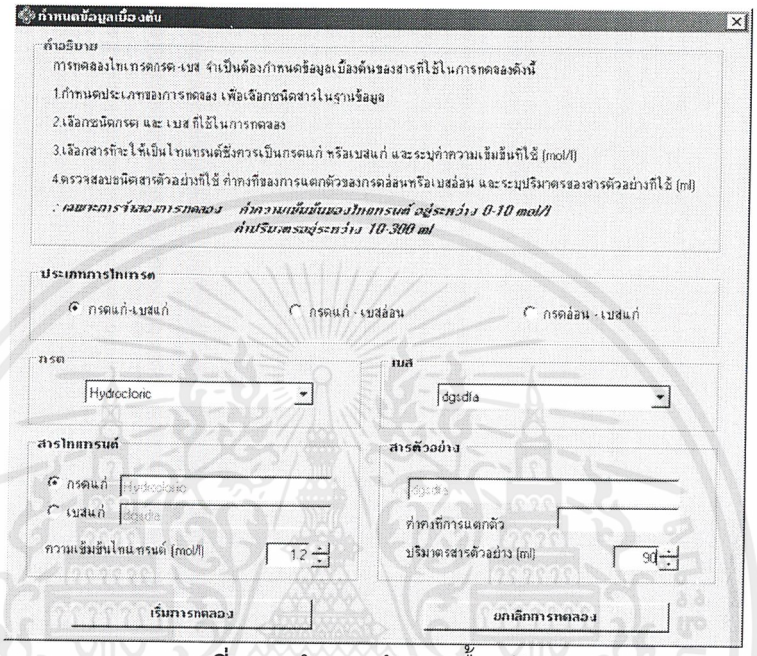


ภาพที่ 1 หน้าจอหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีใช้ : การจำลองการทดลอง

จากหน้าจอหลัก เข้าสู่การจำลองการทดลอง โดยกดปุ่ม "CAI" หรือเลือกจากเมนู "แฟ้ม" → "สร้าง" → "การจำลองการทดลอง" ผู้ใช้จะพบกับหน้าจอ "กำหนดข้อมูลเบื้องต้น" เพื่อให้ผู้ใช้ทำการกำหนดค่าข้อมูลที่จะใช้ในการทำการจำลองทดลอง



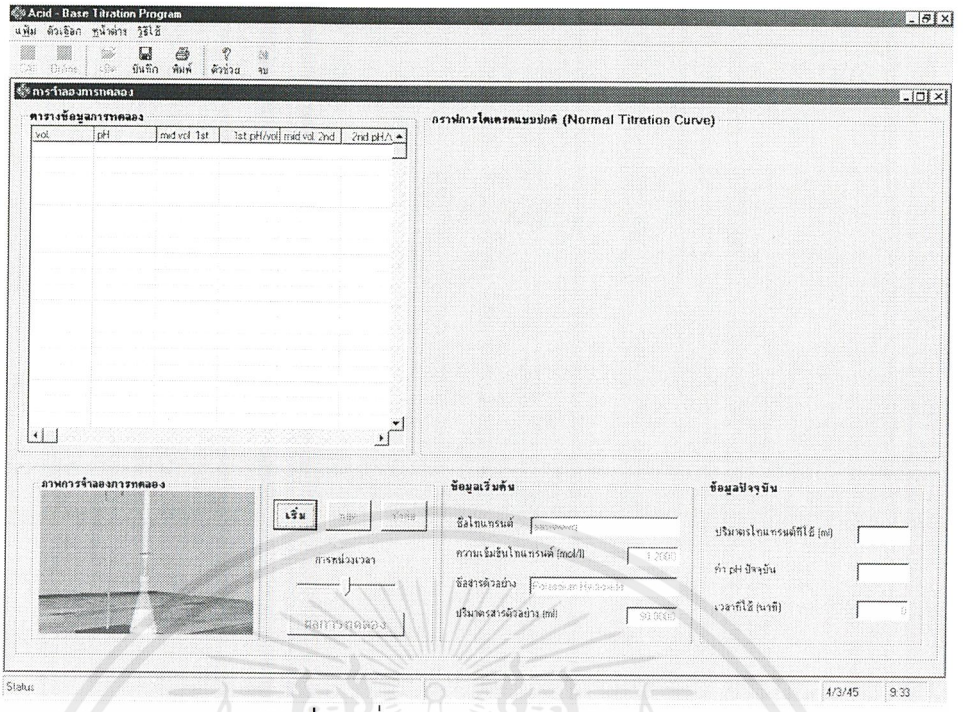
ภาพที่ 2 กำหนดข้อมูลเบื้องต้น

ให้ผู้ใช้ทำการเลือก และใส่ค่าต่าง ๆ ตามขั้นตอนดังนี้

- เลือกประเภทการไทเทรต
- เลือกประเภทกรด และเบส ที่จะใช้ในการจำลองการทดลอง
- เลือกสารที่จะเป็นไทแทรนต์
- ใส่ค่าความเข้มข้นของไทแทรนต์ และสารตัวอย่าง

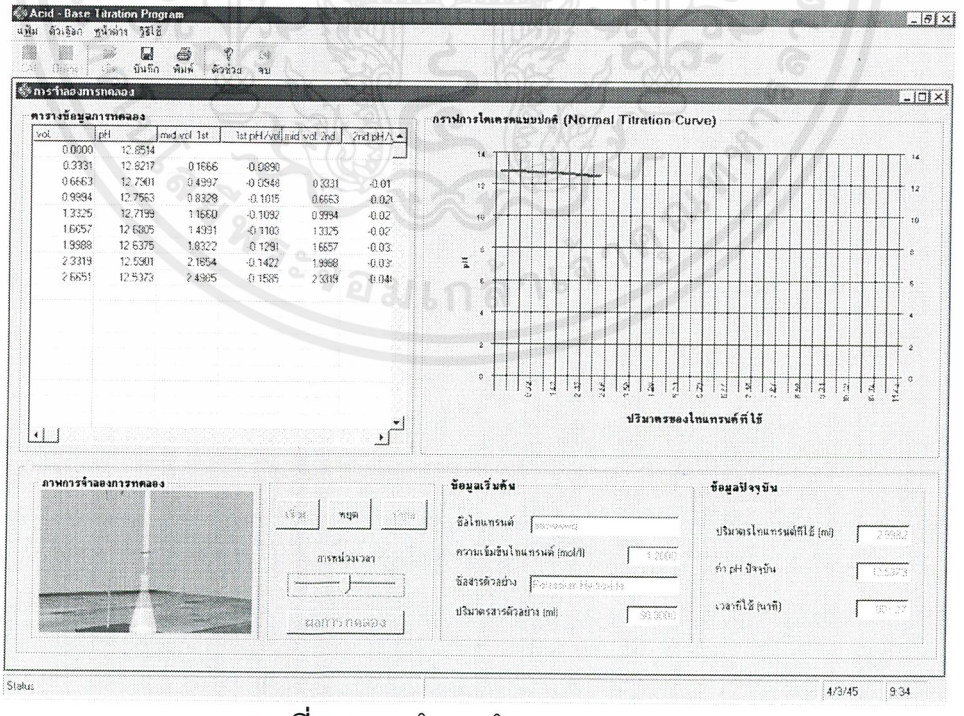
เมื่อกำหนดค่าต่าง ๆ เสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปให้กดปุ่ม "เริ่มการทดลอง" เพื่อเข้าสู่หน้าจอการจำลองการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3 เริ่มทำการจำลองการทดลอง

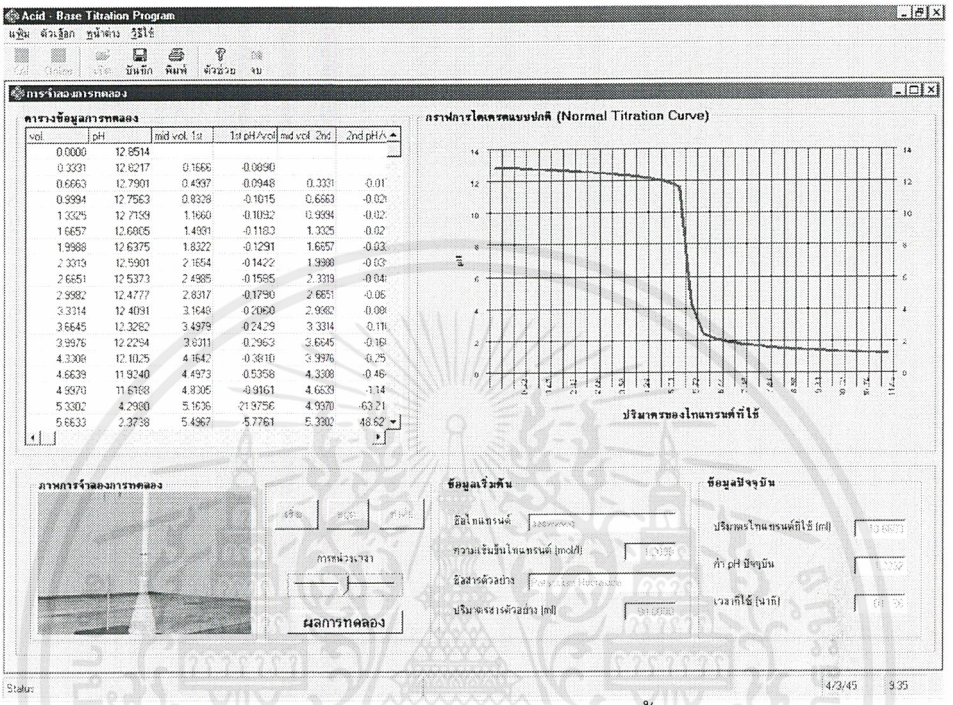
เมื่อเข้าสู่หน้าจอนี้แล้วให้ผู้ใช้ ทำการเลือกการหน่วงเวลาที่ Slide Bar และกดปุ่ม “เริ่ม” เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงาน และ ระหว่างที่โปรแกรมทำงานอยู่ข้อมูลจะค่อย ๆ เพิ่ม และกราฟจะเริ่มวาด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขณะทำการจำลองการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

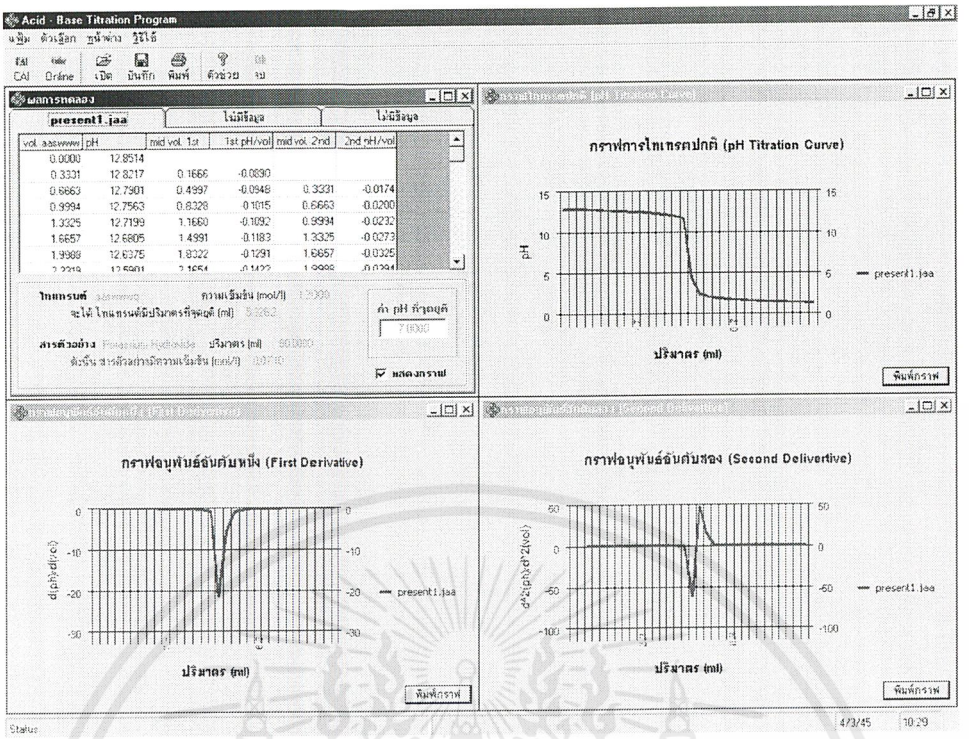
ในหน้าจอนี้ผู้ใช้สามารถเลื่อน Slide Bar เพื่อปรับการหน่วงเวลาได้ และผู้ใช้สามารถหยุดการจำลองการทดลองได้ โดยกดปุ่ม “หยุด” โปรแกรมจะหยุดการทำงาน ซึ่งถ้าต้องการทำงานต่อก็ทำได้โดยกดปุ่ม “ทำต่อ” เมื่อโปรแกรมทำการจำลองการทดลองเสร็จแล้ว จะปรากฏหน้าจอดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การจำลองการทดลองสิ้นสุด

ปุ่ม “ผลการทดลอง” จะสามารถกดได้เมื่อผู้ใช้หยุดหรือสิ้นสุดการทดลองและถ้าผู้ใช้กดที่ปุ่มนี้เพื่อเข้าสู่หน้าจอผลการทดลอง ดังภาพที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 ผลการจำลองการทดลอง

ในหน้าจอนี้ จะแสดงรายละเอียดของผลการจำลองทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลที่ได้จากการจำลองการทดลอง และกราฟที่ได้จากข้อมูล ทั้ง 3 กราฟ คือ กราฟการไทเทรตปกติ กราฟอนุพันธ์อันดับหนึ่ง และกราฟอนุพันธ์อันดับสอง

ซึ่งในหน้าจอนี้ หากผู้ใช้ต้องการพิมพ์ ภาพกราฟที่ได้จากการทดลองก็สามารถทำได้โดยกดปุ่ม "พิมพ์กราฟ" ที่ภาพที่ต้องการพิมพ์

จากขั้นตอนนี้ผู้ใช้สามารถดำเนินการ ต่าง ๆ ได้ดังนี้

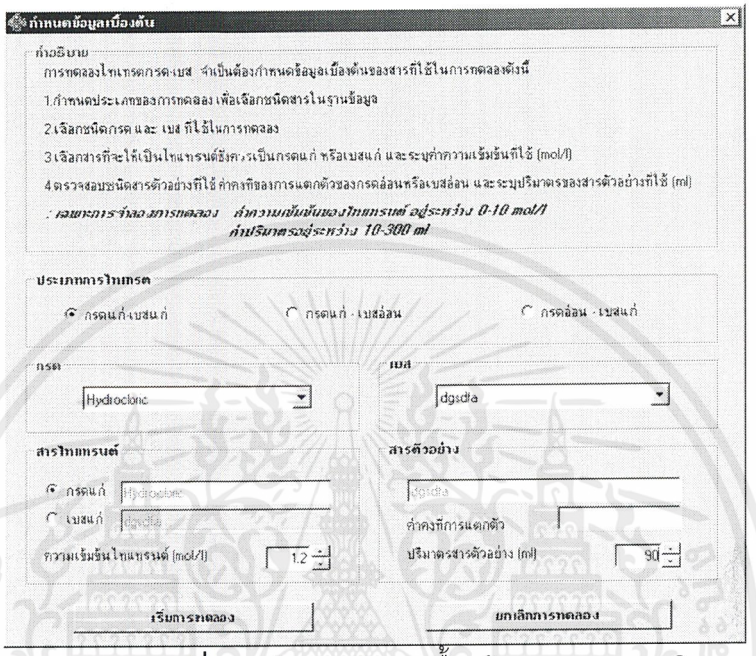
- บันทึกผลการทดลอง โดยการกดปุ่ม "บันทึก"
- พิมพ์รายงานผลการทดลอง โดยการกดปุ่ม "พิมพ์"

ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อ ๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีใช้ : การทดลองจริง

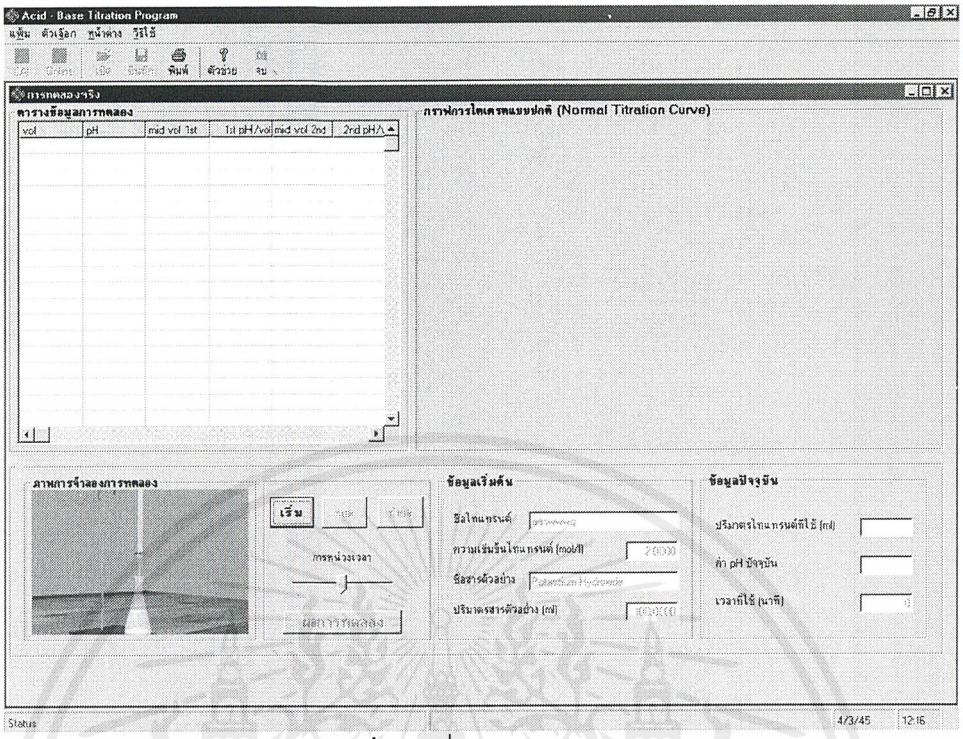
จากหน้าจอหลักผู้ใช้สามารถทำการทดลองจริงได้โดย กดปุ่ม "การทดลองจริง" หรือเลือกจากเมนู "แฟ้ม" → "สร้าง" → "การจำลองการทดลอง" ซึ่งจะปรากฏหน้าจอ "กำหนดข้อมูลเบื้องต้น" เหมือนกับการจำลองการทดลอง



ภาพที่ 7 กำหนดข้อมูลเบื้องต้น (การทดลองจริง)

เมื่อกำหนดข้อมูลต่าง ๆ เสร็จแล้วก็จะเข้าสู่หน้า "ทำการทดลอง" ที่มีลักษณะคล้ายกับส่วนการจำลองสถานการณ์การทดลองดังภาพที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 เริ่มทำการทดลอง

ซึ่งตัวโปรแกรมในตอนนี้ยังไม่สามารถทำการจำลองจริงได้ จึงได้หยุดการทำงานในส่วนของการทดลองจริงไว้เพียงเท่านี้ ซึ่งในอนาคตหากว่าสามารถทำงานจริงได้แล้วก็จะมีการทำงานและมีภาพแบบการแสดงผลการทดลอง เหมือนกับการจำลองการทดลอง

3. วิธีใช้ : การทำงานเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูล

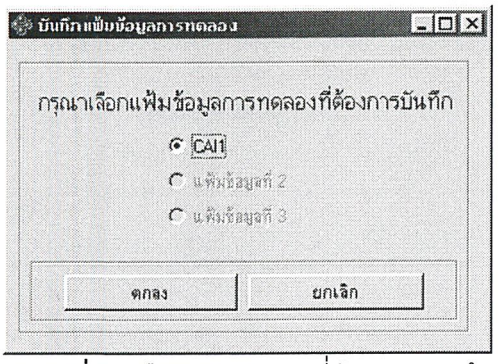
ในส่วนนี้ได้แบ่งการทำงานเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ

- บันทึกแฟ้มข้อมูล
- เปิดแฟ้มข้อมูล
- ปิดแฟ้มข้อมูล

3.1 การบันทึกแฟ้มข้อมูล

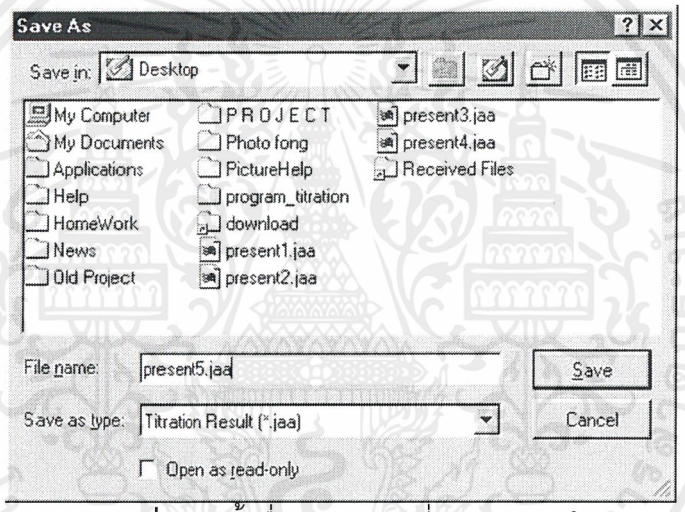
หลังจากที่เราได้ทำการจำลองการทดลอง หรือการทดลองจริงเสร็จแล้ว เราจึงจะสามารถบันทึกผลการทดลองลงแฟ้มข้อมูลได้ ซึ่งจากหน้าสรุปผลการทดลอง ให้กดปุ่ม “บันทึก” ที่หน้าจอหลัก จะขึ้นหน้าจอดังภาพที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 9 เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการบันทึก

ให้ผู้ใช้ทำการเลือกการทดลองที่ต้องการจะบันทึกลงแฟ้มข้อมูล แล้วกดปุ่ม "ตกลง" จะขึ้นหน้าจอดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตั้งชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการบันทึก

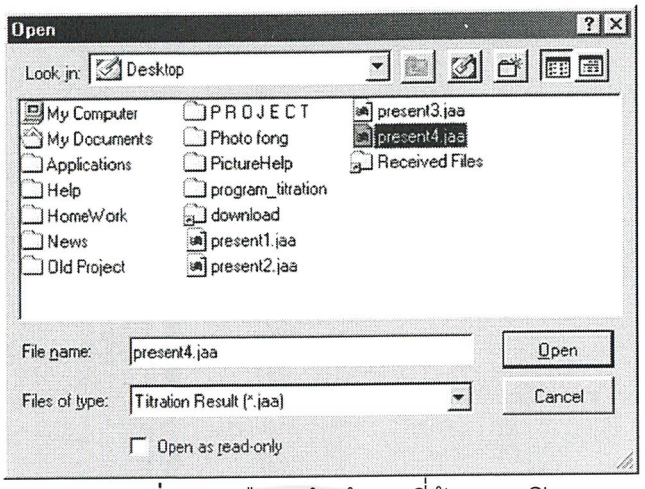
ให้ผู้ใช้ทำการใส่ชื่อแฟ้มข้อมูลที่จะบันทึกลงไป ซึ่งโปรแกรมจะบันทึกผลการทดลองเป็นนามสกุล ".jaa" ซึ่งเป็นภาพแบบแฟ้มข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมนี้

3.2 การเปิดแฟ้มข้อมูล

ในการเปิดแฟ้มข้อมูล ผู้ใช้สามารถเปิดแฟ้มข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ได้สูงสุด 3 แฟ้ม เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง และกราฟของแต่ละการทดลองได้

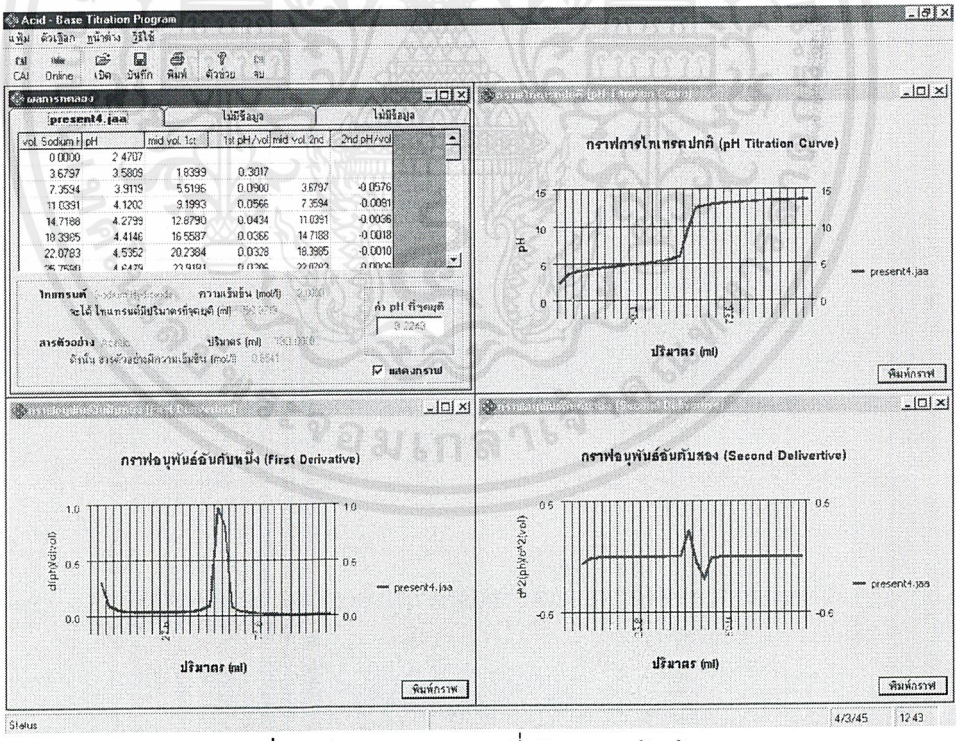
ผู้ใช้สามารถเปิดแฟ้มข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ได้ โดยการกดปุ่ม "เปิด" ที่หน้าจอหลัก จะพบกับหน้าจอดังภาพที่ 11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 11 เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการเปิด

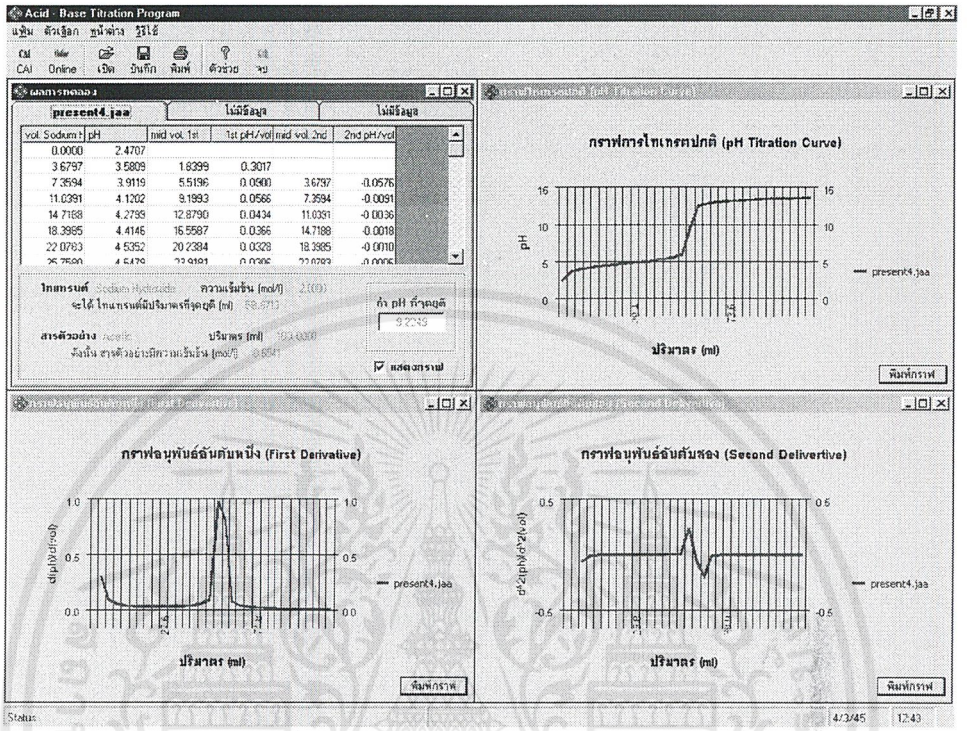
ให้ผู้ใช้เลือกชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการเปิด ซึ่งจะต้องเป็นนามสกุล ".jaa" แล้วกดปุ่ม "Open" โปรแกรมจะทำการเปิดแฟ้มข้อมูล และนำข้อมูลที่ถูกเก็บไว้มาแสดงในหน้าผลการทดลองดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ผลการทดลองที่เปิดจากแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากผู้ใช้ต้องการเปรียบเทียบผลการทดลอง ก็สามารถทำได้โดยเปิดแฟ้มข้อมูลมากกว่า 1 แฟ้ม ซึ่งเมื่อเปิดแล้วก็จะเป็นการเปรียบเทียบผลการทดลองกัน ซึ่งจะแสดงกราฟหลายเส้นเทียบกัน ดังภาพที่ 13

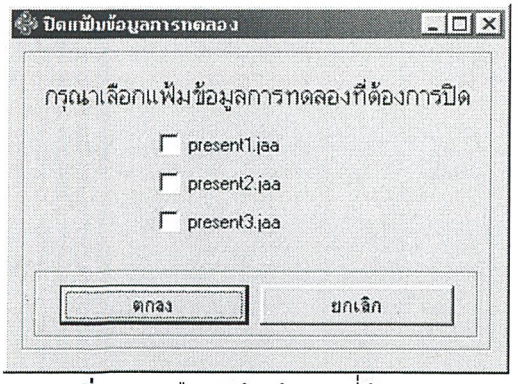


ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

จากขั้นตอนนี้เราสามารถที่จะพิมพ์ผลการทดลองออกทางเครื่องพิมพ์ได้ โดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3.3 การปิดแฟ้มข้อมูล

เมื่อผู้ใช้ต้องการปิดแฟ้มข้อมูลที่เปิดขึ้นมา สามารถทำได้โดยกดเมนู “แฟ้ม” → ”ปิด” จะขึ้นหน้าจอดังภาพที่14



ภาพที่ 14 เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการปิด

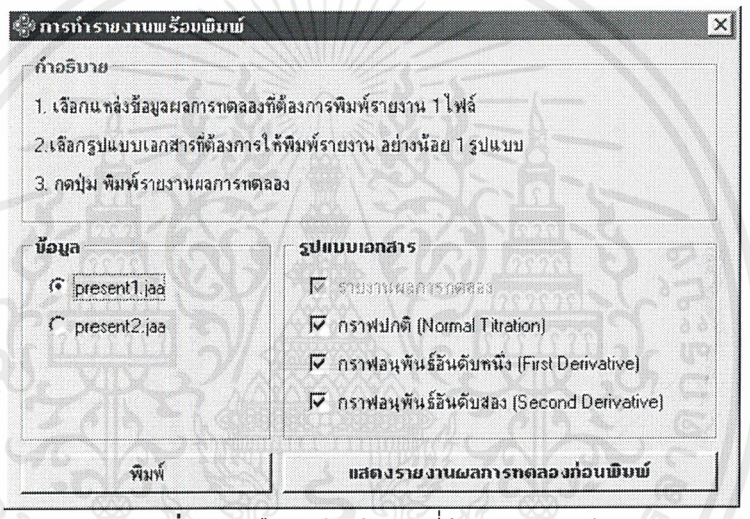
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพ ผู้ใช้สามารถเลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการปิดได้ แล้วกดปุ่ม “ตกลง” เพื่อทำการปิดแฟ้มข้อมูลที่ไม่ต้องการใช้งาน

4. วิธีใช้ : การพิมพ์ผลการทดลอง

จากหน้าจอผลการทดลอง เราสามารถพิมพ์ผลการทดลองออกมาได้ โดยภาพแบบที่พิมพ์ออกมาจะพิมพ์ออกมาเป็นรายงานสรุปผลการทดลอง ซึ่งเราสามารถจะทำการดูรายงานสรุปผลการทดลองได้ก่อนที่จะทำการพิมพ์ ซึ่งมีวิธีใช้ดังนี้

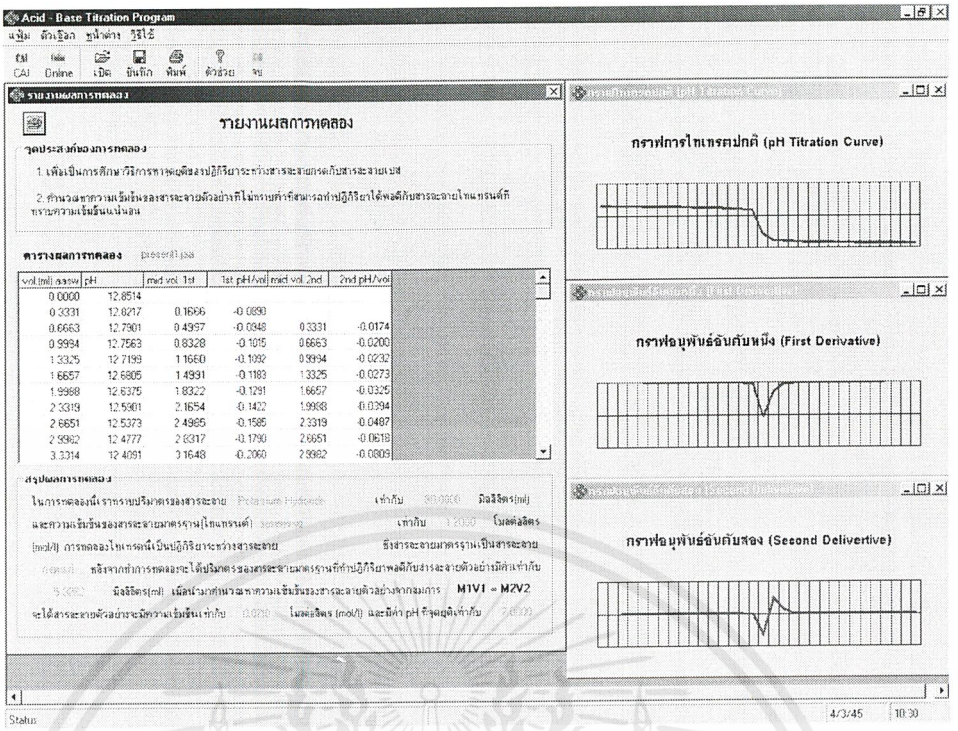
จากหน้าผลการทดลองให้ผู้ใช้กดปุ่ม “พิมพ์” จะขึ้นหน้าจอ “การทำรายงานพร้อมพิมพ์” ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 เลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการพิมพ์

ซึ่งในหน้านี้ผู้ใช้ จะต้องทำการเลือก แฟ้มข้อมูลที่ต้องการพิมพ์ และเลือกรายระเอียดที่ต้องการพิมพ์ต่าง ๆ และก่อนที่จะทำการพิมพ์ผู้ใช้สามารถดูรายงานผลการทดลองก่อนพิมพ์ได้ โดยกดปุ่ม “แสดงรายงานผลการทดลองก่อนพิมพ์” จะขึ้นหน้าจอ ดังภาพที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

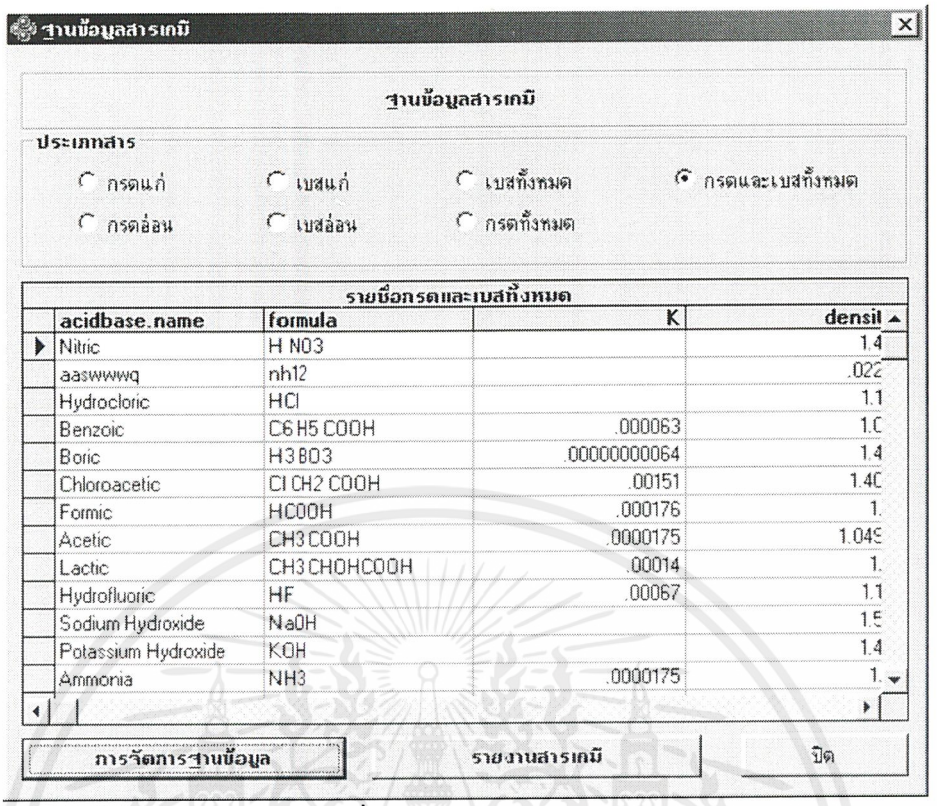


ภาพที่ 16 แสดงรายงานผลการทดลอง

5. การทำงานเกี่ยวกับฐานข้อมูลสารเคมี

ผู้ใช้สามารถเข้ามาทำงานเกี่ยวกับฐานข้อมูลสารเคมีได้ โดยเลือกเมนู “ตัวเลือก” → “ฐานข้อมูลสารเคมี” เมื่อเข้ามาแล้วจะพบกับหน้าจอ ดังภาพที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 17 ฐานข้อมูลสารเคมี

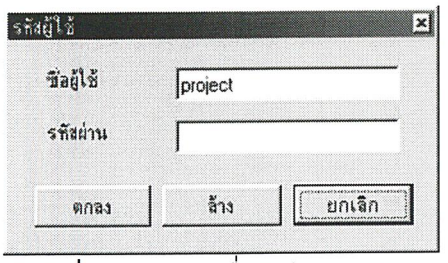
ในหน้านี้ผู้ใช้สามารถเลือกดูรายละเอียดของสารเคมีได้ โดยสามารถระบุประเภทที่ต้องการดูได้ โดยทำการเลือกประเภทสารเคมี

ผู้ใช้สามารถจัดการกับฐานข้อมูลได้ โดยกดปุ่ม "การจัดการฐานข้อมูล" ซึ่งจะเป็นการเข้าไปทำการจัดการฐานข้อมูลเคมี ซึ่งจะมีการทำงานย่อย ๆ ดังนี้

- เพิ่มข้อมูล
- ลบข้อมูล
- แก้ไขข้อมูล

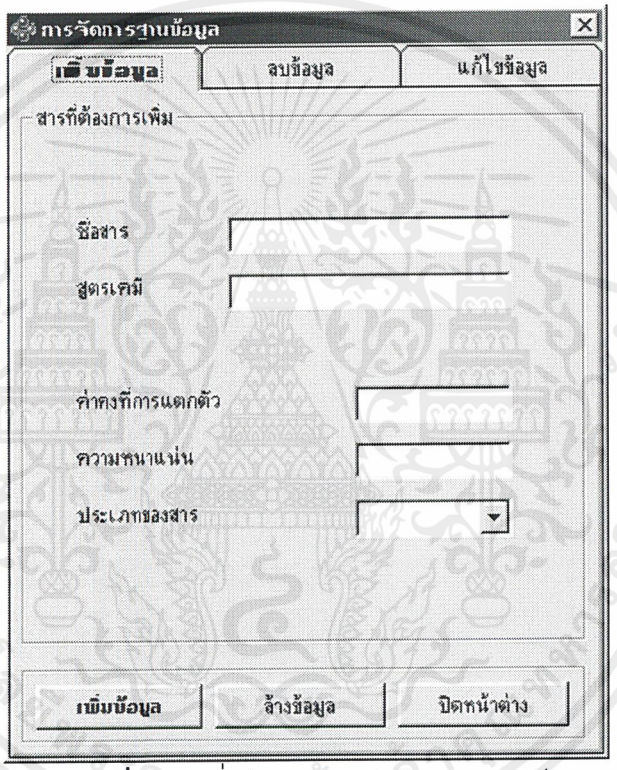
เมื่อผู้ใช้เข้าการจัดการฐานข้อมูลจะขึ้นหน้าจอใส่รหัสผ่าน ดังภาพที่ 18 หากผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงรหัสผ่านก็สามารถเรียกการเปลี่ยนรหัสผ่านได้จากเมนูที่จอการทำงานหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 18 การใส่ชื่อผู้ใช้ และรหัสผ่าน

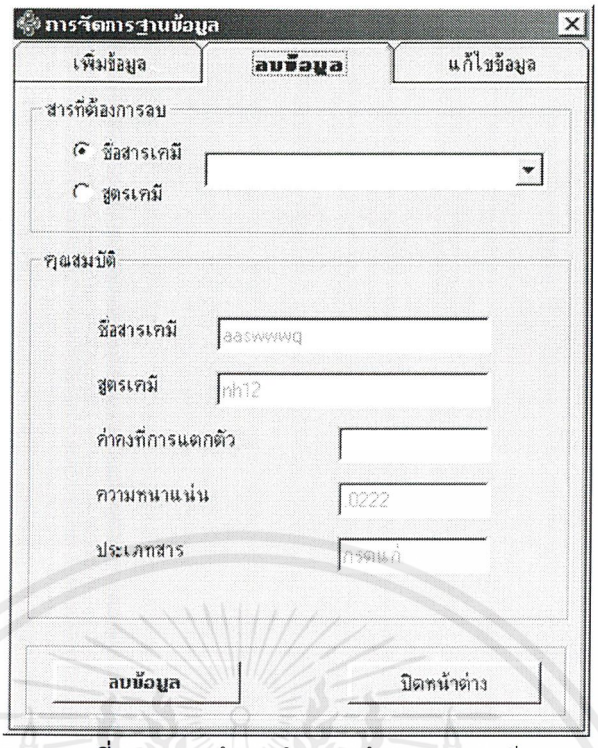
ให้ผู้ใช้ทำการใส่ “ชื่อผู้ใช้” และ “รหัสผ่าน” ที่ถูกต้อง เมื่อเรียบร้อยแล้วจะขึ้นหน้าจอดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 เพิ่มข้อมูลในฐานข้อมูลสารเคมี

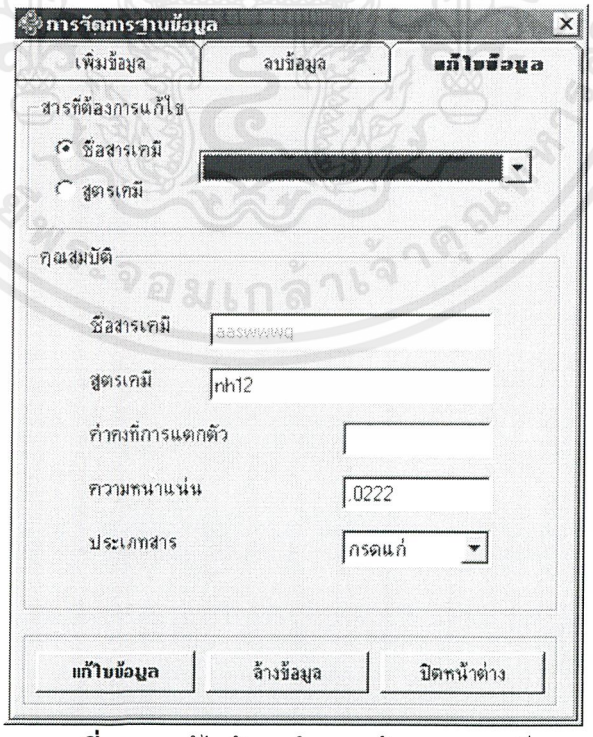
ในหน้าจอ “เพิ่มข้อมูล” ผู้ใช้สามารถเพิ่มข้อมูลของสารตัวใหม่ลงไปได้ นอกจากนั้นผู้ใช้สามารถลบข้อมูล และแก้ไขข้อมูล ได้ในหน้า “ลบข้อมูล” และ “แก้ไขข้อมูล” ตามลำดับ ดังภาพที่ 20 และภาพที่ 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 20 ลบข้อมูลในฐานข้อมูลสารเคมี

ผู้ใช้สามารถลบข้อมูลสารเคมี ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลได้โดย เลือก “สารเคมีที่ต้องการลบ” แล้วกดปุ่ม “ลบข้อมูล”

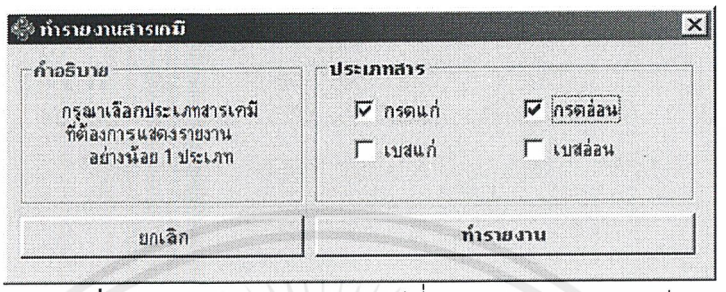


ภาพที่ 21 แก้ไขข้อมูลในฐานข้อมูลสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

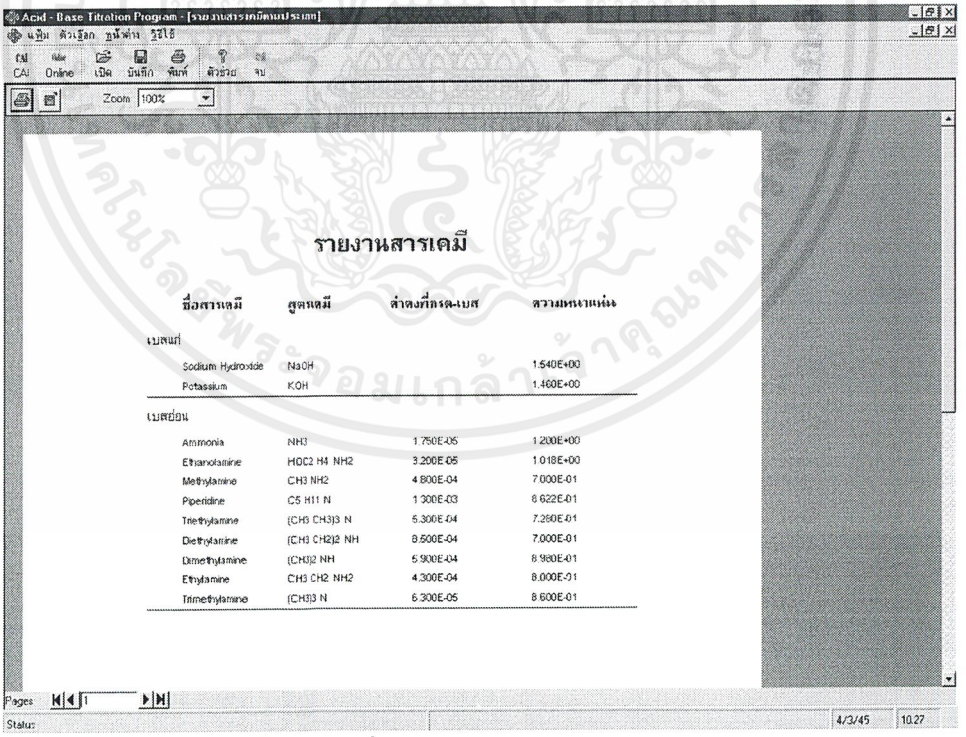
ผู้ใช้สามารถแก้ไขข้อมูลสารเคมี ที่มีอยู่ในฐานข้อมูลได้โดย เลือก “สารเคมีที่ต้องการแก้ไข” แล้วทำการแก้ไขข้อมูล แล้วจึงกดปุ่ม “แก้ไขข้อมูล”

ผู้ใช้สามารถทำรายงานสารเคมีได้ โดยเลือกเมนู “ตัวเลือก” → “รายงานสารเคมี” หรือกดปุ่ม “รายงานสารเคมี” ในหน้าฐานข้อมูลเคมี ซึ่งจะขึ้นหน้าจอ ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 เลือกประเภทสารเคมีที่จะทำรายงานสารเคมี

ผู้ใช้สามารถเลือกประเภทสารเคมีที่ต้องการทำรายงานได้ เมื่อเลือกเสร็จแล้ว กดปุ่ม “ทำรายงาน” จะขึ้นหน้าจอดังภาพที่ 23



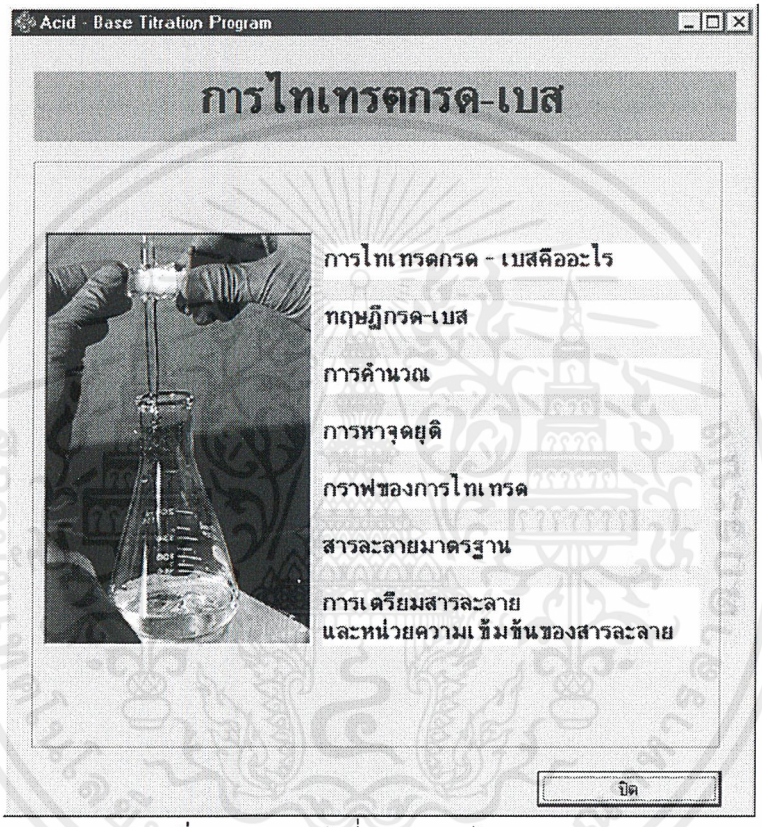
ภาพที่ 23 รายงานสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมจะทำรายงานสารเคมีตามที่ผู้ใช้ได้เลือกไว้ ซึ่งหากผู้ใช้ต้องการพิมพ์ ก็สามารถทำได้โดยกดที่ปุ่มภาพเครื่องพิมพ์ที่มุมบนซ้าย

6. ความรู้ที่เกี่ยวข้องทางเคมี

ผู้ใช้สามารถทบทวนบทเรียนได้โดยเข้าเมนู "วิธีใช้" → "ความรู้เกี่ยวกับการไทเทรต" จะขึ้นหน้าจอดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ความรู้เกี่ยวกับการไทเทรตกรด-เบส

ความรู้เกี่ยวกับการไทเทรตจะมีหัวข้อต่าง ๆ ให้ผู้ใช้ได้ทำการศึกษาหรือทบทวนบทเรียนได้ใน 7 หัวข้อดังแสดงตามภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

เจนวิทย์ เหลืองอร่าม.2543. **การเขียนโปรแกรมสำหรับ** Applications **ด้วย** Visual Basic 6 . กรุงเทพฯ : ธรรมสาร

ฉันทวุฒิ พืชผล และ พิชิต สันติกุลานนท์.2542.**คู่มือเรียน** Visual Basic 6. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น

สมศักดิ์ ศรีขจรเกียรติ .2544. Advanced Visual Basic 6 Teach Yourself . กรุงเทพฯ : บิบลิโอไฟล์

สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร .2542.**คู่มือการสร้างแอพพลิเคชั่นด้วย** Visual Basic 6.0 **ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส

อรุณี คงศักดิ์ไพศาล.2539. **เคมีวิเคราะห์** 1.พิมพ์ครั้งที่ 2 .กรุงเทพฯ :คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Gary D. Christian . **Analytical Chemistry**. 5th edition. University of Washigton

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้