

การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแม่เหล็ก Bis(pyridoxylidene hydrazino)
phthalazine:DPDHP กับ ไอออนของเหล็ก ที่สถานะปกติ



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.

ปีการศึกษา 2539

๑ 5๗3 ก

๒5๓๑

เลขหม.....

เลขทะเบียน..... 32022

วัน, เดือน, ปี - 8 ก.พ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Complex Formation of Iron ion With Bis(Pyridoxylidenehydrazino)phthalazine at
ambient temperature and neutral pH

Miss Jeeraporn Jantarasorn

Mr. Pisnu Pomsanam

Miss Wantana Somcharoenwattana

A Special Project in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Industrial Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang


1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

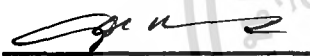
หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแม่เหล็ก Bis(pyridoxylidene
hydrazino)phthalazine;DPDHP กับ ไอออนของเหล็ก ที่สภาวะปกติ

นักศึกษา นางสาวจิราพร จันทร์คร
นายพิษณุ ป้อมสนาม
นางสาววันทนา สมเจริญวัฒนา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ประยงค์ ควงคี
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต


(ผศ.นงนุช เกตรานูวัฒน์)
คณะกรรมการโครงการพิเศษ

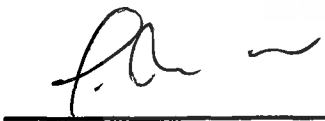
หัวหน้าภาควิชา


(รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

ประธานกรรมการ


(อาจารย์พรทิพย์ ศัพทอนันต์)

กรรมการ


(ผศ.ดร.ประยงค์ ควงคี)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแม่เหล็ก Bis(Pyridoxylidene
 hydrazino)phthalazine; DPDHP กับไอออนของเหล็ก ที่สภาวะปกติ
 นักศึกษา นางสาวจิราพร จันทรศร
 นายพิษณุ ป้อมสนาม
 นางสาววันทนา สมเจริญวัฒนา
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ประยงค์ คงดี
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2539

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนแม่เหล็กระหว่าง บิสไพริดอกซิลรี
 ดินไฮดราซีนฟทาเลซีน (DPDHP) กับ ไอออนของโลหะที่สภาวะปกติ ไอออนโลหะที่ใช้คือ
 $Fe(II), Fe(III)$ โดยใช้เทคนิคโพเทนชิอเมตริกไทเทรชัน ทำการไทเทรตในช่วงพีเอชประมาณ 2.0
 - 12.0 ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความแรงไอออน 0.5M โพแทสเซียมไนเตรตแล้วนำผลที่ได้
 มาทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SUPERQUAD ทำให้ทราบค่าคงตัวเสถียรภาพ (Stability
 constant) ของสปีชีส์ต่าง ๆ ได้แก่ $[LH_2]^{2+}$, $[LH_2]^{2-}$, $[L]^{4-}$, $Fe_2(II)L$ และ $Fe_2(III)L$,
 $Fe_2(II)(OH)_2L$ และ $Fe_2(III)(OH)_2L$ (เมื่อ LH_2 คือ DPDHP ที่เป็นลิแกนด์อิสระ) ค่าคงตัวเสถียร
 ภาพ ($\log \beta$) มีค่าดังนี้ 7.87, -13.44, -30.58, -20.00, -10.00, -30.00 และ -20.00 ตามลำดับ และได้ทำ
 การวัดค่า Susceptibility (χ) เพื่อศึกษาความเป็นแม่เหล็กของสารประกอบเชิงซ้อนดังกล่าวโดยใช้
 เครื่อง Moment magnetic balance ส่วนผลจากการวัดการดูดกลืนแสงยูวีวิสิเบิล สามารถยืนยันได้
 ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง DPDHP กับโลหะจริง

นอกจากนี้ยังทำการศึกษาโครงสร้างผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนแม่เหล็กนี้ได้ โดยใช้
 เครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

Special Project Title Complex Formation of Transition Metal With Bis (Pyridoxylidene
 hydrazino)phthalazine ;DPDHP at Ambient Temperature and Neutral
 pH

Name Miss Jeeraporn Jantarasorn
 Mr. Pisnu Pomsanam ..
 Miss Wantana Somcharoenwattana

Special Project Advisor Dr. Prayong Doungdee

Academic 1996

Abstract

The Stability constants and the oramation of magnetic complexes between Ferrous (II) ,
 Ferrous (III) and Bis - Pyridoxylidene hydrazinophthalazine (DPDHP) at room temperature
 are determined by using Potentiometric titration at 37 celcius with ionic strength (μ) =0.5 M
 potassium njtrate. The experiments are carried out inthe pH range from 2.0 to 12.0 . Stability
 constants are calculated by using computer program , “SUPERQUAD ”

By using the “ SUPERQUAD ” program the following complex species are founded
 under the experimental conditions : $[LH_3]^{2+}$, $[LH_2]^{2-}$, $[L]^{4-}$, $Fe_2(II)L$, $Fe(III)L$, $Fe_2(II)(OH)_2L$
 and $Fe_2(III)(OH)_2L$ at the stability constant ($\log \beta$) of 7.87,-13.44,-30.58,-20.00,-10.00,-30.00
 and -20.00 respectively (when $LH_4 = DPDHP$ free ligand) Magnetism of complexes ($\chi =$
 susceptibility) are determined by using moment magnetic balance and the spectra of these
 complexes from UV spectrophotometer confirm that the complexes are composed by DPDHP
 and metal

In other wise , the crystallised structure of these magnetic complexes are determined
 by using polarized microscope.

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้ความรู้ ความช่วยเหลือด้านต่าง ๆ รวมทั้งชี้แนะแนวทางในการดำเนินงาน ทั้งด้านวิชาการ หลักการทำงาน และแนวทางการดำเนินชีวิต ตลอดจนให้การสนับสนุนการดำเนินการจัดทำโครงการพิเศษนี้ด้วยดี และสม่ำเสมอตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ พรทิพย์ ศัพท์อนันต์ ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ และ เจ้าหน้าที่ธุรการ ประจำภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่กรุณาให้ความสะดวกในการจัดทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณมิตรภาพและประสบการณ์ที่ดีร่วมกัน

และขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้มีพระคุณสูงสุดที่คอยให้กำลังใจอยู่เสมอ ทำให้กล้าเผชิญต่อปัญหาและฝ่าฟันอุปสรรคต่าง ๆ มาได้จนถึงทุกวันนี้

จิราพร จันทรศร

พิชญ ป้อมสนาม

วันทนา สมเจริญวัฒนา

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง-จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญกราฟ	ช-ซ
บทที่ 1 บทนำ	1 - 2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3 - 21
บทที่ 3 การทดลอง	22 - 31
-สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	
-อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	
-การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	
-วิธีการทดลอง	
-การคำนวณ	
-การจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	32 - 35
-ผลการทดลองที่ได้จากการไทเทรต	
-การแคลิเบรทอิลเลคโทรด	
-การศึกษาปฏิกิริยาโปรโตเนชัน และ ดีโปรโตเนชัน ของ DPDHP	
-การศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง DPDHP + Fe(II)	
-การศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง DPDHP + Fe(III)	
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ	36 - 84
ภาคผนวก	85 - 102
-ภาคผนวก ก รายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม TR 600	
-ภาคผนวก ข ความหมายของคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ใน Sample Identification และ Computer	
-ภาคผนวก ค Data input สำหรับโปรแกรม SUPER และโปรแกรม ELE	
-ภาคผนวก ง ตัวอย่างอินพุทของโปรแกรม ELE ที่ได้จากการคำนวณ โดยโปรแกรม DCO	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ภาคผนวก จ ตัวอย่างเอาร์ทูทของโปรแกรม BLE ในการแคเรียบรทอิลคโทรค
- ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างอินทุทสำหรับโปรแกรม SUPER ในการหาค่าคงตัวเสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II)
- ภาคผนวก ช ตัวอย่างเอาร์ทูทสำหรับโปรแกรม SUPER ในการหาค่าคงตัวเสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(III)

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงค่าคงตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของ DPDHP และสารประกอบเชิงซ้อน	37
ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวัดค่า susceptibility	38
ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรตไป-กลับของ DPDHP	39 - 42
ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการแคลิเบรทอิลเทคโทรด	43 - 45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทำแคริเบรทอเลดไทรด์	46
กราฟที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาปฏิกิริยาโปรโตเนชัน และ ดีโปรโตเนชัน จากกรดไปเบส	47
กราฟที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาปฏิกิริยาโปรโตเนชัน และ ดีโปรโตเนชัน จากเบสไปกรด	48
กราฟที่ 4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(III) 0.25 ml	49
กราฟที่ 5 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(III) 0.50 ml	50
กราฟที่ 6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(II) 0.25 ml	51
กราฟที่ 7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(II) 0.50 ml	52
กราฟที่ 8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(II) 0.75 ml	53
กราฟที่ 9 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของ DPDHP	54
กราฟที่ 10 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบ เชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) 0.25 ml	55
กราฟที่ 11 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิง ซ้อน DPDHP + Fe(II) 0.50 ml	56
กราฟที่ 12 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) 0.75 ml	57
กราฟที่ 13 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของ สารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(III) 0.25 ml	58
กราฟที่ 14 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe (III) 0.50 ml	59
กราฟที่ 15 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 1.5	60
กราฟที่ 16 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 2.0	61
กราฟที่ 17 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 3.0	62
กราฟที่ 18 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 4.6	63
กราฟที่ 19 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 7.0	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 20 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 8.7	65
กราฟที่ 21 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 12	66
กราฟที่ 22 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ Fe(II)	67
กราฟที่ 23 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ Fe(III)	68
กราฟที่ 24 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 1.58	69
กราฟที่ 25 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 2.23	70
กราฟที่ 26 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 3.07	71
กราฟที่ 27 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 6.67	72
กราฟที่ 28 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 9.00	73
กราฟที่ 29 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 12.00	74
กราฟที่ 30 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 2.00	75
กราฟที่ 31 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 4.35	76
กราฟที่ 32 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 8.30	77
กราฟที่ 33 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 11.5	78
กราฟที่ 34 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPDHP ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน	79
กราฟที่ 35 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPDHP + Fe(II) ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน	80
กราฟที่ 36 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPDHP + Fe(III) ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน	81

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาของปัญหาและวัตถุประสงค์

แม่เหล็กเป็นสิ่งที่มืออยู่ในพื้นผิวโลกอยู่แล้ว โดยจะเกิดอยู่ในรูปของ magnetic stone ซึ่งโดยธรรมชาติมัน magnetite (Fe_3O_4) ได้เกิดขึ้นบนผิวโลกมาแล้วกว่าพันล้านปี โดยเกิดจากการ oxidation ของธาตุเหล็กในสถานะที่อุณหภูมิสูง หรืออาจเกิดจากการผสมกันของเกลือของธาตุเหล็กที่อยู่ในน้ำ ออกซิเจน เบส และ polymeric lignosulfonate ในสถานะที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 90 - 140 องศาเซลเซียส และ $\text{pH} > 12$ แต่สำหรับแบคทีเรียบางชนิดที่มีพฤติกรรมคล้ายแม่เหล็ก และระบบทางชีววิทยาอื่น ๆ การเกิดเป็นแม่เหล็กจะเกิดในทางตรงกันข้าม คือ จะสามารถสร้างอนุภาคแม่เหล็กขนาดเล็กที่ได้อุณหภูมิห้อง ความดันปกติ และมีค่า pH เป็นกลาง

เนื่องจากสารประกอบแม่เหล็กในปัจจุบันได้มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม การเก็บข้อมูลข่าวสาร โดยได้มีการนำไปใช้ในการสร้างแถบบันทึกข้อมูลใน computer, audio tape ซึ่งจะนำไปใช้โดยทำให้อยู่ในรูปออกไซด์ของโลหะทรานซิชัน เช่น $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ และ CrO_2 หรืออยู่ในรูปของสารเชิงซ้อนของ solid solution ซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแบบ garnet หรือ ferrite ซึ่งการสังเคราะห์สารแม่เหล็กนั้น ได้เคยมีผู้ทำการสังเคราะห์มาเป็นเวลานาน เช่น Stumpf et al ได้ทำการสังเคราะห์จาก graphite ที่ประสานกันเป็นร่างแหอยู่ภายในจุดศูนย์กลางของการหมุนซึ่งทำให้เกิดแม่เหล็กไปทั่วทั้งโครงสร้าง ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 22.5 K และเนื่องจากวัสดุแม่เหล็กที่คิดค้นขึ้นนั้นจะมี curie temperature (T_c) สูงกว่าอุณหภูมิห้อง ดังนั้นจึงได้มีผู้ที่พยายามที่จะสังเคราะห์สารแม่เหล็กที่มี T_c ที่ 22.5 K เพื่อให้เกิดความแปลกใหม่ในการศึกษาเกี่ยวกับแม่เหล็ก โดยนักเคมีจะทำหน้าที่ในการสร้างรูปแบบของโมเลกุลใหม่เพื่อให้มีลักษณะเฉพาะตามต้องการ เช่น nonconducting magnet ซึ่งมีความใสหรือแม่เหล็กที่มี optical spectra ซึ่งประกอบไปด้วย absorption band เป็นเส้นๆ ไม่ต่อเนื่องกันซึ่งจะสามารถเปลี่ยนสมบัติ transparency หรือ birefringent ได้เมื่อมีช่วงของการสปีนกว้างและสัมพันธ์กับอุณหภูมิหรือสนามที่ใส่เข้าไป โดยที่วัสดุที่มีความโปร่งใสนี้สามารถสังเคราะห์ได้ที่ใกล้เคียงกับ 300 K ซึ่งจะนิยมใช้ในการเก็บข้อมูลและใช้ในการโทรคมนาคมซึ่งต้องการข้อมูลที่ถูกต้องแน่นอน การแบ่งแยกวัสดุแม่เหล็กว่าประกอบไปด้วย continuous ionic หรือ metallic lattice นั้นแน่นอนว่าจะต้องมีเทคนิคในการสังเคราะห์ที่แตกต่างกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเทคนิคที่ทำโดยใช้ coordination หรือ organometallic เช่น การตกผลึกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง ซึ่งจะได้แผ่นฟิล์มบาง ๆ ตกตะกอนออกมา หรือ โดยการระเหยตัวทำละลายออกไปหรือทำการ spin coating

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการสังเคราะห์สารแม่เหล็กนั้นส่วนใหญ่จะทำการสังเคราะห์ที่สภาวะที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นโครงการวิจัยที่ศึกษานี้จึงได้เลือกศึกษาการเกิดสารประกอบแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้อง ความดันปกติ และค่า pH ปานกลางซึ่งในงานวิจัยจะทำการศึกษาการเกิดและลักษณะทั่วไปของ molecule ที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นผลึกของอนุภาคแม่เหล็กขนาดเล็ก โดยใช้สารตั้งต้น คือ Bis(pyridoxylidenehydrazino)phthalazine (DPDHP) ซึ่งทำหน้าที่เป็น ligand และใช้ metal เป็น Fe(II), Fe(III) โดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอเมตริกไทเทรชันในการหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป ของสารประกอบเชิงซ้อนที่อุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส โดยมีความแรงของไอออน 0.5 โมลาร์โพแทสเซียมไนเตรด

ข้อมูลที่ได้จะถูกนำไปคำนวณโดยใช้โปรแกรม SUPERQUAD ซึ่งจะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดสปีชีส์ พร้อมทั้งคำนวณค่าคงตัวเสถียรภาพในการเกิดสปีชีส์ของสารเชิงซ้อนเหล่านั้น และแสดงอัตราส่วนความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ที่เอชต่าง ๆ ในรูปแบบของเส้นกราฟ ทำให้ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสปีชีส์ของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงไป และทำการวัดค่าแมกเนติกซัสเซพติบิลิตีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเพื่อพิจารณาคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเมื่อค่า pH เปลี่ยนแปลงไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ความรู้เกี่ยวกับสารแม่เหล็ก

สารแม่เหล็ก คือ สารที่มีคุณสมบัติในการถูกเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กภายนอกแล้วเกิดโมเมนต์แม่เหล็กขึ้น หรือ สารที่มีค่าโมเมนต์แม่เหล็กในตัวเองโดยไม่ต้องมีการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กจากภายนอก

สารต่างๆสามารถแบ่งแยกตามสมบัติของแม่เหล็กได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกันซึ่งการแบ่งสารเหล่านี้ออกเป็นกลุ่มต่างๆจะอาศัยค่า สภาพรับไว้ได้ (susceptibility ; χ) ของแม่เหล็ก กล่าวคือ สภาพรับไว้ได้ของสารไดอะแมกเนติกมีเครื่องหมายเป็นลบ หมายถึงว่าแมกเนไทเซชัน ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กภายนอกมีทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็ก H สำหรับสารพาราแมกเนติกนั้นสภาพรับไว้ได้ จะมีเครื่องหมายเป็นบวก แต่มีค่าน้อยและแมกเนไทเซชันมีทิศทางเดียวกับสนาม H ส่วนสารเฟอร์โรแมกเนติกมีสภาพรับไว้ได้ มีเครื่องหมายเป็นบวกและมีค่ามากๆ โดยมีแมกเนไทเซชันถาวรหรือมีแมกเนไทเซชันเกิดขึ้นเองที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำหนึ่ง

(1) Diamagnetic สารที่เป็นพวกไดอะแมกเนติก เช่น พวกแก๊สเฉื่อย หรือพวกโลหะเช่น ธาตุ Zn, Cu, Au, Hg ส่วนอโลหะ เช่น Bi, Ga, Sb และกราไฟต์ เป็นต้น

(2) Paramagnetic วัสดุที่มีสถานะเป็นพาราแมกเนติก(มีสภาพรับไว้ได้ของแม่เหล็ก $\chi > 0$) มีดังต่อไปนี้

2.1 อะตอม โมเลกุล และพวกที่มีแอสติซบกร่องซึ่งมีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ทำให้สปินรวมทั้งหมดไม่เป็นศูนย์ ตัวอย่างเช่น อะตอมของโซเดียมอิสระ แก๊สไนตริกออกไซด์(NO) อนุมูลของสารประกอบอินทรีย์อิสระ เช่น ไครโทนิลเมทิล ($C(C_6H_5)_2$),

2.2 อะตอมอิสระ และไอออนที่มีอิเล็กตรอนเต็มในเซลล์ภายในเต็มแล้ว เช่น ธาตุทรานสิชัน ไอออนของธาตุทรานสิชัน ธาตุแอกติไนด์ เช่น ธาตุ Mn^{2+} , Gd^{3+} , U^{4+} ไอออนเหล่านี้จะเป็นพาราแมกเนติกเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง

2.3 สารประกอบบางอย่าง ที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นเลขคู่ รวมทั้งโมเลกุลของออกซิเจน และอนุมูลคู่ของสารประกอบอินทรีย์

2.4 โลหะต่าง ๆ

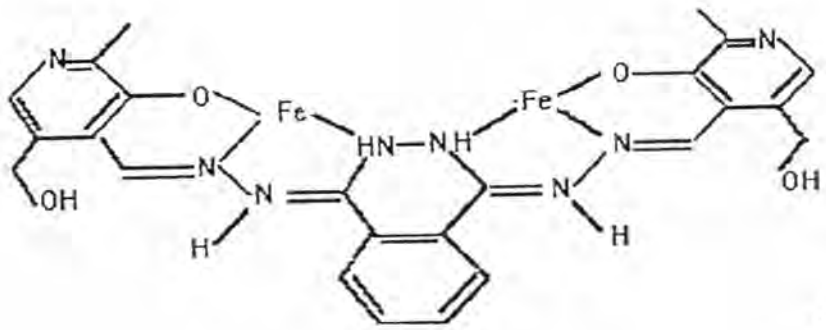
(3) Ferromagnetic สารเฟอร์โรแมกเนติกส่วนใหญ่เป็นสารแม่เหล็กธรรมชาติที่มีโมเมนต์แม่เหล็กในทุกขณะ ถึงแม้จะไม่ได้อยู่ในสนามแม่เหล็กก็ตาม ซึ่งตัวอย่างของเฟอร์โรแมกเนติกที่รู้จักกันดีที่สุด คือ Fe, Co และ Ni หรือโลหะของธาตุ rare earth เช่น Gd, Dy และออกไซด์ของโลหะทรานซิชันที่เป็นฉนวนทั้งหมดจะสามารถกลายเป็นเฟอร์โรแมกเนติกได้ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิที่เหมาะสม เรียกว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงเฟอร์โรแมกเนติก หรืออุณหภูมิคูรี (Curie temperature) ซึ่งจะขึ้นกับชนิดของสารนั้น ๆ ซึ่งถ้าอุณหภูมิสูงเกินค่านั้น ๆ ค่าโมเมนต์แม่เหล็กจะมีทิศทางไม่คงที่ ทำให้ผลรวมของโมเมนต์แม่เหล็ก (M) = 0 และสารนั้นจะกลายเป็นพาราแมกเนติก

เฟอร์โรแมกเนติกอาจแบ่งออกเป็นเขตแม่เหล็ก (magnetic domain) ซึ่งมีแมกเนไทเซชันเกิดขึ้นเองในทิศต่าง ๆ หักล้างกันจนเหลือค่าหนึ่งเป็นค่าแมกเนไทเซชันเกิดขึ้นเองขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กจากภายนอกเข้าไป แต่เมื่อมีสนามแม่เหล็กจากภายนอกเข้าไป จะทำให้โมเมนต์แม่เหล็กเกิดขึ้นเองของเขตแม่เหล็กที่เรียงตัวกันตามทิศเดียวกับสนามแม่เหล็กภายนอก แมกเนไทเซชันขณะนี้จะมีความเพิ่มขึ้นจนถึงค่าอิมิตัวที่สนามแม่เหล็กค่าหนึ่ง ซึ่งแมกเนไทเซชันอิมิตัวก็คือ แมกเนไทเซชันที่เกิดขึ้นเองของสารเฟอร์โรแมกเนติกที่อุณหภูมินั้น

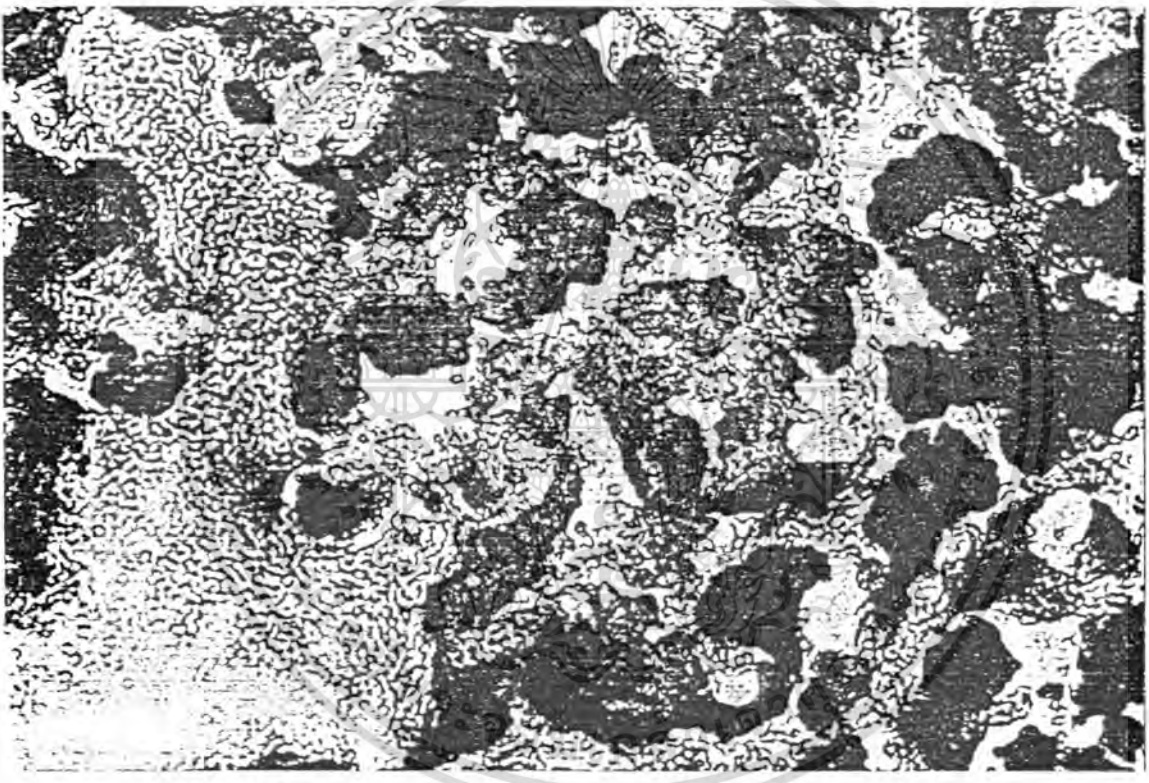
การมีสภาวะแม่เหล็ก (magnetization) เกิดขึ้นเองอาจกล่าวได้ว่า โมเมนต์แม่เหล็กภายในเขตแม่เหล็กที่เรียงตัวกันขนานในทิศทางหนึ่ง โดยมีอันตรกิริยาต่อกันและมีขนาดของแมกเนไทเซชันมาก ที่อุณหภูมิสูง ๆ ค่าของแมกเนไทเซชันจะถูกทำลายไป และสภาวะเฟอร์โรแมกเนติก (ferromagnetism) จะเปลี่ยนไปเป็นสภาวะพาราแมกเนติก (paramagnetism) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นตรงที่จุดคูรี

Bis(pyridoxylidenehydrazino)phthalazine;(DPDHP)

Bis(pyridoxylidenehydrazino)phthalazine เป็นสารประกอบที่มีอนุภาคของผลึกแม่เหล็กขนาดเล็กที่มีโครงสร้างที่ประกอบด้วยหมู่azine (N-N) 3 หมู่ ต่ออยู่กับpyridoxylidene 2 หมู่ ซึ่งเป็นบริเวณที่สร้างพันธะกับโลหะที่ใส่เข้าไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโครงสร้างดังรูป

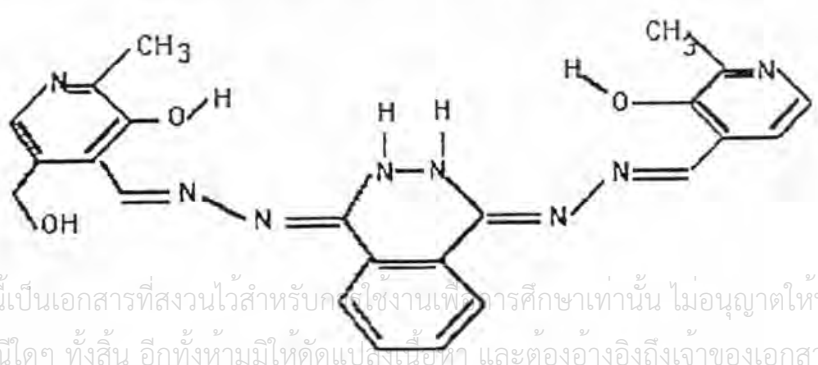


ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนนี้มีสมบัติความเป็นแม่เหล็กสูงที่ค่า pH ประมาณ 7 และมีลักษณะของผลึกเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์สี่ค้ำจรูป



ซึ่งในระหว่างขั้นตอนของการเกิดสปีชีส์ของสารประกอบเชิงซ้อนจะเกิดสปีชีส์ต่าง ๆ ซึ่ง มีลักษณะโครงสร้างดังนี้

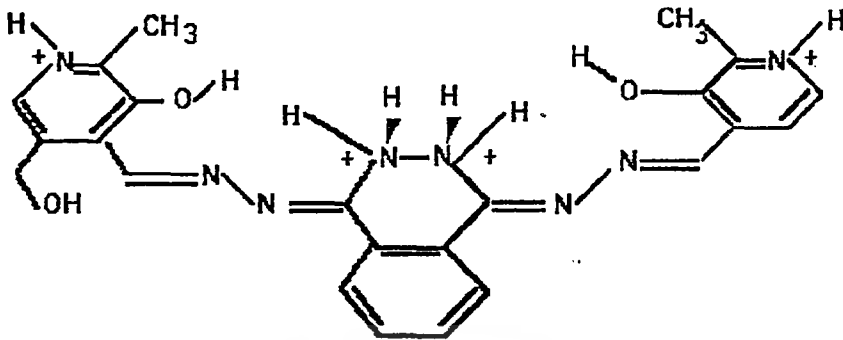
1. สปีชีส์ของลิแกนด์ในสภาวะปกติ ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วย LH₂



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคลังงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

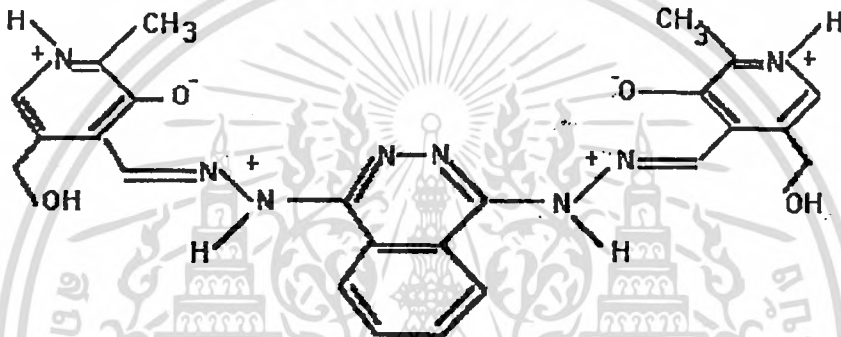
2. สปีชีส์ของลิแกนด์เมื่อได้รับโปรตอนเข้าไป 2 ตัว แทนด้วย $[LH_2]^{2+}$ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างดังรูป

สร้างดังรูป



3. สปีชีส์ของลิแกนด์ที่เกิดจากการเสียโปรตอนออกไปจนหมดซึ่งเขียนแทนด้วย L^-

และมีลักษณะโครงสร้างดังรูป



วิธีการวัดความเป็นแม่เหล็ก

วิธีการวัดความเป็นแม่เหล็กของวัสดุทั่ว ๆ ไป มีได้ 3 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้

1) induction method

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กซึ่งได้จากการวัดฟลักซ์แม่เหล็กนั้นเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งจะเหนี่ยวนำแรงแม่เหล็กไฟฟ้าในวงจรให้มีค่าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ในวงจรดังสูตร

$$V = N \frac{d\Phi}{dt}$$

ถ้า A = พื้นที่หน้าตัดของขดลวด

N = จำนวนรอบของค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก

$$B = \Phi/A$$

เทคนิคนี้จะวัดฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดผ่านขดลวด (Φ) และพื้นที่หน้าตัดที่รู้ (A) ก็จะหาค่าการเหนี่ยวนำแม่เหล็กได้ (B) ได้ ความต่างศักย์ในการเหนี่ยวนำจะเพิ่มขึ้นถ้า B เพิ่มขึ้นขณะที่ H มีค่าคงที่ โดยการใส่แกนที่มี high-permeability เข้าไปในขดลวดในบริเวณที่เป็นช่องว่าง ซึ่งคำนวณ B ได้จาก

$$B = \mu_0 H$$

และ

$$V = - \mu_0 N A dH/dt$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Torque magnetometer

Torque magnetometer จะใช้ในงานหลัก ๆ คือ การวัด anisotropy ในตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก ซึ่งอาศัยหลักพื้นฐานที่ว่า magnetic dipole(m) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กภายนอก(H) จะทำให้เกิดค่า Torque ซึ่งมีค่าดังสมการ

$$\tau = \mu_0 m \times H$$

โดยค่า τ จะมีค่าเท่ากับทั่วทั้งสนามแม่เหล็กและตัวอย่างจะต้องทำให้เป็นเส้นตรง และค่า τ นี้เกิดจากการบิดตัวของ fibre ไปเป็นมุม $\phi = \text{constant} \times \tau$

$$= \text{constant} \times \mu_0 m H \sin\alpha$$

เมื่อ α เป็นมุมระหว่าง m และ H
 เครื่องมือนี้ก่อนนำไปใช้จะต้องทำการเทียบมาตรฐานโดยใช้ตัวอย่างที่รู้ว่าเป็น anisotropy และรู้ค่า μ_0 , H และค่า constant และสามารถวัดมุม α ได้ก็จะสามารถคำนวณหา magnetic moment (m) ได้

3. susceptibility balances

เทคนิค force-balance ทั้ง 2 ชนิดนี้จะใช้ในการหา magnetization(m) หรือ susceptibility χ ซึ่งจะมีอยู่ 2 แบบ คือ analytical balance และ torsion balance โดยทั้ง 2 แบบนี้ขึ้นอยู่กับการวัดแรงที่ทำให้เป็นเชิงเส้นแก่ตัวอย่างที่ถูกแขวนอยู่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กเล็กน้อย

ตัวอย่างที่ถูกแขวน โดยใช้เส้นลวดยาวอยู่ในสนามแม่เหล็กโดยมีการเปลี่ยนแปลงของสนามคงที่และแรงกระทำบนตัวอย่างปริมาตร V และ magnetization (M) คำนวณได้จากสมการ

$$F_x = \mu_0 m dH/dx$$

$$= - \mu_0 V M dH/dx$$

และค่า susceptibility หาได้จาก

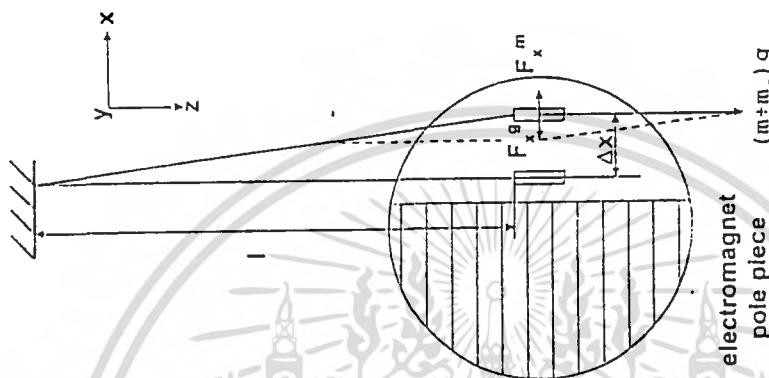
$$\chi = M/H$$

ดังนั้น
$$F_x = - \mu_0 V H dH/dx$$

ดังนั้นแรงที่กระทำบนตัวอย่างจึงเป็นสัดส่วนกับค่า susceptibility

เทคนิคนี้สามารถใช้ได้กับตัวอย่างที่มีขนาดสั้น ๆ เท่านั้น ดังนั้นตัวอย่างทั้งหมดจึงต้องนำมาไว้ระหว่าง pole piece ของ electromagnet และให้สนามมีการเปลี่ยนแปลงคงที่

ใน analytical balance method จะใช้เพื่อวัดแรงที่กระทำต่อตัวอย่างที่ถูกแขวนอยู่ทางด้านหนึ่งของแขนของเครื่อง analytical balance ซึ่งถ้าไม่มีสนาม น้ำหนักของตัวอย่างจะสมดุลย์กันทั้ง 2 ข้างของแขน และเมื่อใส่สนามเข้าไปจะวัดแรงที่กระทำต่อตัวอย่าง ได้เป็นเส้นตรง



เครื่องมือวัดโมเมนต์แม่เหล็กที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือวัดโมเมนต์แม่เหล็ก M และซัสเซพทิบิลิตี χ ที่มีความไวสูง ซึ่งสามารถวัดกับสารแม่เหล็กทั้งรูปทรง และชนิดต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง เช่นผลึกของแข็ง ผลึกผง ของเหลว หรือก๊าซ ได้พัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการวัดแรงกระทำระหว่างแรงแม่เหล็กไฟฟ้า กับสารแม่เหล็ก ด้วยวิธีการวัดโดยตรง สามารถวัดค่าโมเมนต์แม่เหล็กของสารชนิดต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางตั้งแต่ค่า $M \leq 2.16^{-4}$ emu จนกระทั่งถึงค่า $M \approx 104$ emu และค่า $m\chi = 2.10^{-10}$ emu/gOe (เมื่อ m คือมวลของสารมีหน่วยเป็นกรัม) เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมีความเป็นไปได้ที่จะวัดกับวัตถุทั่วไป เช่น สารแม่เหล็กโคบอลต์ออกไซด์ชนิดอ่อน สารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก ที่มีค่า $\chi = 2.18^{-3}$ emu/gOe ที่มีมวล $m \geq 10^{-2}$ g และสารแม่เหล็กชนิดเฟอร์โรแมกเนติก และ เฟอร์โรแมกเนติกที่มีค่าสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำอิมพัลส์ $4\pi CMs$ มากถึง 20 kGauss และมวลของสารที่ใช้วัดมากกว่า $2 \cdot 10^{-4}/4\pi CMs$ g Gauss เครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ยังสามารถดัดแปลงสร้างในรูปแบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับผู้ใช้ที่ต้องการได้อีกด้วย ข้อดีของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นคือ ราคาไม่แพง ส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีทางการสร้างเครื่องมือวัดอย่างละเอียดมากขึ้น

เครื่องมือชุดแรกที่สร้างขึ้นโดยอาศัยหลักการของฟาราเดย์ เพื่อที่จะวัด M และ χ โดยใช้แรงกระทำจากสนามแม่เหล็กที่ผลิตขึ้นด้วยกระแสตรง กระทำกับสารตัวอย่างที่วางอยู่บริเวณแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่ไม่สม่ำเสมอ สารตัวอย่างถูกแขวนไว้ในลักษณะถูกค้ำขึ้นาพิการะหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วแม่เหล็กทั้งสอง เมื่อให้สนามแม่เหล็กเข้าไปในแกน y จะได้แรงกระทำที่เกิดจากผลคูณของ H_y กับเกรเดียนต์ $\partial H_y / \partial X = 0$ เกิดขึ้นกระทำกับสารตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในภาชนะบรรจุสาร (crucible) ทำให้สารตัวอย่างเกิดการเบี่ยงเบนไปในแกน x เป็นระยะทาง Δx ซึ่งไปอยู่จุดสมดุลใหม่ ซึ่งแรงแม่เหล็กกระทำในแนวระนาบแกน x คือ F_x ไปเท่ากับองค์ประกอบของน้ำหนักในแนวเดียวกัน คือ

$$F_x = (M + M_c) \partial H_y / \partial X = (m\chi + m_c\chi_c) H_y \partial H_y / \partial X = [m + m_c] g \Delta X / l$$

เมื่อให้ m มีมวลของสารตัวอย่าง, m_c มวลของภาชนะใส่สาร, M ค่าโมเมนต์แม่เหล็กของสารตัวอย่าง, M_c ค่าโมเมนต์แม่เหล็กของภาชนะใส่สาร, χ ค่าซัสเซพทิบิลิตีของสารตัวอย่าง, χ_c ค่าซัสเซพทิบิลิตีของภาชนะใส่สาร, g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, l เป็นความยาวของเชือกที่แขวนสารตัวอย่างในแนวตั้ง, ΔX วัดด้วยวิธีการดูคลื่นแสงที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้ LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง และ photodiode เป็นการตรวจวัดลักษณะสมบัติของตัวกำเนิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีแกนแม่เหล็ก (core) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มม. ออกแบบเกรเดียนต์ขึ้นที่ปลาย โดยให้ $H_y \partial H_y / \partial X$ มีค่าคงที่อยู่ในช่วงประมาณ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ค่า H อยู่ในช่วงถึง 10 kOe สำหรับที่กระแสดตรงที่จะเป็นตัวอย่างไม่ให้กับแม่เหล็กไฟฟ้าน้อยกว่า 8A ความไวของเครื่องมือนี้มีค่าอยู่ในช่วง 2×10^{-6} emu

เครื่องที่สองที่พัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการวัดฟลักซ์แม่เหล็กของสารตัวอย่างที่วางอยู่ในขดลวดตรวจวัดและแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่เป็นกระแสดลัด มีการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กอย่างสม่ำเสมอ และมีขดลวดปรับสมดุลต่ออนุกรมเข้าไว้ด้วยกันกับขดลวดตรวจวัด จึงเป็นเครื่องมือที่ง่ายสำหรับใช้วัดสารตัวอย่างที่มีค่า $M > 10^{-3}$ emu

ส่วนเครื่องที่สามได้พัฒนาขึ้น โดยอาศัยการปรับปรุงจากหลักการของฟาราเดย์ โดยวัดแรงกระทำกับสารตัวอย่างในรูปของเกรเดียนต์ของสนามแม่เหล็ก และด้วยการกำเนิดสัญญาณสนามแม่เหล็กในขดลวดชุดที่สองเป็นสัญญาณสลับทิศทาง เครื่องมือนี้มีความไวถึงค่า 10^{-5} emu ของค่าโมเมนต์แม่เหล็กจากสารตัวอย่าง (สามารถพัฒนาด้วยเครื่อง lock-in amplifier จะวัดได้สูงถึง $10^{-6} - 10^{-8}$ emu

เครื่องที่สร้างขึ้นได้ทำการทดสอบด้วยการวัดกับสารบริสุทธิ์ชนิดต่าง ๆ ที่เป็นผง ของเหลว และเป็นก้อนโลหะคือ $\text{CuO}(99.998\%), \text{NiO}(99.998\%), \text{Mn}_2\text{O}_3(98\%), \text{SnO}_2(99.998\%),$ น้ำกลั่นและโลหะ $\text{Sn}(99.99\%)$ และสารประกอบที่เป็นรูปผลึกเดี่ยว $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ซึ่งผลที่ได้สำหรับการวัดที่อุณหภูมิห้อง (25°C) ได้ผลสรุปไว้ในตารางข้างล่างนี้ตลอดจนเปรียบเทียบกับค่าที่หามาได้จากการวิจัยของผู้อื่นด้วย

	สารตัวอย่าง(มวล mg)						
พารามิเตอร์	CuO(53)	NiO(34)	Mn ₂ O ₃ (39)	SnO ₂ (51)	H ₂ O(37)	Sn(11.3)	Y ₃ Fe ₅ O ₁₂ (0.3)
$\chi, 10^{-5}$ emu/gOe	3.00	8.94	89.3	-0.29	-0.72	0.03 white -0.3 gray	1750
$\chi, 10^{-6}$ emu/gOe	2.95	9.0	94	-0.3	-0.7	0.06 +0.04	1670

โดยมีภาพถ่ายแสดงเครื่องมือวัด โมเมนต์แม่เหล็กคังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสารเชิงซ้อน

สารประกอบเชิงซ้อน(Complex Compound)หรือสารประกอบโคออร์ดิเนต(Coordination Compound) เป็นสารประกอบที่เกิดจากพันธะชนิดโควาเลนต์ (Covalent Bond) โดยมีอะตอมกลางของโลหะ หรือเลทไฮออน ที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอนจากแอนไอออน หรือ โมเลกุลที่เป็นกลาง เรียกว่า ลิแกนด์ จำนวนพันธะที่เกิดขึ้นในสารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า โคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ (Coordination number)

สารประกอบเชิงซ้อนโดยทั่วไปประกอบด้วย

1. อะตอมกลาง

อะตอมกลาง คือ อะตอมของโลหะหรืออะตอมที่มีประจุบวก ซึ่งจะรับคู่อิเล็กตรอนจากแอนไอออน หรือ โมเลกุลที่เป็นกลางที่เรียกว่า ลิแกนด์ จำนวนพันธะที่เกิดขึ้นในสารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า โคออร์ดิเนชันนัมเบอร์

2. ลิแกนด์

ลิแกนด์ คือ โมเลกุลที่เป็นกลางหรืออะตอมที่มีประจุลบ ซึ่งมีคู่อิเล็กตรอนอิสระเช่น NH_3 หรือ Cl^- ลิแกนด์บางตัวอาจมีคู่อิเล็กตรอนมากกว่า 1 คู่ ดังนั้นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจึงสามารถเป็นได้ทั้งประจุบวก ประจุลบ หรือเป็นกลาง โดย ลิแกนด์ที่มีคู่อิเล็กตรอนอิสระ 1 คู่ เรียก โมโนเดนเทตลิแกนด์ (Monodentate Ligand) และถ้ามีคู่อิเล็กตรอนอิสระ 2 คู่เรียก ไบเดนเทตลิแกนด์ (Bidentate Ligand) ถ้ามีคู่อิเล็กตรอนอิสระมากกว่านั้นเรียก โพลีเดนเทตลิแกนด์ (Polydentate Ligand) ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากลิแกนด์ที่เป็นโพลีเดนเทตลิแกนด์ กับอะตอมของโลหะ จะได้สารประกอบเชิงซ้อนชนิดที่เป็นวง ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า สารประกอบเชิงซ้อนคีเลต และเรียกลิแกนด์นั้นว่า คีเลทิงเอเจนต์

ค่าคงตัวของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน(Complex Formation Constant, K)

โดยปกติสารประกอบเชิงซ้อนทุกตัวมีโลหะที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอนได้มากกว่า 1 คู่ ดังนั้นในการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ถ้ามีไอออนของโลหะละลายอยู่ในน้ำ โลหะนั้นจะถูกไฮเดรตด้วยโมเลกุลของน้ำ เพราะฉะนั้นแล้วค่าคงตัวของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนพิจารณาได้จากปฏิกิริยาการแทนที่ของลิแกนด์ที่แรงกว่าน้ำ

ค่าคงตัวของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เป็นค่าที่แสดงถึงความอยู่ตัว ของสารประกอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นถ้ามีค่ามากแสดงว่าสารประกอบที่ได้มีความอยู่ตัวสูง

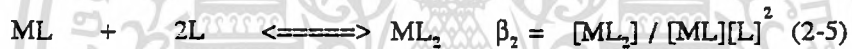
1. ค่าคงตัวของกาเกิดแบบขั้น (Stepwise Formation Constant ; K)

เนื่องจากสารเชิงซ้อนทุกตัวจะมีอะตอมกลางที่สามารถรับคู่อิเล็กตรอนได้มากกว่า 1 คู่ ในกรณีที่ลิแกนด์เป็นชนิดโมโนเดนเทตลิแกนด์ การเกิดสารประกอบก็จะเกิดแบบขั้น โดยแสดงดังสมการ



2. ค่าคงตัวของกาเกิดแบบรวม (Overall Formation Constant ; β)

คือกาหาค่าคงตัวทั้งหมดของแต่ละขั้นที่เกิดปฏิกิริยา โดยสามารถแสดงได้ดังสมการ



เมื่อ M แทน อะตอมกลาง

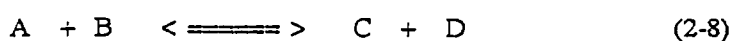
L แทน ลิแกนด์

ซึ่งค่าคงตัวทั้ง 2 แบบมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\beta = K_1 K_2 K_3 \dots K_n \quad (2-7)$$

ผลของความแรงของไอออนต่อค่าคงตัวของกาเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

ในการหาค่าคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อน ค่าความเข้มข้นที่ใช้ควรเป็นค่าแอกติวิตี (Activity) แทนค่าความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายเนื่องจากในปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จะมีสมดุลของปฏิกิริยาเกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อนสามารถแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ต่อสารตั้งต้น คือ

$$K = \frac{a_A a_D}{a_A a_B} \quad (2-9)$$

K คือค่าคงตัวสมดุลเทอร์โมไดนามิกส์ ต้องใช้ความเข้มข้นส่วนที่มีความไว (Active Concentration หรือ Activity) ของสารผลิตภัณฑ์หารด้วยความเข้มข้นส่วนที่มีความไวของสารตั้งต้น K เป็นค่าคงที่เฉพาะอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง ๆ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิค่าคงที่นี้จะเปลี่ยนไป ค่าแอกติวิตีสามารถเปลี่ยนให้มีความเข้มข้นเป็นหน่วยโมลาร์ ได้ดังนี้

$$K = \frac{f_c[C] \times f_d[D]}{f_A[A] \times f_B[B]} = \frac{f_c f_d [C][D]}{f_A f_B [A][B]} \quad (2-10)$$

เมื่อ f_i คือค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของสาร i

การวิเคราะห์หาปริมาณจะทำในสถานะที่สารละลายมีความเจือจางมาก ๆ ซึ่งสารละลายที่มีความเจือจางมาก ๆ นี้ ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีจะมีค่าเข้าใกล้ 1 ทำให้ค่า $f_c f_d / f_A f_B$ มีค่าประมาณ 1 ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายแทนค่าแอกติวิตีได้และสามารถแสดงค่าคงตัวสมดุลเทอร์โมไดนามิกส์ในเทอมของความเข้มข้นเป็น โมลาร์ของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

$$K = \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad (2.11)$$

เดบายและฮัคเคิล (Debye and Huckle) ได้แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีมีความสัมพันธ์กับประจุของไอออนทั้งหมดในสารละลาย โดยสามารถรายงานจำนวนของประจุไอออนทั้งหมดในสารละลายในเทอม ความแรงของไอออน (Ionic Strength : μ) ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้น ดังสมการ

$$\mu = 1/2 \times \sum (C_i Z_i^2) \quad (2.12)$$

เมื่อ C_i คือความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของไอออนที่มีประจุเป็น Z_i

ถ้าในสารละลายมีสารประกอบหลาย ๆ ชนิดปนกัน สามารถคำนวณค่าความแรงไอออนได้ โดยนำความเข้มข้นของแต่ละไอออนคูณกับกำลังสองของประจุแล้วนำมาบวกกันทุกตัว

แต่ในกรณีที่สารละลายที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นเจือจางเพียงพอ สามารถใช้ค่าความเข้มข้นของสารละลายแทนค่าแอกติวิตีได้และค่าคงตัวที่ได้จะเป็นค่าคงตัวเทอร์โมไดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Thermodynamic Formation Constant) เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่วัดได้นั้นขึ้นอยู่กับแอกติวิตีของไอออน ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทดลองผิดพลาดเนื่องจากการเทียบความเข้มข้นสารละลายที่ใช้ควรมีค่าความแรงไอออนเท่ากัน ทำได้โดยการทำสารละลายทุกตัวให้มีส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลต์คล้ายคลึงกันมากที่สุด ด้วยการเติมอิเล็กโทรไลต์เฉื่อยให้มากเกินพอและเท่ากัน ลงในสารละลายทุกตัวที่ต้องทำการทดลองวัดค่าศักย์ไฟฟ้า ซึ่งจะให้ความแรงไอออนมีค่าคงที่และค่าคงตัวที่วัดได้เมื่อความแรงไอออนคงที่จะเป็นค่าคงตัวของปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric Formation Constant)

โพเทนชิโอเมตริกไทเทรชัน(Potentiometric Titration)

1. วิธีโพเทนชิโอเมตริก (Potentiometric method)

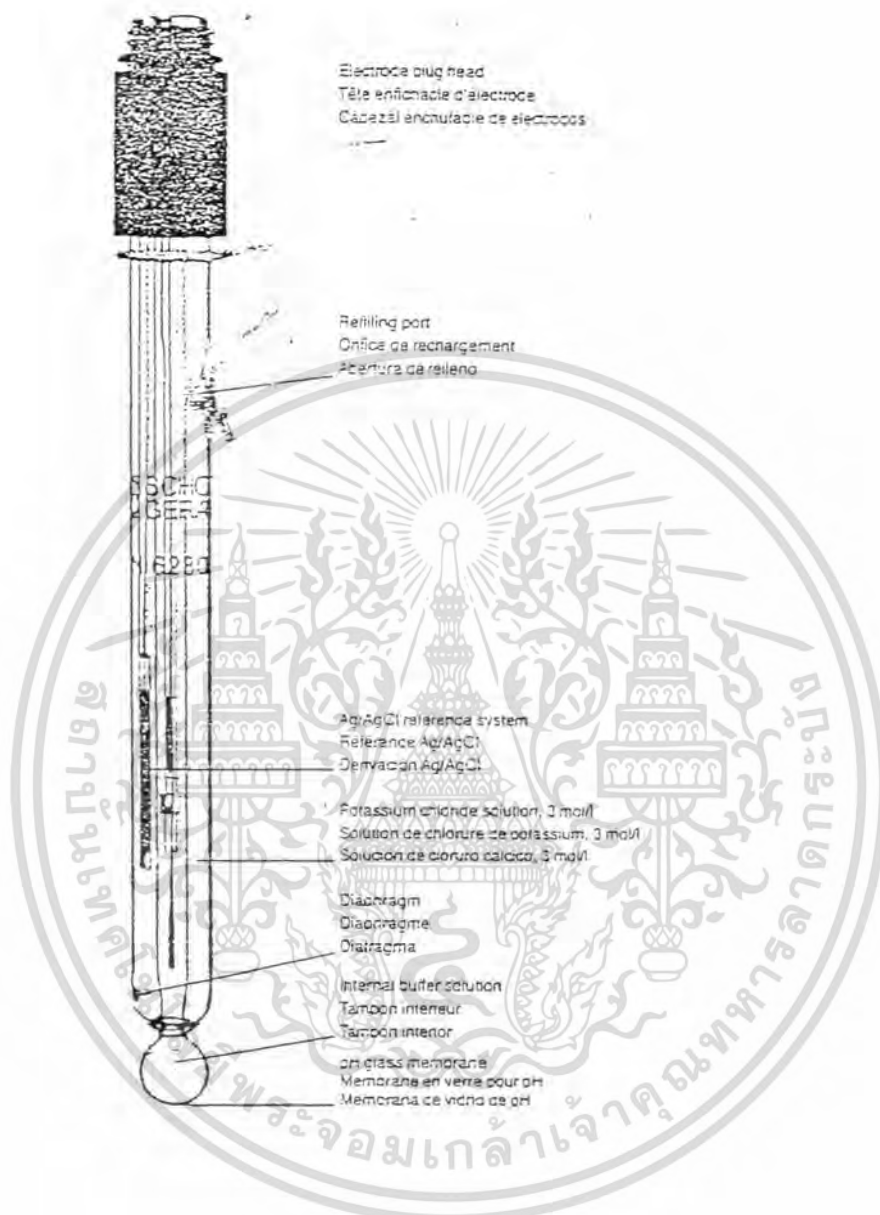
โพเทนชิโอเมตริก คือ วิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าโดยอิเล็กโทรดที่ไวต่อไอออนที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ ลักษณะของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้สำหรับวิธีการวิเคราะห์นี้คือ กัลวานิกเซลล์ โดยการใช้วิธีโพเทนชิโอเมตริกควบคู่กับการไทเทรต เรียกว่า โพเทนชิโอเมตริกไทเทรชัน

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ แบบกัลวานิกเซลล์ ขึ้นอยู่กับแอกติวิตีของไอออนที่ไวต่อขั้ว (electrode) ที่มีอยู่ในสารละลาย ดังนั้นจึงสามารถนำวิธีวัดนี้มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ แบบกัลวานิกเซลล์ ประกอบด้วยขั้ว (electrode) ที่ใช้ในการวัดของเซลล์ 2 ชนิดดังนี้

1. ขั้วชี้บอก(Indicator electrode) หรือ ขั้วทำงาน (Working electrode) เป็นขั้วของเซลล์ที่ไวต่อไอออนที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ
2. ขั้วอ้างอิง (Reference electrode) เป็นขั้วของเซลล์ที่ต้องไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย และต้องมีค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่

จากคุณสมบัติของขั้วอ้างอิง ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่วัดได้แปรผันโดยตรงกับค่าศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วชี้บอก หรือแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอออนในสารละลายนั่นเอง โดยทั่วไปขั้วชี้บอกจะถูกออกแบบให้มีความไวกับไอออนชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ มีชื่อเรียกทั่วไปว่า Ion Selective Electrode สำหรับ pH electrode หรือ Glass electrode จะถูกออกแบบให้มีความไวกับไฮโดรเจนไอออน(H^+) เท่านั้น ส่วนประกอบสำคัญของขั้วชนิดนี้ คือ glass membrane ทำหน้าที่เป็นผนังกั้นที่ยอมให้ไฮโดรเจนไอออนเพียงชนิดเดียวผ่านเข้าออก pH electrode



pH electrode โดยทั่วไปมีลักษณะคังรูป ซึ่งเป็นคอมบิเนชันอิเล็กโทรด ซึ่งประกอบด้วย ขั้วอ้างอิง ซึ่งทำด้วย Ag/AgCl จุ่มอยู่ในสารละลาย KCl 3M สารละลายนี้จะเชื่อมต่อกับสารละลาย ภายนอกที่คังการวัดโดยผ่านไลอะแผลรม สำหรับขั้วจับอก ประกอบด้วยหลอดแก้ว ที่แยกต่าง หากกับขั้วอ้างอิง ซึ่งข้างในจะประกอบด้วย ส่วนที่นำไฟฟ้าที่ ทำด้วย Ag/AgCl เช่นกัน จุ่มอยู่ใน กรด HCl และสามารถเชื่อมต่อกับสารละลายภายนอกที่คังการวัดโดยผ่าน glass membrane โดย membrane ชนิดนี้จะยอมให้ H^+ ผ่านเข้าออก คังนั้น pH electrode จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า glass electrode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดของ pH electrode ที่อาจมีผลต่อการวัดความเข้มข้นของ H^+

(1) ศักย์ไฟฟ้าที่ไม่สมมาตร (Asymmetry Potential) ถ้าสารละลายที่ต้องการวัดค่าพีเอช มีสมบัติเหมือนกับสารละลายภายใน pH electrode ทุกอย่างและผิวของ glass membrane ทั้งสองข้างก็มีส่วนประกอบและคุณสมบัติเหมือนกัน ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่วัดได้ควรมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่จากการวัดจริง ๆ พบว่า ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ (E^0) ไม่เป็นศูนย์ ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้นี้เรียกว่า “ศักย์ไฟฟ้าที่ไม่สมมาตร”

glass electrode ที่มีอายุการใช้งานนานจะพบว่า ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ไม่สมมาตรจะมีค่ามากขึ้น อย่างไรก็ตามผลของศักย์ไฟฟ้าสมมาตรที่เกิดขึ้นนี้ สามารถขจัดได้ด้วยการเทียบมาตรฐาน โดยใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชแน่นอน หรือใช้วิธีการไทเทรตกรด-เบส แทน

2. ดีไฮเดรชัน (Dehydration) ขั้ว glass ที่ใช้วัดพีเอชของสารละลาย ไม่ควรปล่อยให้แห้งจนผิวของ glass membrane ควรให้ถูกไฮเดรตตลอดเวลาด้วยสารละลายเกลือที่เป็นชนิดเดียวกัน และมีความเข้มข้นเท่ากับสารละลายภายในเอง (ในกรณีนี้ใช้สารละลาย KCl 3 โมล) มิฉะนั้นจะทำให้การวัดค่าพีเอชของสารละลายผิดพลาดได้

3. แวเรียชัน อิน จังก์ชัน โปเทนเชียล (Variation in junction potential) ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่รอยต่อของสารละลายอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ทำให้ค่าพีเอชที่วัดได้ไม่แน่นอน โดยอาจเปลี่ยนแปลงได้ถึง 0.01 หน่วยของพีเอช

4. ข้อผิดพลาดจากค่าพีเอชของสารละลายบัฟเฟอร์ ในการวัดค่าพีเอชของสารละลายทุกครั้งต้องมีการทำ อิเล็กโทรด คาลิเบรชัน (electrode calibration) ทุกครั้งด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน ถ้าสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการทำ calibration มีค่าผิดไป เนื่องจากการเก็บรักษาไว้ไม่ดี ทำให้ส่วนประกอบภายในเกิดการเปลี่ยนแปลง จะเป็นสาเหตุทำให้ค่าพีเอชที่วัดจากสารละลายผิดพลาดด้วย ดังนั้นในการกำจัดข้อบกพร่องเช่นนี้ และในกรณีที่ปรับค่า ionic strength ของการทำ electrode calibration และหาค่า ionic strength ของสารละลายให้ใกล้เคียงกัน (ionic strength ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าพีเอช และ อิเล็กโทรด พารามิเตอร์ ที่ได้ออกมาแตกต่างกันด้วย) จึงทำ electrode calibration ด้วยวิธีการไทเทรตกรด-ด่างซึ่งเป็นการวัดค่า ศักย์ไฟฟ้า (mv) โดยตรงและใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์คำนวณค่า E^0 , electrode slope และความเข้มข้น ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งค่าทั้งหมดเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณย้อนกลับเป็นค่าพีเอชได้

ศักย์ไฟฟ้าของขั้ว (Electrode Potential)

ศักย์ไฟฟ้าของขั้วหมายถึง พลังงานทางไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการทำให้ประจุลบเคลื่อนที่ มีระยะทางเท่ากับอนันต์ หรือ หมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการดึงประจุบวกจากอนันต์ให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วนั้น ปกติจะไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง แต่สามารถหาความแตกต่างระหว่างขั้ว 2 ขั้วได้ โดยนำขั้วทั้ง 2 ชนิดประกอบกันเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแล้ววัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ศักย์กึ่งไฟฟ้าที่ขั้ววัดที่ 25 °c และความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 1 หน่วยแอกติวิตีเรียกว่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วมาตรฐาน (Standard electrode potential, E°) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น และอุณหภูมิ ศักย์ไฟฟ้าของขั้วจะเปลี่ยนไปตามสมการของเนิสต์ (Nemst equation) ดังนี้

พิจารณาปฏิกิริยาคือ



$$E = E^\circ - 2.303[RT/nF] * \log[a_{red}/a_{ox}] \tag{2-14}$$

โดย

$$a_{red} = \gamma_{red}[A_{red}] \tag{2-15}$$

$$a_{ox} = \gamma_{ox}[A_{ox}] \tag{2-16}$$

แทนค่า a ลงในสมการ จะได้

$$E = E^\circ - 2.303[RT/nF] * \log[\gamma_{red}A_{red}/\gamma_{ox}A_{ox}] \tag{2-17}$$

ปกติในกรณีของ ไอออนชนิดเดียวกันค่า γ จะไม่แตกต่างกันมากนักถือว่า $\gamma_{red} = \gamma_{ox}$ จะได้

$$E = E^\circ - 2.303[RT/nF] * \log[A_{red}/A_{ox}]$$

(2-18)

- เมื่อ E = ศักย์ไฟฟ้า มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์
- E° = ศักย์ไฟฟ้าของขั้วมาตรฐาน มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์
- R = ค่าคงที่ของแก๊ส มีค่าเท่ากับ 8.314
- T = อุณหภูมิ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)
- F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์ มีค่าเท่ากับ 96,500 คูลอมบ์
- n = จำนวนอิเล็กตรอนที่ถ่ายเทในปฏิกิริยา
- [A_{red}] = ค่าความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์ มีหน่วยเป็นโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$[A_{ox}]$ = ค่าความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์ มีหน่วยเป็นโมลาร์

จากสมการของเนิร์นสต์ ทำให้สามารถคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วที่จุ่มในสารละลายที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิต่าง ๆ กัน เมื่อต้องการหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ก็สามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$E = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}} \quad (2-19)$$

สำหรับ combination electrode ที่รวมเอา indicator electrode เข้าด้วยกันโดยให้ขั้วที่มี glass membrane เป็นขั้วแอโนด และ ขั้ว Ag/AgCl เป็นขั้วแคโทด ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในเซลล์จะมีค่าดังนี้คือ

$$E = E_{\text{ref}} - E_{\text{Ag/AgCl}} + E_j + (V_2 - V_1) \quad (2-20)$$

E_j = ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของสารละลายระหว่างขั้ว E_{ref} กับสารละลายที่ต้องการวิเคราะห์

V_1 = ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อระหว่างกลาสเมมเบรนกับสารละลาย H^+ ที่ต้องการวิเคราะห์

V_2 = ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อระหว่างกลาสเมมเบรนกับสารละลาย H^+ ที่อยู่ในขั้วกลาส

เนื่องจาก E_{ref} , $E_{\text{Ag/AgCl}}$ และ E_j เป็นค่าคงที่ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จะมีค่าเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง V_2 กับ V_1 และค่า V_2 กับ V_1 จะมีค่าเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย เพราะเกิดการแลกเปลี่ยน H^+ ที่ผิวของกลาสเมมเบรน

ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าของผิวกลาสเมมเบรนทั้งสองข้างมีค่าน้อย จะได้ว่า

$$V_2 - V_1 = \text{constant} + 2.303 [RT/F] \log[1/H^+] \quad (2-21)$$

แทนค่าสมการ (2-21) ลงในสมการที่ (2-20) จะได้

$$E = E_{\text{ref}} - E_{\text{Ag/AgCl}} + E_j + \text{constant} + 2.303 [RT/F] \log[1/H^+]$$

จัดสมการใหม่ได้

$$E = k + 2303 [RT/F] \cdot \text{pH}$$

ค่า k คือ ค่าคงที่ที่สามารถคำนวณได้จากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่า pH ที่แน่นอน ในกรณีที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 1 หน่วยแอกทิวิตี ค่า pH จะเท่ากับ 0 ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่ได้ ก็คือศักย์ไฟฟ้าของเซลล์มาตรฐาน (E^0) นั่นเอง ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานที่อุณหภูมิใด ๆ ก็ตาม จะมีค่าเท่ากันเสมอ (ในทางปฏิบัติมักจะอนุโลมถือว่าค่า k ก็คือค่า E^0 ด้วย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพเทนเชียลเมตริกไทเทรชัน

คือวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิคของการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าควบคู่กับเทคนิคของการไทเทรต โดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายที่ถูกไทเทรตทุก ๆ ครั้งที่มีการเติมไทเทรนต์ลงไป แล้วนำข้อมูลที่วัดได้อันประกอบด้วยค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้และปริมาณไทเทรนต์ที่เติมลงไปพร้อมทั้งความเข้มข้นของสารที่ใช้ทั้งหมดและชุดแบบจำลองค่าคงตัวของสารประกอบเชิงซ้อน นำมาคำนวณโดยวิธี numerical method ก็จะสามารถหาสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นพร้อมค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาได้ โดยมีหลักการกว้าง ๆ ซึ่งจะอธิบายพร้อมโปรแกรม SUPERQUAD⁽²⁾ ดังต่อไปนี้

หลักการของโปรแกรม SUPERQUAD (SUPER)

โปรแกรม SUPERQUAD เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรนที่ได้รับการพัฒนา มาใช้ในการคำนวณค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อน โดยโปรแกรมนี้สามารถ ใช้คำนวณความเข้มข้นของสารตั้งต้น หรือค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของอิเล็กโทรดได้ด้วย โดยโปรแกรมเปิดทางเลือกให้เราสามารถกำหนดตัวแปรเหล่านี้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและให้ โปรแกรมคำนวณค่าออกมา หลักการของโปรแกรม SUPERQUAD มีดังต่อไปนี้

สำหรับสปีชีทางเคมี A, B, \dots แต่ละตัวที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีในสารละลาย จะมี ค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

เมื่อ A, B คือสารตั้งต้น (สำหรับโปรแกรมนี้มีได้ไม่เกิน 4 ตัว)

$[A], [B]$ คือความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เป็นอิสระแต่ละตัว

สมการสมดุลของมวล (mass-balance equation) ที่จะสอดคล้องกับสปีชีทางเคมีและค่า คงที่ของการเกิดปฏิกิริยา จากสมการที่ (9) จะเป็น

T_A, T_B, \dots คือความเข้มข้นทั้งหมดของสาร A, B, \dots ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาโดยสมมติว่า จำนวนสปีชีที่มีทั้งหมดเท่ากับ k

ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เป็นอิสระ $[A], [B], \dots$ อย่างน้อยหนึ่งตัวจะถูกวัดหาปริมาณ โดยตรงโดยอิเล็กโทรดที่ไวต่อสารนั้น ๆ (ในการทดลองนี้ใช้ pH อิเล็กโทรดวัด H^+ เพียงตัวเดียว) โดยวัดค่าศักย์ไฟฟ้าทุก ๆ จุดของสมการ (10) ที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ T_A, T_B, \dots อันเนื่อง มาจากการไทเทรต

การแก้สมการที่ (10) โดยวิธี numerical method ตามเอกสารอ้างอิง 2 จะทำให้สามารถค่าตัวแปรที่ต้องการเช่นค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยา (β) หรือค่าความเข้มข้น TA, TB... ได้

เนื่องจากสมการ (10) จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อมีแบบจำลองของระบบสมดุลที่สมเหตุผล ซึ่งการคาดคะเนว่าในระบบปฏิกิริยาที่กำลังศึกษาอยู่จะมีสปีชีส์ใดในระบบสมดุลบ้างสามารถทำได้ โดยทำการศึกษาปฏิกิริยานั้นอย่างลึกซึ้งเท่านั้น ในทางปฏิบัติทำได้โดยอาศัยการศึกษาปฏิกิริยาที่ใกล้เคียงและอาศัยหลักการทางสถิติเข้าช่วย

หลักการของโปรแกรม ELECTRODE CALIBRATION (ELE)

โปรแกรม ELE เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทำ electrode calibration สมการหลักที่ใช้สำหรับโปรแกรมนี้อคือสมการ extended nernst equation ซึ่งมีดังนี้คือ

$$E = E^0 + S_L \log[H^+] + A[H^+] + B/[H^+]$$

เมื่อ E คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ (มิลลิโวลต์)

E^0 คือ ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของขั้วเล็กโทรด (มิลลิโวลต์)

S_L คือ ความชัน (มีค่าเท่ากับ RT/nF)

A คือ ค่า Acid correction factor

B คือ ค่า Base correction factor

สำหรับการไทเทรตที่ยังอยู่ในช่วงเป็นกรดและก่อนถึงจุดยุติ $[H^+]$ คำนวณได้จาก

$$[H^+] = (C_A V_A - C_B V_B) / (V_A + V_B)$$

เมื่อผ่านจุดยุติไปแล้ว และอยู่ในช่วงเป็นด่าง $[H^+]$ คำนวณได้จาก

$$[H^+] = 10K_w / ((C_A V_A - C_B V_B) / (V_A + V_B))$$

เมื่อ V_A, V_B คือ ปริมาตรของกรดและเบสที่ใช้

C_A, C_B คือ ความเข้มข้นของกรดและเบสที่ใช้ และ K_w เป็นค่าคงที่ของการแตกตัวของน้ำตามสมการ $H_2O = 2H^+ + O^{2-}$ ซึ่งมี $\log(K_w) = 14$ ที่สภาวะมาตรฐาน หรือมีค่า 13.50 ที่ความเข้มข้นของสารละลาย KNO_3 0.15 M และอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส A และ B คือ acid correction และ base correction ในกรณีที่ electrode ไม่เป็นเส้นตรงตาม nernst equation

จากสมการ 11 - 13 สามารถทำให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$E = f(E^0, S_L, C_A, C_B, V_A, V_B, K_w)$$

ตัวแปรทั้งหมด 8 ตัวจากสมการ 14 มี E และ V_B เราสามารถวัดได้ในขณะทำการไทเทรต C_A, C_B และ V_A เป็นค่าที่หาได้จากการเตรียมสารละลาย ดังนั้นทำให้เราสามารถคำนวณหาค่าของ E^0 และ K_w ได้ ในกรณีที่มิข้อมูลจากการไทเทรตมากพอ เราเพียงแต่วัดค่า E^0 และ K_w ให้มากพอเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็สามารถคำนวณตัวแปรที่เหลือคือ E^0, S_L, C_A, C_B และ K_w ออกมาได้ ในการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (E) เราจะใช้ glass electrode เป็นตัววัดเมื่อทำการไทเทรตด้วยสารละลายค่าคง (เดิม V_B) ค่าความเข้มข้นของโปรตอน $[H^+]$ จะเปลี่ยนไป ทำให้ค่า E ที่อ่านได้เปลี่ยนแปลง

ข้อดีของการใช้โปรแกรม ELE คือ ทำให้ได้ค่า E^0 และ S_L อยู่ในเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับสภาวะการทดลองมากขึ้น (เช่นค่าความแรงไอออน และอุณหภูมิ) และสามารถตรวจสอบความเข้มข้นของกรด หรือค่าตัวใดตัวหนึ่งได้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

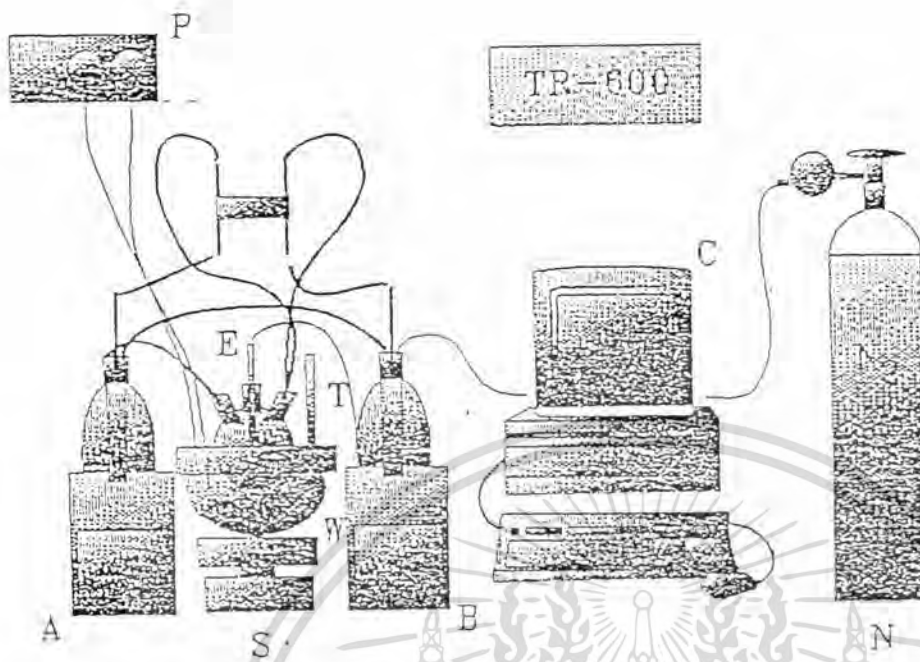
อุปกรณ์ และ เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่อง Autometric titration พร้อมพีเอชมิเตอร์และอิเล็กโทรดของ Schott รุ่น TR-600
2. เครื่อง Computer รุ่น 496 DX-33 พร้อมเครื่องพิมพ์
3. เครื่องชั่งละเอียด
4. เครื่องพีเอชมิเตอร์
5. เครื่องกวนสารละลายโดยใช้แรงทางแม่เหล็กพร้อมแท่งแม่เหล็ก
6. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ
7. อ่างน้ำร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้พร้อมปั๊มน้ำขนาดเล็ก
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. เครื่องมือวัดการดูดกลืนแสงรุ่น UV-160 บริษัท Shimadzu
10. ถังแก๊ส ไนโตรเจนพร้อมมาตรวัดความดันและวาล์วควบคุมความดัน
11. ขวดสามคอปริมาตร 50 ml
12. ไมโครปิเปตขนาด 250 ml

รูปเครื่องมือ

การจัดชุดเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง สำหรับวิธีโพเทนซีโอเมตริกไทเทรชันในการศึกษาโครงการ
ครั้งนี้ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3 - 1



อธิบายรูปที่ 3 - 1 ส่วนประกอบแต่ละส่วนคือ

- A : เครื่องไทเทรตอัตโนมัติรุ่น TR - 200 ที่สามารถให้ค่าละเอียดได้ถึง 0.001 มิลลิลิตร ในการทดลองใช้บรรจุกวนสารละลายกรดไนตริก 0.5 โมลาร์ ที่มีความแรงไอออน KNO_3 0.5 โมลาร์
- B : เครื่องไทเทรตอัตโนมัติ ซึ่งใช้บรรจุกวนสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ ที่มีความแรงไอออน KNO_3 0.5 โมลาร์
- C : เครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ใช้ควบคุมเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ TR - 200 ด้วยโปรแกรม TR - 200
- E : อีเล็กโทรด
- N : ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะให้ไหลผ่านสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วส่งต่อไปยังสารละลายกรดไนตริก และท้ายสุดก็จะปล่อยให้ไหลผ่านสารละลายที่ในขวด 3 ขวด ซึ่งขณะทำการทดลองจะทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนตลอดเวลา เพื่อให้อยู่ในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อย
- P : ป้อนน้ำพร้อมอย่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยการทดลองควบคุมไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส
- S : magnetic stirrer ใช้คู่กับ magnetic bar ในการปั่นกวนสารละลายให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
- T : เทอร์โมมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีที่ใช้

1. สารละลายของ Bis(pyridoxylidenehydrazino)phthalazine ;(DPDHP)
2. สารละลายกรดไนตริก 0.25 โมลาร์ ในโพแทสเซียมไนเตรต 0.5 โมลาร์
3. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต 0.5 โมลาร์ ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์
4. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต 0.5 โมลาร์
5. สารละลายของเฟอร์รัส(II)คลอไรด์ ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
6. สารละลายของเฟอร์ริก(III)ไนเตรตความเข้มข้น 0.1 โมลาร์
7. สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 แอมโมเนีย/แอมโมเนียมคลอไรด์
8. สารละลายมาตรฐานอีดีทีเอความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.10 โมลาร์
9. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.10 โมลาร์
10. สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที
11. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 โมลาร์ ในโพแทสเซียมไนเตรต
12. สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที
13. สารละลายอินดิเคเตอร์ซัลโฟซาลิซิลิกแอซิด 5% w/v
14. สารละลายบัฟเฟอร์ 0.2 M sodium acetate/0.2 M acetic acid

การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์
ชั่งผงโพแทสเซียมไนเตรต เกรดงานวิเคราะห์ที่ผ่านการอบที่ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงด้วยเครื่องชั่งละเอียดได้น้ำหนัก 10.1105 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น เพื่อปรับปริมาตรให้ได้ 2 ลิตร

จากการทดลองสารละลายโพแทสเซียมไนเตรตที่ได้มีความเข้มข้น 0.25 โมลาร์

2. สารละลาย 0.25 โมลาร์กรดไนตริกใน 0.5 โมลาร์โพแทสเซียมไนเตรต

ทำการเปิดสารละลายกรดไนตริกที่มีความเข้มข้น 70% โดยน้ำหนัก ความหนาแน่น 1.424 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรมา 31.66 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร เป็น 1 ลิตร นำไปผสมกับสารละลายโพแทสเซียมไนเตรตเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร

3. สารละลาย 0.25 โมลาร์โซเดียมไฮดรอกไซด์ใน 0.50 โมลาร์โพแทสเซียมไนเตรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการบีบอัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.50 โมลาร์มา 1 ลิตร ผสมกับสารละลายโพแทสเซียมไนเตรตความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ปริมาตร 1 ลิตร

4. สารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์

ชั่งผงแคลเซียมคาร์บอเนต เกรดงานวิเคราะห์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้น้ำหนัก 0.10009 กรัม 0.5045 กรัม และ 1.0009 กรัม ตามลำดับ นำไปละลายด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ให้ผงแคลเซียมคาร์บอเนตละลายหมด โดยใช้ปริมาณกรดน้อยที่สุดแล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

5. สารละลายมาตรฐานอีดีทีเอความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.10 โมลาร์

ชั่งอีดีทีเอ เกรดงานวิเคราะห์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมงด้วยเครื่องชั่งละเอียดได้น้ำหนัก 0.9307 กรัม, 4.6532 กรัม และ 9.306 กรัม ตามลำดับละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วเติมผงแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 0.03 กรัม, 0.15 กรัม และ 0.30 กรัม ตามลำดับ ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 250 มิลลิลิตร (การเติมแมกนีเซียมซัลเฟตเพื่อช่วยให้อินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที่ทำงานได้ดีขึ้น เห็นการเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจนขึ้น)

หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ ความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ตามลำดับ โดยนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.01, 0.05 และ 0.10 โมลาร์ที่เตรียมได้ ตามลำดับ โดยการบีบอัดสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตปริมาณ 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวย ปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 10 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 แอมโมเนีย/แอมโมเนียมคลอไรด์ เติมสารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที่ 2 - 3 หยด แล้วนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ แต่ละความเข้มข้นตามลำดับที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีอู่นแดงเป็นสีน้ำเงินที่ไม่มีสีแดงปน ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งแล้วนำมาคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอ

อัตราส่วนจำนวนโมลของการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายมาตรฐานแคลเซียมคาร์บอเนตและสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอมีค่าเท่ากับ 1:1

จากการทดลองสารละลายมาตรฐานอีดีทีเอที่เตรียมได้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 โมลาร์ 0.05 โมลาร์ และ 0.099 โมลาร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารละลายเฟอร์ริก (III) ในเตรทความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

ซึ่งผงเฟอร์ริก (III) ในเตรทโนนอะไฮเตรท เกรดงานวิเคราะห์ ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ด้วยเครื่องชั่งละเอียด ได้น้ำหนักขนาด 10.1069 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรจนครบปริมาตร

หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอร์ริก(III)ในเตรท โดยปีเปตสารละลายเฟอร์ริก (III)ในเตรท(0.05 โมลาร์) มา 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และปรับพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 2 - 3 โดยใช้เครื่องมือวัดพีเอช เติมสารละลายอินดิเคเตอร์ซัลโฟซาลิไซลิกแอซิด จากนั้นนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานอิตีที่เอที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน (0.05 โมลาร์) ทำการไทเทรตจนกระทั่งสีแดงของสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองแสดงว่าใกล้ถึงจุดยุติ ให้หยดสารละลายอิตีที่เอลง ไปอีก 1 หยด สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นเหลือง แสดงว่าถึงจุดยุติ

อัตราส่วนจำนวน โมลของการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเฟอร์ริก (III) ในเตรทและสารละลายมาตรฐานอิตีที่เอเท่ากับ 1:1 หรือ $1 \text{ ml } 0.05\text{M EDTA} = 2.793 \text{ mg Fe}$ ค่าที่คำนวณได้สามารถเทียบกลับเป็นเมื่อใช้สารละลายมาตรฐานอิตีที่เอที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ได้

จากการทดลองสารละลายเฟอร์ริก (III)ในเตรทที่เตรียมได้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.1 โมลาร์

7. สารละลายบัฟเฟอร์ทีเอช 10 แอมโมเนีย/แอมโมเนียมคลอไรด์

เตรียมโดยปีเปตสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 142 มิลลิลิตร เติมนลงในเกลือแอมโมเนียมคลอไรด์เกรดงานวิเคราะห์ 17.5 กรัม ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 250 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร

8. สารละลาย DPDHP เข้มข้น 0.1 mol/l

9. สารละลายเฟอร์ริก (II) คลอไรด์ ชั่งน้ำหนัก 1.9881 g เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรครบ 100 ml

10. สารละลายอินดิเคเตอร์เอริโอโครมเบลคที

11. สารละลายอินดิเคเตอร์ซัลโฟซาลิไซลิกแอซิด 5% w/v

ซึ่งอินดิเคเตอร์ซัลโฟซาลิไซลิกแอซิดของแข็งน้ำหนัก 1.2530 g นำมาละลายน้ำและทำการปรับปริมาตรให้ได้เป็น 25 ml

13. สารละลายบัฟเฟอร์ 0.2 M sodium acetate/0.2 M acetic acid เพื่อใช้ในการปรับค่าพีเอช ประมาณ 3 โดยทำการชั่งโซเดียมอะซิเตตมา 1.6413 กรัม นำมาปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วย น้ำกลั่นและนำมาปริมาณ 7.5 ml เพื่อละลายในกรดอะซิติกปริมาณ 92.5 ml

วิธีการทดลอง

เลือกเงื่อนไขการทดลอง โดยให้ทำการทดลองครั้งนี้ กระทำภายใต้อุณหภูมิ 37°C ด้วยค่า ความแรงไอออนมีค่าเท่ากับ 0.5M KNO₃ .

1. การทำ Electrode Calibration

1.1 เตรียมสารละลาย 0.5 M KNO₃ จำนวน 25 ml ลงใน titration vessel ต่อท่อ HNO₃ , NaOH และ electrode ให้จมลงในสารละลายใน titration vessel ใช้ magnet bar กวนสารละลาย ด้วยความเร็วพอเหมาะ

1.2 ใช้เครื่อง automatic titrator โดยผ่านโปรแกรม tr600 คำสั่งที่ใช้กับโปรแกรม tr600 มีตามลำดับดังนี้

```
c:\ > tr600<enter>
```

โปรแกรมเข้าสู่ Logo menu ของ tr600 ให้<enter> อีกครั้ง โปรแกรมจะเข้าสู่ Login menu ซึ่งต้องใช้ username และ password ดังนี้

```
username : sysop<enter>
```

```
password : kmittl<enter>
```

โปรแกรมเข้าสู่ main menu

กด F2 (method list)

```
เลือก ecal<enter>
```

โปรแกรมจะเข้าสู่ menu คำสั่งของ method ecal

กด F1 (start)

โปรแกรมจะแสดง samplename documentation และ comments documentation แล้วให้พิมพ์ข้อความดังต่อไปนี้โดยไม่ให้เกิดพลาด

บรรทัดที่ 1 พิมพ์ e23a9701

บรรทัดที่ 2 พิมพ์ ves[wat=20.0, aco0=0.25, acv=2.0],

บรรทัดที่ 3 พิมพ์ bur[bco1=-0.25],ele[eze1=420]

กค F1

โปรแกรมนี้จะเติม 0.25 M HNO₃ จำนวน 2 ml และทำการไตเตรตสารละลายกรดนี้ด้วยสารละลาย 0.25 M NaOH โดยอัตโนมัติ จนกระทั่งถึงช่วง pH ประมาณ 12-13 หน่วยหรือเติม NaOH ลงไปประมาณ 4 ml เครื่องจะหยุดและพิมพ์ข้อมูลทุกอย่างออกมาที่เครื่องพิมพ์

ไตเตรตข้อมูลชุดอื่นต่อโดยเริ่มต้นใหม่ที่ main menu หรือออกมาจากโปรแกรม cr600 โดยการกด F4 (return to main menu) และ F5 (quit)

ใน sample name documentation และ comments documentation ข้างบนจำนวนทั้งหมด 3 บรรทัด จะเป็นกลุ่มคำสั่งที่จะช่วยเปลี่ยนข้อมูลของโปรแกรม cr600 โดยโปรแกรม DCO ให้เป็น input สำหรับ โปรแกรม ELE เพื่อคำนวณหา electrode parameters ต่อไป ความหมายของคำสั่งต่าง ๆ มีดังนี้

1. e10a9701 เป็นชื่อ input ไฟล์ของข้อมูลที่ได้จากการไทเทรตชุดนี้สำหรับโปรแกรม ELE จะต้องเป็นภาษาอังกฤษและตัวเลขรวมกันครบ 8 ตัวพอดีดังตัวอย่าง

e คือ electrode

10 หมายถึง วันที่ 10

a หมายถึง เดือน มกราคม

97 หมายถึง ปี 1997

01 หมายถึง ข้อมูลชุดที่ 1 (ในกรณีข้อมูลชุดต่อไปก็จะเป็น 02, 03,...)

2. ves [wat = 20.0, aco0 = 0.25, acv = 2.0],

ves [. .] หมายถึงกลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารละลายใน titration vessel ซึ่งมีดังต่อไปนี้

wat = 20.0 หมายถึง ปริมาตรตั้งต้นทั้งหมด ประกอบด้วย สารละลาย KNO₃ 0.5 M จำนวน 20 ml

aco0 = 0.25 หมายถึง จำนวน มิลลิโมลของ HNO₃ ที่มีใน titration vessel ใช้เลข 0 หมายถึงความเข้มข้นของกรด HNO₃ จะมีค่าคงที่เป็น 0.25 ตลอดการคำนวณ

acv = 2.0 หมายถึง ปริมาณ HNO₃ ที่มีใน titration vessel

3. bur[bco1 = -0.25]

bur[. .] หมายถึงกลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารละลายใน buret ซึ่งมีดังต่อไปนี้

bco1 = -0.25 หมายถึงความเข้มข้นในหน่วย molar ของ NaOH ส่วนเครื่องหมาย - หมายถึง base ส่วน bco1 เลข 1 คือ runnung key

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ele[eze1 = 400.0]

ele[. .] หมายถึงกลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวกับ electrode ซึ่งมีดังต่อไปนี้

eze1 = 400.0 หมายถึงค่าที่เคาะตั้งต้นสำหรับ E^0 ส่วนเลข 1 คือ running key เพราะเราต้องการคำนวณหาค่า E^0

(2) ไทเทรตหาค่า protonation constant ของ DPDHP

2.1 เตรียมสารละลาย DPDHP ความเข้มข้น 1 mM และมีค่า ionic strength เท่ากับ 0.5 M KNO_3 จำนวน 25 ml ลงใน titration vessel ต่อท่อ HNO_3 , $NaOH$ และ electrode ให้จุ่มลงในสารละลายใน titration vessel ใช้ magnet bar กวนสารละลายด้วยความเร็วพอเหมาะ

2.2 จาก main menu

กด F2 (method list)

เลือก atob <enter>

เป็นการไทเทรตจากช่วง acid ไปหาช่วง base โปรแกรมจะเข้าสู่ menu ตามคำสั่งของ method atob

กด F1 (start)

โปรแกรมจะแสดง sample name documentation และ Comments Documentation แล้วให้พิมพ์ข้อความดังต่อไปนี้โดยไม่ให้ผิดพลาด

บรรทัดที่ 1 พิมพ์ d10a9701

บรรทัดที่ 2 พิมพ์ ves[wat=17.6, aco0 = 0.25, acv = 2.0],

บรรทัดที่ 3 พิมพ์ bur[bco0 = -0.25], ele[eze1 = 400.0]

กด F1

โปรแกรมนี้อาจเติม 0.25 M HNO_3 จำนวน 2 ml และทำการไทเทรตสารละลายนี้ด้วยสารละลาย 0.25 M $NaOH$ โดยอัตโนมัติ จนกระทั่งถึงช่วง pH ประมาณ 12 - 13 หน่วย หรือเติม $NaOH$ ลงไปประมาณ 4 ml เครื่องจะหยุดและพิมพ์ข้อมูล ทุกอย่างออกมาที่เครื่องพิมพ์

ความหมายของคำสั่งใน sample name documentation และ Comments documentation เหมือนกันกับกรณีทำ electrode calibration เพิ่มขึ้นมาคือคำสั่ง llc1 = 0.1 ในกลุ่ม ves[. .] จะหมายถึง ligand ในที่นี้คือ DPDHP ที่มีความเข้มข้น 1.00 mM เลข 1 หลัง llc1 คือ running key

2.3 ทำการไทเทรตย้อนกลับจากข้อมูลชุด d10a9701 สารละลายที่ใช้ก็ยังคงเป็นของชุด d10a9701 ชุดเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ

จาก main menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กด F2 (method list)

เลือก btoa < enter >

เป็นการไทเทรตจากช่วง base ไปหาช่วง acid โปรแกรมจะเข้าสู่ menu คำสั่งของ method btoa

กด F1 (start)

โปรแกรมจะแสดง sample name documentation และ Comments documentation แล้วให้พิมพ์ข้อความดังต่อไปนี้โดยไม่ให้คิดผลาค

บรรทัดที่ 1 พิมพ์ d10a9701

บรรทัดที่ 2 ว่าง

บรรทัดที่ 3 ว่าง

บรรทัดที่ 4 ว่าง

กด F1

โปรแกรมจะทำการไทเทรตด้วยสารละลาย 0.25 M HNO₃ ลงไปประมาณ 4 ml เครื่องจะหยุดและพิมพ์ข้อมูลทุกอย่างออกมาที่เครื่องพิมพ์

ใน sample name documentation และ comments documentation พิมพ์คำสั่งแค่บรรทัดที่ 1 (ข้อความ d10a9702, from=d10a9701) บรรทัดอื่นปล่อยให้ว่าง โปรแกรม DCO ที่จะใช้ภายหลังจะสร้าง input file สำหรับโปรแกรม SUPER คือไฟล์ d10a9702 โดยจะใช้ข้อมูลต่อเนื่องมาจากชุดแรกคือไฟล์ d10a9701 โดยอัตโนมัติ

การคำนวณ

1. เปลี่ยนข้อมูลจากโปรแกรม TR600 ให้เป็นอินพุทของโปรแกรม ELE และ SUPERQUAD โดยใช้โปรแกรม DCO มีคำสั่งดังนี้

C:\>dco <enter>

โปรแกรมจะเปลี่ยนข้อมูลจาก TR600 เป็นข้อมูลอินพุทของโปรแกรม ELE ดังนี้

e24a9701 ไปเป็น e01

โปรแกรมจะเปลี่ยนข้อมูลจาก TR600 เป็นข้อมูลอินพุทของโปรแกรม SUPERQUAD ดังนี้

d24a9701 ไปเป็น d01

d24a9702 ไปเป็น d02

d24a9703 ไปเป็น d03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d24a9704 ไปเป็น d04

2. การคำนวณหาอิเล็กโทรดพารามิเตอร์ (electrode parameter) โดยคำสั่ง ELE คือ

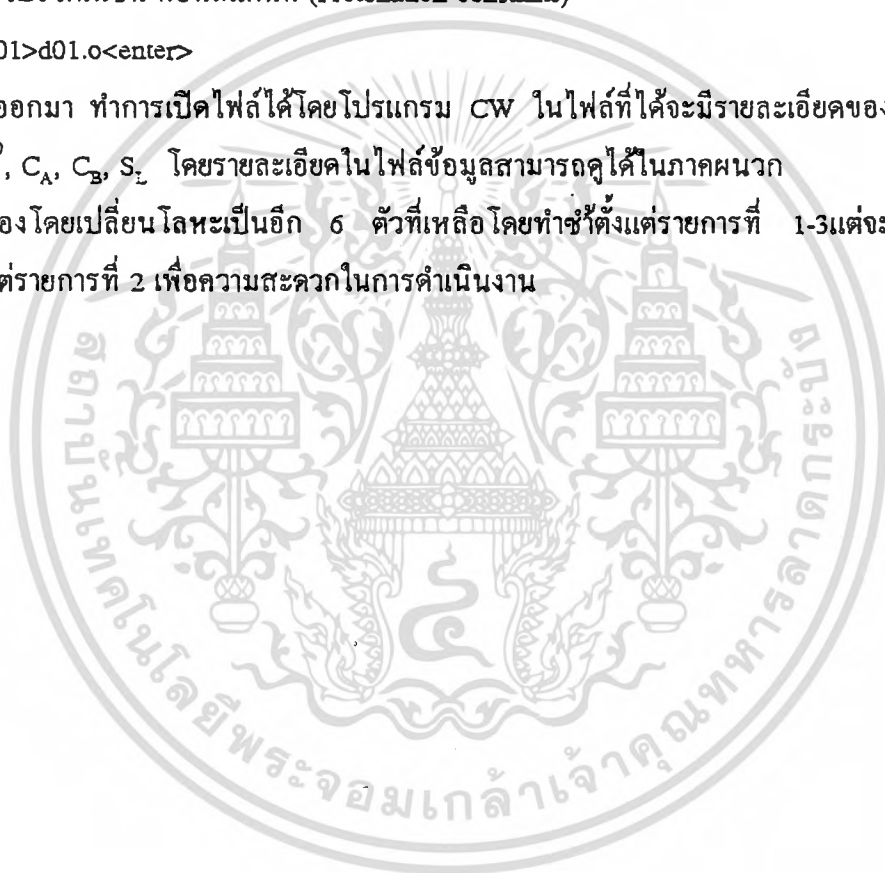
```
C:\> ele<e01>e01.o<enter>
```

จะได้ไฟล์ e01.a ออกมาสามารถเปิดไฟล์ดูเพื่อค่า E^0 ความเข้มข้นกรด หรือ เบสได้โดยใช้โปรแกรม CW และสามารถทำการแก้ไขเพื่อความถูกต้อง

3. การคำนวณหาค่าโปรโตเนชัน คอนสแตนต์ (Protonation constants)

```
C:\> sb<d01>d01.o<enter>
```

จะได้ไฟล์ d01.o ออกมา ทำการเปิดไฟล์ได้โดยโปรแกรม CW ในไฟล์ที่ได้จะมีรายละเอียดของข้อมูลต่าง ๆ คือ E^0 , C_A , C_B , S_2 โดยรายละเอียดในไฟล์ข้อมูลสามารถดูได้ในภาคผนวก จากนั้นทำการทดลองโดยเปลี่ยนโลหะเป็นอีก 6 ตัวที่เหลือโดยทำซ้ำตั้งแต่รายการที่ 1-3 แต่จะเปลี่ยนชื่อไฟล์ตั้งแต่รายการที่ 2 เพื่อความสะดวกในการดำเนินงาน



บทที่ 4

ผลวิจัยและวิจารณ์

ผลการทดลองที่ได้จากการไทเทรต

1. ในการทำการทดลองแคริเบรทออิเล็กโทรด ข้อมูลที่ได้คือ ปริมาณไทเทรนต์ที่เติมลงไป ค่า pH และค่าศักย์ไฟฟ้าของสารละลายแต่ละจุดของการไทเทรต (ตารางที่ 4 และ กราฟที่ 1) นำข้อมูลที่ได้มาแปลงโดยใช้โปรแกรม DCO จะได้ข้อมูลสำหรับเป็นอินพุทของโปรแกรมการคำนวณ ELE จะได้เอาท์พุทออกมา (ภาคผนวก ก) ผลการคำนวณที่ได้มีดังนี้

1. ความเข้มข้นกรดไนตริก = 0.2500 โมลาร์
2. ความเข้มข้นสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ = 0.1917 โมลาร์
3. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน = 428.0567

2. การศึกษาปฏิกิริยาโปรโตเนชัน และดีโปรโตเนชันของ DPDHP

ในการศึกษาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยการไทเทรตสารละลาย DPDHP ในสารละลาย 0.5M โทเทสเชียมไนเตรตโดยทำการไทเทรตทั้งไป (กรด-เบส) และ กลับ (เบส-กรด) ข้อมูลที่ได้จากการไทเทรตแสดงได้ในตารางที่ 1 และกราฟที่ 2, 3 นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณโดยใช้โปรแกรม SUPERQUAD ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณประกอบด้วย ค่าคงที่ของการเกิดสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน(ตารางที่ 1) และกราฟแสดงการกระจายตัวของสปีชีส์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นดังกราฟที่ 10 เราสามารถอธิบายการเกิดสปีชีส์ต่าง ๆ ได้ดังสมการต่อไปนี้

(กำหนดให้ LH_4 แทน ลิแกนด์อิสระ DPDHP)

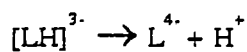
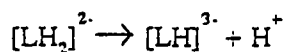
-การรับโปรตอนของ DPDHP สามารถรับโปรตอนได้ 2 ตัว :



-การปล่อยโปรตอน DPDHP สามารถปล่อยโปรตอนได้ 4 ตัว

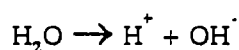


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\log \beta = -30.57953$$

-นอกจากนี้ในการทดลองยังเกิดการปลดปล่อยโปรตอนของน้ำอีกด้วยสมการ



$$\log \beta = -13.09303$$

จากการวัดการดูดกลืนแสงช่วง UV- visible ของสารละลาย DPDHP ที่ pH ต่างๆ ดังนี้ 1.5, 2, 3, 4.6, 7, 8.7 และ 12 ได้ผลการทดลองดัง กราฟที่ 15 ถึง กราฟที่ 21 สามารถนำข้อมูลที่ได้อมารวมกัน ดังกราฟที่ 34 พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงของการดูดกลืนแสงที่ pH ต่างๆ และจากข้อมูลการไทเทรตสารละลาย DPDHP เพื่อศึกษาปฏิกิริยาโปรโตเนชัน และ ดีโปรโตเนชัน (กราฟที่ 2,3) ซึ่งถูกคำนวณโดยโปรแกรม SUPERQUAD ได้ผลการคำนวณดังกราฟที่ 9 ซึ่งจะแสดงการกระจายตัวของสปีชีส์ต่างๆ ที่ pH ต่างๆ กัน จากกราฟทำให้ทราบว่าสปีชีส์ $[\text{LH}_2]^{2-}$ ที่ pH ≈ 2 มีปริมาณมากและจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่ง pH ≈ 4 จะลดลงจนหมด, สปีชีส์ $[\text{LH}]^{3-}$ จะเกิดที่ pH ≈ 2 มีปริมาณน้อยและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง pH ≈ 8 จะลดลงจนหมด เมื่อ pH ≈ 10 , สปีชีส์ $[\text{LH}_2]^{2-}$ ที่ pH ≈ 6 จะเริ่มเกิดขึ้นและเพิ่มขึ้นเรื่อย จนกระทั่ง pH ≈ 10 ก็จะลดลงจนหมดที่ pH ≈ 11.5 , สปีชีส์ $[\text{L}]^{4-}$ เริ่มเกิดขึ้นที่ pH ≈ 9 ละเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง pH ≈ 11.5 จะเพิ่มขึ้นสูงสุด ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า สปีชีส์ $[\text{LH}_2]^{2-}$ จะเกิดในช่วงกรด และ ช่วงเบส จะเกิดสปีชีส์ $[\text{LH}_2]^{2-}$ และ $[\text{L}]^{4-}$

3. การศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง DPDHP + Fe(II)

จากการไทเทรตสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) 0.25 ml ได้ข้อมูลดังกราฟที่ 6 นำข้อมูลที่ได้อมาคำนวณด้วย โปรแกรม SUPERQUAD จะได้กราฟการกระจายตัวของสปีชีส์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นดังกราฟที่ 6 จากกราฟพบว่า ที่ pH ประมาณ 5 เริ่มเกิดสปีชีส์ $\text{Fe}_2(\text{II})\text{L}$ และจะเกิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง pH ≈ 7 จะมีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก จากนั้นเมื่อ pH ≈ 8 จะลดลงจนหมด ส่วนสปีชีส์ $[\text{LH}_2]^{2-}$ จะเกิดในช่วงกรดและจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งที่ pH ≈ 5 สปีชีส์ $\text{Fe}(\text{II})(\text{OH})_2\text{L}$ จะเริ่มเกิดเมื่อ pH ≈ 7 และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งที่ pH ≈ 8 ถึง pH ≈ 11.5 , $[\text{L}]^{4-}$ เกิดขึ้นในช่วงเบส ที่ pH ≈ 8 และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งจนถึง pH ≈ 11.5 , $[\text{LH}_2]^{2-}$ เกิดในช่วง pH ≈ 7

จากการไทเทรตครั้งที่ 2, 3 โดยเพิ่มปริมาณ Fe (III) เป็น 0.5 ml จะได้ข้อมูลเหมือนกับครั้งแรก คือ สปีชีส์ $\text{Fe}_2(\text{II})\text{L}$ จะเกิดขึ้นในช่วง pH $\approx 5 - 8$ มีปริมาณมากที่สุดที่ pH ≈ 7 ส่วนสปีชีส์อื่น ๆ ก็เหมือนกับการไทเทรตครั้งแรก แต่ในส่วนของสปีชีส์ $[\text{LH}_2]^{2-}$, $[\text{L}]^{4-}$ จะไม่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำมาใช้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากได้เปลี่ยนไปเกิดในรูปของสปีชีส์ $Fe_2(III)(OH)_2L$ หมดที่ $pH \approx 7$ ทำให้ $Fe_2(III)(OH)_2L$ มีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก นั่นคือตั้งแต่ $pH \approx 8$ จะมีปริมาณ $Fe_2(III)(OH)_2L$ สูงสุดและจะคงที่จน $pH \approx 11.5$

และจากข้อมูลการดูดกลืนแสง (กราฟที่ 35) ก็พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นที่ $pH \approx 7$ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง ดังกราฟที่ 35

นอกจากนี้เมื่อนำสารประกอบเชิงซ้อน $DPDHP + Fe^{2+}$ ไปวัดค่าสัณฐานเคมีที่ pH ต่าง ๆ พบว่า ที่ $pH \approx 7$ จะแสดงสมบัติความเป็นแม่เหล็กอย่างโดดเด่น คือมีค่าสัณฐานเคมีเพิ่มขึ้น ประมาณ 9 เท่า ดังตารางที่ 1

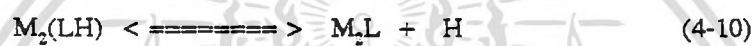
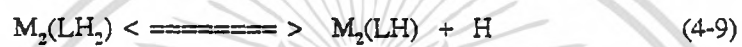
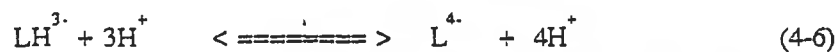
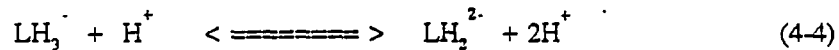
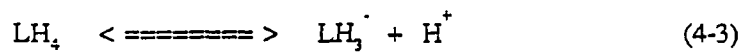
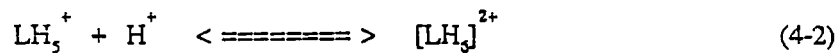
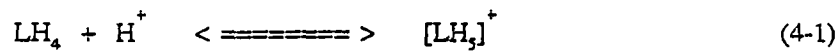
4. การศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง $DPDHP + Fe(III)$

จากการไทเทรตสารประกอบเชิงซ้อน $DPDHP + Fe(III)$ 0.25 ml จะได้ข้อมูลดังกราฟที่ 5 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณด้วยโปรแกรม SUPERQUAD จะได้กราฟการกระจายตัวของสปีชีส์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นดังกราฟที่ 13 จากกราฟพบว่าเกิดสปีชีส์สารเชิงซ้อน $Fe_2(III)L$ ที่ $pH = 3$ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนคงที่ในช่วง $pH = 4$ ถึง $pH \sim 7.5$ จากนั้นจะมีค่าลดลงจนหมดไปที่ $pH \sim 8$ ส่วนสปีชีส์ $[LH_2]^{2+}$ เริ่มเกิดขึ้นที่ $pH \sim 2$ และจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อ pH เพิ่มขึ้นจน $pH \sim 4.5$ จะมีค่าต่ำสุด, สปีชีส์ LH_2 จะเกิดในช่วง $pH \sim 3$ และลดลงจนต่ำสุดที่ $pH \sim 8$, สปีชีส์ $[Fe_2(III)(OH)_2L]$ จะเกิดในช่วง $pH \sim 5$ ถึง $pH \sim 8$, สปีชีส์ $[L^+]$ จะเกิดในช่วง $pH \sim 8$ ถึง $pH \sim 10$, สปีชีส์ $[LH_2]^{2-}$ จะเกิดในช่วง $pH \sim 5$ ถึง $pH \sim 9$

จากการไทเทรตครั้งที่ 2 โดยเพิ่มปริมาณ $Fe(III)$ เป็น 0.5 ml จะได้ข้อมูลคล้ายกับครั้งแรกคือ เกิดสปีชีส์สารเชิงซ้อน $Fe_2(III)L$ ที่ช่วง pH ประมาณ 4 ถึง pH ประมาณ 8 ซึ่งจะมีค่าสูงสุดที่ pH ประมาณ 7 แต่จะไม่เห็นสปีชีส์อื่น ๆ เลย และจากข้อมูลการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสง (กราฟที่ 36) ก็พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้นที่ pH ประมาณ 7 เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสง (ดังกราฟที่ 36)

จากการนำไปวัดค่าสัณฐานเคมี พบว่า สารประกอบเชิงซ้อน $DPDHP + Fe(III)$ ไม่มีสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

5. ดังนั้นจึงสามารถสรุปปฏิกิริยาการเกิดสปีชีส์ต่าง ๆ ได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและเสนอแนะ

จากการสังเคราะห์ สารประกอบเชิงซ้อนแม่เหล็กDPDHP(Bis-pyridoxylidene hydrazinophthalazine) กับไอออนของเหล็ก ที่สภาวะปกติ โดยใช้เทคนิคโพเทนซิอومتริกไทเทรชันและควบคุมสภาวะการทดลองให้มีความแรงไอออนของโพแทสเซียมในเตรท เท่ากับ 0.5 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ได้ค่าคงตัวเสถียรภาพการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสปีชีส์ต่าง ๆ ของ DPDHP + Fe(II) (กราฟที่ 10 ถึง 12) พบว่าสปีชีส์สารประกอบเชิงซ้อน $[Fe_2(II)L]$ ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่ pH ประมาณ 7 นอกจากนี้พบจากการวัดค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงยังทำให้ทราบว่าสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) ที่ pH 7 นี้มีสมบัติความเป็นแม่เหล็ก ส่วนสปีชีส์สารประกอบเชิงซ้อน $[Fe_2(III)]$ นั้นก็เกิดขึ้นที่ pH 7 เช่นเดียวกัน แต่ไม่มีสมบัติความเป็นแม่เหล็ก

แนวทางในการศึกษาต่อไป

1. ทำการทดลอง โดยเปลี่ยนชนิดของ โลหะเป็นชนิดอื่น ๆ เพื่อดูว่าจะเกิดผลอย่างไรและมีสมบัติเป็นแม่เหล็กหรือไม่
2. ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ชนิดอื่น ๆ เพื่อนำมาหาโครงสร้างที่แน่นอนของสารประกอบเชิงซ้อนนี้

ตารางที่ 1 แสดงค่าคงตัวเสถียรภาพของสปีชีส์ต่างๆ ของ DPDHP และ สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น

สปีชีส์	pH	ค่าคงตัวเสถียรภาพ
$[LH_6]^{2+}$	~ 2 - 4	7.87
$[LH_2]^{2-}$	~ 6 - 10	-13.44
$[L_4]^-$	~ 9 - 11.5	-30.58
$Fe_2(II)L$	~ 4 - 8	-20.00
$Fe_2(III)L$	~ 4 - 8	-10.00
$Fe_2(II)(OH)_2L$	~ 7 - 11.5	-30.00
$Fe_2(III)(OH)_2L$	~ 7 - 11.5	-20.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดงค่าแมกเนติกซ์เซพติบิลิตีของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II)
ที่ pH ต่าง ๆ กัน

	น้ำหนักสาร (กรัม)	χ , emu/g.oe
FeCl ₂	0.115	+0.55×10 ⁻⁶
FeCl ₂ + DPDHP ที่ pH = 2.0	0.059	+0.5×10 ⁻⁶
FeCl ₂ + DPDHP ที่ pH = 4	0.074	+0.51×10 ⁻⁶
FeCl ₂ + DPDHP ที่ pH = 7	0.022	+4.5×10 ⁻⁶
FeCl ₂ + DPDHP ที่ pH = 11	0.074	+0.95×10 ⁻⁶
น้ำบริสุทธิ์	0.13	-0.8×10 ⁻⁶
NiO เป็น standard	0.0092	+9×10 ⁻⁶

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้อจากการไทเทรตไป - กลับของ DPDHP

ml	pH	mv	ml	pH	mv
0.0000	1.9464	327.9744	0.0000	12.0740	-282.2722
0.0010	1.9522	327.7534	0.0010	12.0857	-283.9301
0.0153	1.9550	326.5560	0.0060	12.0606	-282.2354
0.2153	1.9577	326.2613	0.0245	12.0795	-283.1196
0.4153	1.9941	324.3823	0.2161	12.0637	-282.4012
0.6153	2.0359	321.3981	0.4161	12.0136	-279.0670
0.8153	2.1040	317.6771	0.6161	12.9293	-274.6091
1.0153	2.1456	314.9693	0.8161	11.8899	-272.0118
1.2153	2.1883	313.3581	1.0160	11.7454	-263.8513
1.4153	2.2412	310.3088	1.2161	11.7029	-260.8303
1.6153	2.3130	305.6667	1.4161	11.5597	-252.2646
1.8153	2.3524	301.9457	1.6161	11.4091	-242.5752
2.0153	2.4513	291.3773	1.8161	11.1095	-224.5412
2.2153	2.5240	292.6248	1.9252	10.8297	-207.5387
2.4153	2.6645	284.0775	1.9739	10.6510	-195.9889
2.6153	2.7934	275.2723	2.0024	10.1132	-164.6181
2.8153	2.9983	262.7641	2.0048	10.0896	-163.3102
3.0081	3.6294	226.4754	2.0113	10.1003	-164.5997
3.0419	3.6727	223.0675	2.1061	10.0099	-157.3971
3.1795	4.6611	159.1103	2.3061	9.2323	-109.2266
3.1899	5.0472	134.6658	2.3322	8.9543	-93.0714
3.1909	5.2916	120.4449	2.3380	8.8425	-85.1321
3.1919	5.5903	104.3082	2.3404	8.6633	-74.0427
3.1929	5.7699	92.8504	2.3414	8.5377	-67.2454
3.1939	5.9437	82.7558	2.3424	8.4070	-60.4297
3.1949	6.1761	68.9954	2.2434	8.2845	-52.5640
3.1959	6.3251	59.4902	2.3444	8.1892	-46.5219
3.1969	6.4901	51.2377	2.3454	8.1031	-41.5851
3.1979	6.6575	40.3141	2.3464	7.9873	-35.4325
3.1989	6.7760	33.2773	2.3474	7.8801	-28.4326
3.1999	6.9357	24.3616	2.3484	7.8138	-24.1037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2009	7.0890	14.1933	2.3494	7.7298	-19.7195
3.2019	7.1978	8.2249	2.3504	7.6223	-13.7328
3.2029	7.3468	0.1934	2.3514	7.5377	-7.5618
3.2039	7.4834	-8.8328	2.3524	7.4574	-2.1460
3.2049	7.5750	-14.7827	2.3534	7.3587	3.1960
3.2059	7.6834	-20.2906	2.3544	7.2488	9.0354
3.2069	7.8090	-27.2537	2.3554	7.1413	15.8696
3.2079	7.8835	-32.8536	2.3564	7.0634	21.3037
3.2089	7.9571	-36.7588	2.3574	6.9809	25.6695
3.2099	8.0716	-42.7456	2.3584	6.8645	32.0984
3.2109	8.1510	-48.4745	2.3594	6.7683	38.5825
3.2119	8.1969	-51.4034	2.3604	6.6807	44.4956
3.2129	8.2781	-54.9955	2.3614	6.5982	49.3035
3.2139	8.3655	-60.3560	2.3624	6.4937	54.5903
3.2149	8.0485	-64.2612	2.3634	6.3835	61.2586
3.2159	8.4522	-65.9007	2.3644	6.2928	67.0059
3.2169	8.5191	-68.7375	2.3654	6.2170	72.4585
3.2179	8.5576	-72.2374	2.3664	6.1404	76.3453
3.2189	8.5716	-73.3059	2.3674	6.0481	81.1716
3.2227	8.6382	-76.2532	2.3684	5.9495	87.1952
3.2254	8.6553	-77.3769	2.3694	5.8801	92.1504
3.2379	8.7164	-82.3321	2.3704	5.8154	96.5346
3.2564	8.8209	-87.5268	2.3714	5.7372	100.2003
3.2713	8.9128	-95.0793	2.3724	5.6501	104.7503
3.2843	9.0322	-101.7845	2.3734	5.5793	109.4476
3.2915	9.1599	-108.3976	2.3744	5.5286	113.2055
3.2944	9.2219	-111.6397	2.3754	5.4855	115.6554
3.2961	9.2766	-116.6686	2.3764	5.4235	119.0449
3.2972	9.3526	-119.5238	2.3774	5.3584	122.2685
3.2982	9.3755	-122.1580	2.3784	5.2906	126.2843
3.3	9.4210	-123.0422	2.3794	5.2347	130.4106
3.3016	9.4287	-124.9211	2.3804	5.1853	133.0447
3.3208	9.4977	-127.3711	2.3814	5.1654	135.0895
3.3501	9.5670	-132.7500	2.3837	5.1083	137.0052
3.4050	9.7900	-148.5735	2.3853	5.0796	140.0631

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4294	10.0441	-162.2728	2.3879	5.0212	14.2183
3.4354	10.1092	-165.3181	2.3898	4.9858	145.6815
3.4410	10.1339	-167.8786	2.3923	4.9348	147.6341
3.4625	10.2393	-172.9444	2.3945	4.9104	150.2682
3.4809	10.3343	-179.6495	2.3999	4.8212	154.3577
3.4980	10.3874	-182.5416	2.4029	4.7619	158.1155
3.5345	10.5179	-191.3468	2.4052	4.7311	160.4550
3.5641	10.6128	-196.8362	2.4093	4.6480	165.0418
3.5989	10.7191	-203.0993	2.4115	4.6138	167.7128
3.6364	10.8334	-209.3256	2.4148	4.5216	173.1101
3.6740	10.3874	-212.7703	2.4162	4.4913	175.0627
3.7498	11.0096	-218.9965	2.4182	4.4461	177.9732
3.8734	11.1837	-229.1464	2.4201	4.3676	181.5469
3.9930	11.3025	-236.0727	2.4211	4.3429	184.0706
4.1930	11.4833	-248.7831	2.4227	4.3297	184.1258
4.3930	11.5514	-251.9515	2.4312	4.2680	187.3495
4.5930	11.6480	-258.3619	2.4414	4.2519	189.4126
4.7930	11.7118	-262.5066	2.5414	3.9241	210.7992
4.9930	11.7802	-265.3066	2.5751	3.7210	222.9570
5.1930	11.8340	-269.8197	2.5886	3.6220	227.7464
5.3930	11.8639	-270.7408	2.5987	3.5234	234.5069
5.5930	11.9195	-273.1170	2.6053	3.4751	236.1463
5.7930	11.9366	-275.1433	2.6154	3.4217	239.9226
5.9930	11.9955	-278.9196	2.6318	3.3661	242.7226
6.1930	12.0285	-279.9880	2.6638	3.3102	245.1173
			2.7504	3.1782	253.1304
			2.8567	3.0616	261.6408
			3.0306	2.7454	279.6012
			3.1122	2.7088	281.8117
			3.3122	2.6263	287.7801
			3.5122	2.5341	292.6984
			3.7122	2.4324	298.8141
			3.9122	2.3823	302.4431
			4.1122	2.3184	306.1088
			4.3122	2.2534	309.4983

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	4.5122	2.2030
	4.7122	2.1767
	4.9122	2.1312
	5.1122	2.1007
	5.3122	2.0732
	5.5122	2.0390
	5.7122	2.0176
	5.9122	2.0072
	6.1122	1.9892



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลที่ได้จากการแคลิเบรทอิเล็กโทรด

ml	pH	mv	ml	pH	mv
0.0000	2.0466	323.2587	2.6363	5.4748	113.2423
0.0010	2.0252	322.3376	2.6373	5.5112	112.4318
0.0030	2.0265	322.1902	2.6383	5.5747	107.6792
0.2030	2.0359	321.6929	2.6393	5.5832	107.3108
0.4030	2.0759	319.1140	2.6473	5.6288	104.7687
0.6030	2.1615	314.4531	2.6620	5.7115	98.9293
0.8030	2.1663	314.0851	2.6770	5.8077	93.2188
1.0030	2.2366	309.7377	2.6893	5.9464	83.5294
1.2030	2.3105	305.1325	2.6946	6.1352	70.8375
1.4030	2.3319	303.9352	2.6956	6.3108	59.8218
1.6030	2.4308	297.5615	2.6966	6.5704	45.2509
1.8030	2.5182	292.4958	2.6976	6.7473	33.2036
2.0030	2.7262	280.9459	2.6986	6.9531	22.5195
2.1916	2.8181	275.1802	2.6996	7.1584	9.8828
2.3916	3.0839	258.1961	2.7006	7.2842	2.1829
2.5222	3.3319	241.7831	2.7016	7.4546	-6.5118
2.5986	3.7002	219.6228	2.7026	7.5820	-15.4275
2.6175	3.8975	207.7045	2.7036	7.6929	-21.2301
2.6234	4.0665	194.2020	2.7046	7.8468	-29.8879
2.6247	4.3288	178.5074	2.7056	7.9235	-35.6168
2.6257	4.5570	167.0313	2.7066	8.0301	-40.5535
2.6267	4.7418	155.3893	2.7076	8.1422	-48.0877
2.6277	4.8643	149.2551	2.7086	8.1972	-51.4771
2.6287	5.0228	139.7684	2.7096	8.3056	-56.6534
2.6297	5.0897	136.0842	2.7106	8.3719	-61.9402
2.6307	5.2085	129.8395	2.7116	8.4223	-64.0033
2.6317	5.2512	126.3948	2.7126	8.5209	-69.8980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6327	5.3151	123.8159	2.7136	8.5432	-72.0532
2.6337	5.3862	118.5659	2.7155	8.6309	-76.3821
2.6347	5.4113	117.6449	2.7165	8.6489	-78.3532
2.7191	8.7164	-82.5900	5.0002	11.9287	-273.2644
2.7206	8.7851	-85.5189	5.2002	11.9482	-275.7881
2.7216	8.7918	-86.6794	5.4002	11.9671	-275.9170
2.7331	8.8829	-91.2109	5.6002	11.9784	-278.5328
2.7421	8.9330	-95.3556	5.8002	12.0450	-280.9459
2.7573	9.0212	-99.6661			
2.7716	9.1321	-107.1450			
2.7809	9.1837	-109.4476			
2.7962	9.3019	-117.9396			
2.8055	9.3881	122.5264			
2.8126	9.5066	-130.5948			
2.8155	9.6025	-134.6105			
2.8166	9.6300	-136.5079			
2.8182	9.6868	-141.0947			
2.8192	9.7268	-142.1815			
2.8202	9.7931	-145.9393			
2.8212	9.8279	-149.4209			
2.8222	9.8419	-149.2919			
2.8260	9.8969	-152.4972			
2.8296	9.8911	-151.5393			
2.9273	10.1366	-168.7076			
2.9784	10.3541	-182.3758			
3.0007	10.7704	-204.1493			
3.0032	10.7650	-205.2545			
3.0645	10.8251	-308.1098			
3.2645	11.0771	-224.2465			
3.4059	11.2213	-231.4859			
3.6002	11.3792	-240.9358			

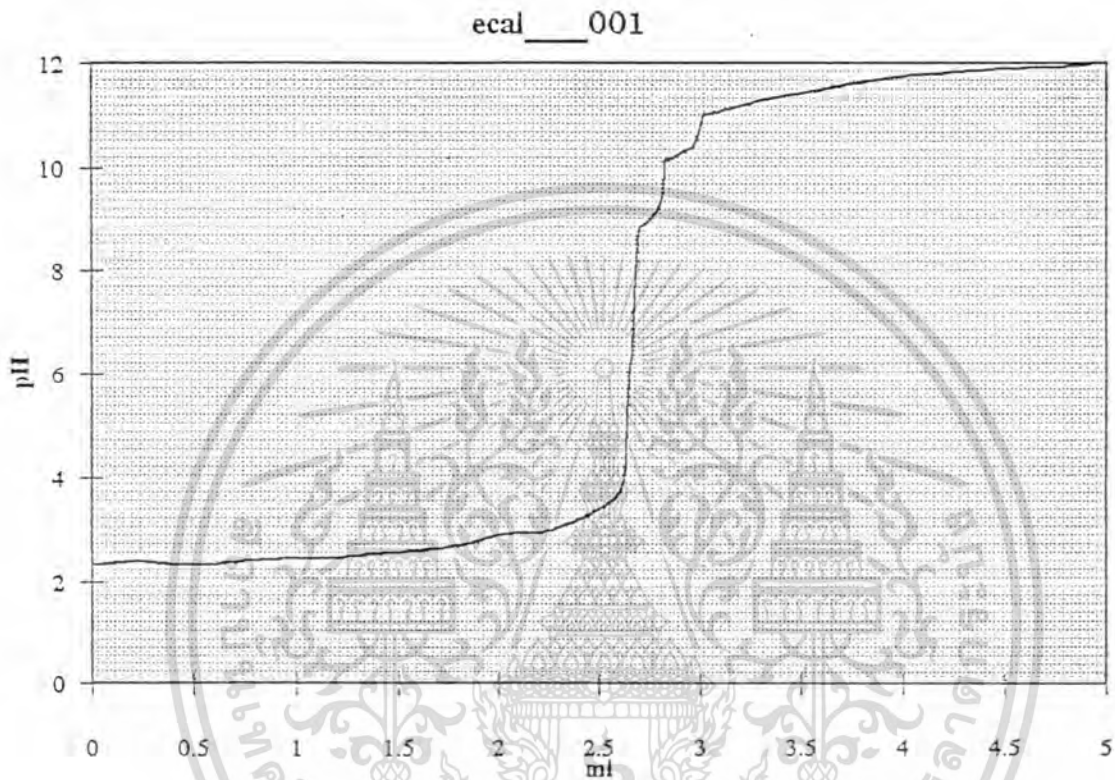


3.8002	11.4803	-248.5436	
4.0002	11.6568	-256.8330	
4.6002	11.7057	-260.6645	
4.8002	11.7637	-264.514	



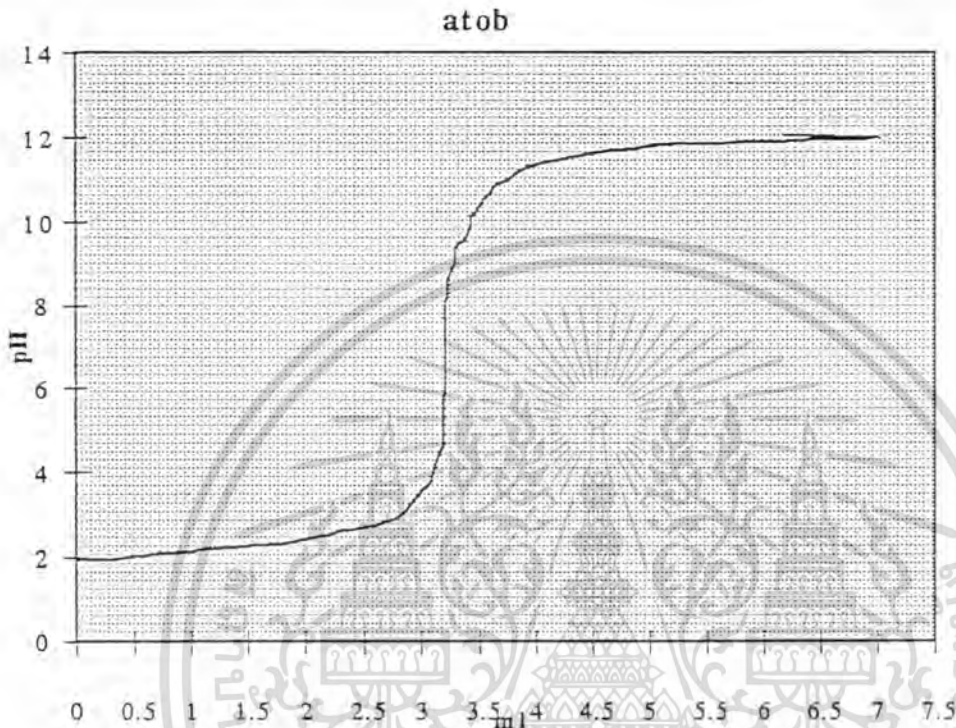
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 1 แสดงข้อมูลที่ใ้จากการทำแตรีเบรทอิลคโทรค



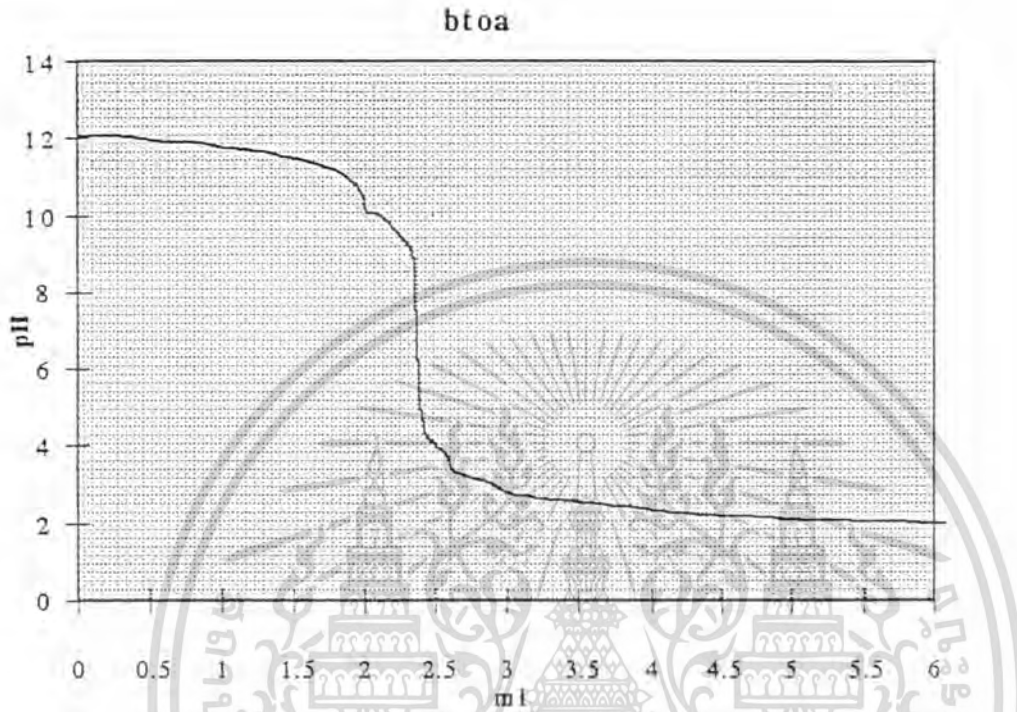
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาปฏิกิริยาโปรโตเนชันและดีโปรโตเนชัน จากกรด ไปเบส



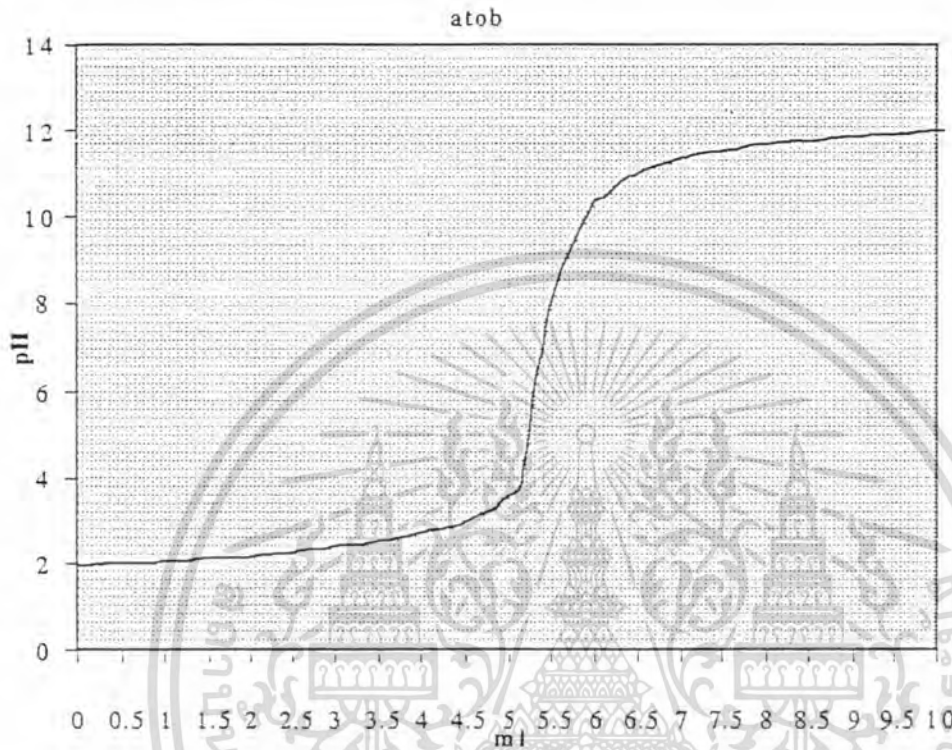
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาปฏิกิริยาโปรโตเนชันและ ดีโปรโตเนชัน จากเบสไปกรด



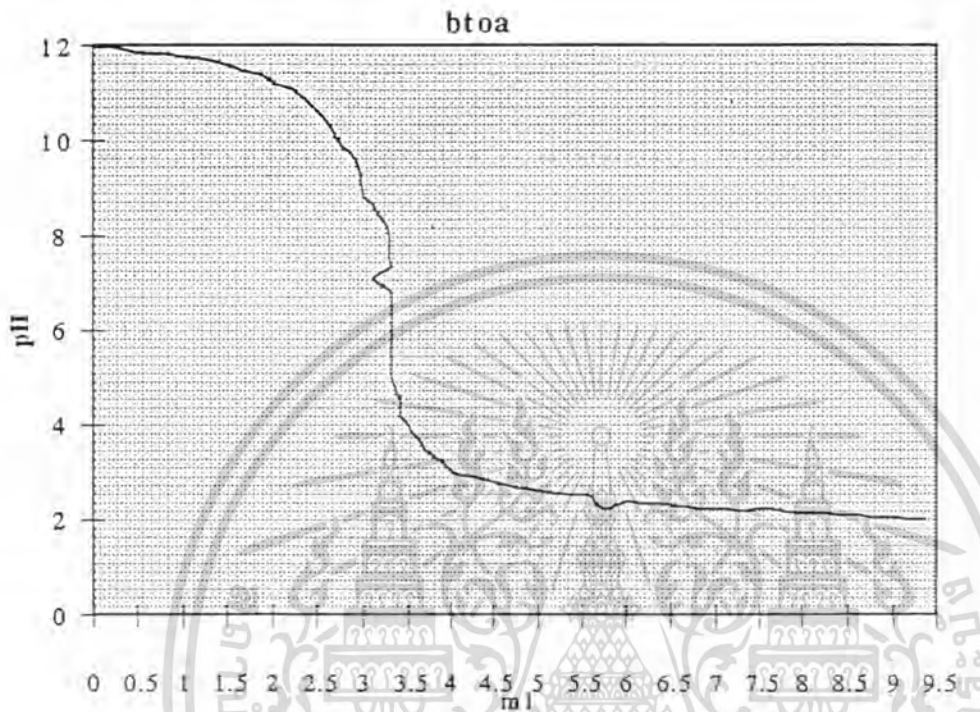
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4 แสดงข้อมูลที่ี้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(III) 0.25 ml



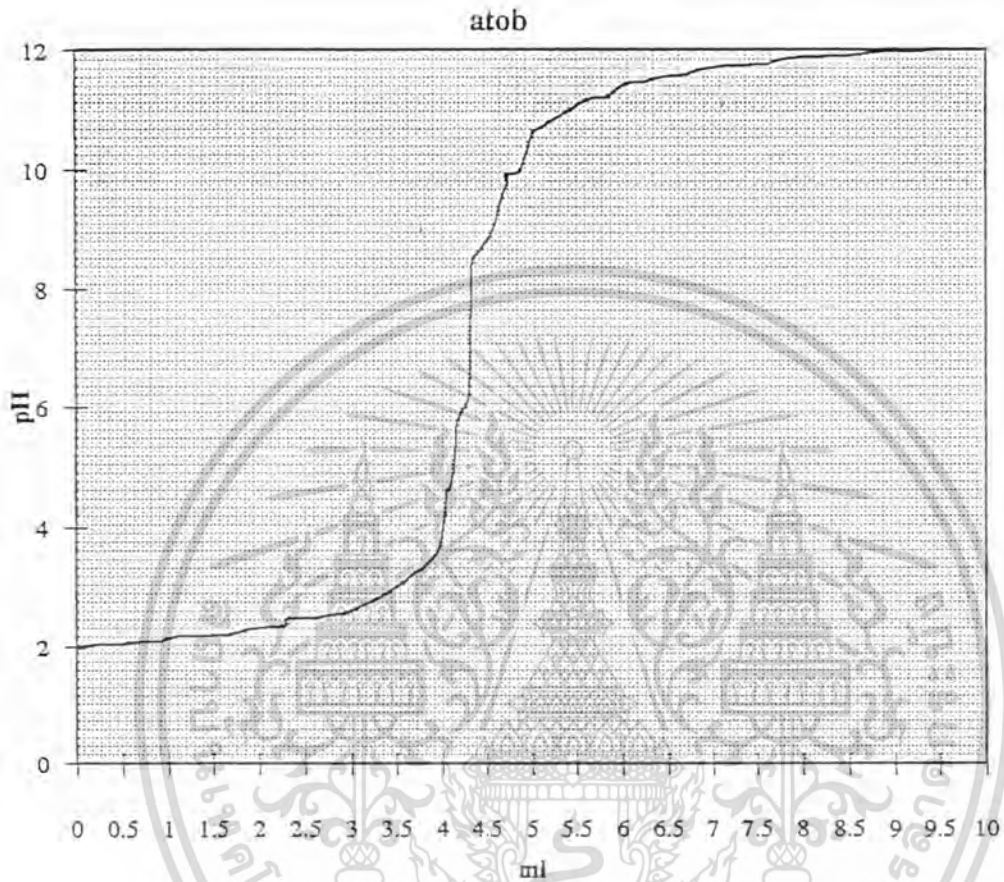
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 5 แสดงข้อมูลที่ได้อากการไทเทรต DPDHP + Fe(III) 0.50 ml



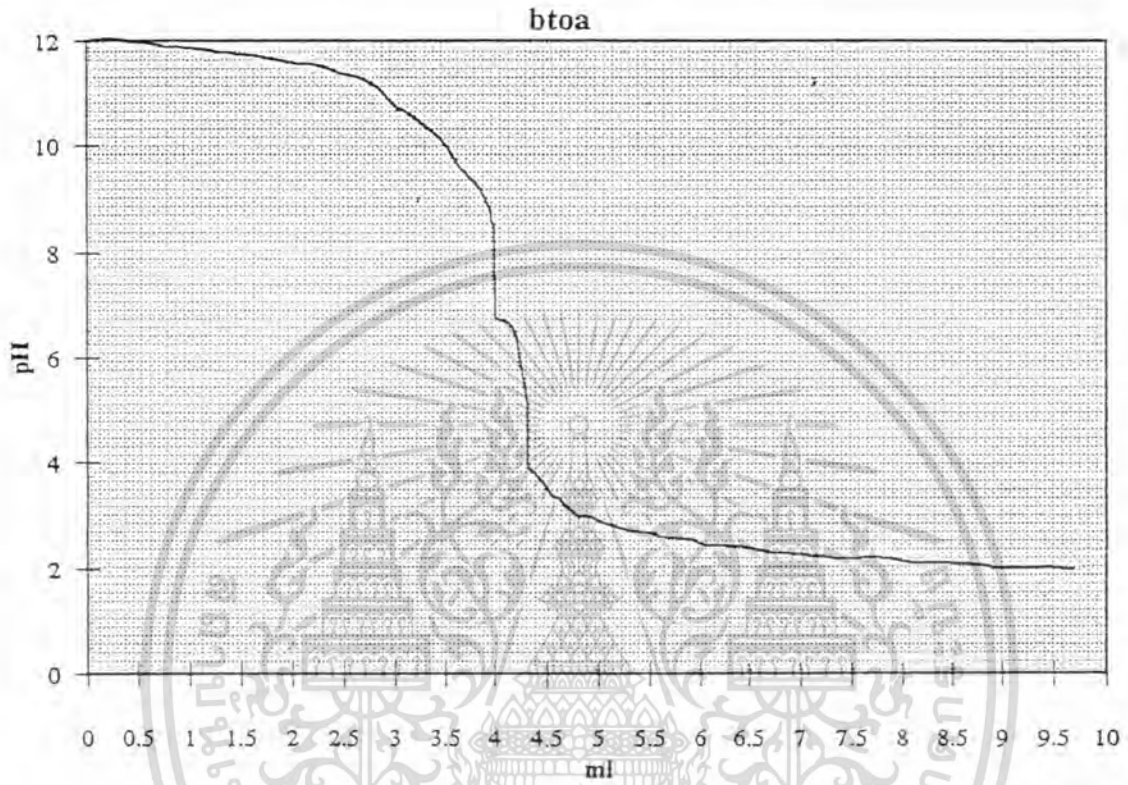
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 6 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(II) 0.25 ml



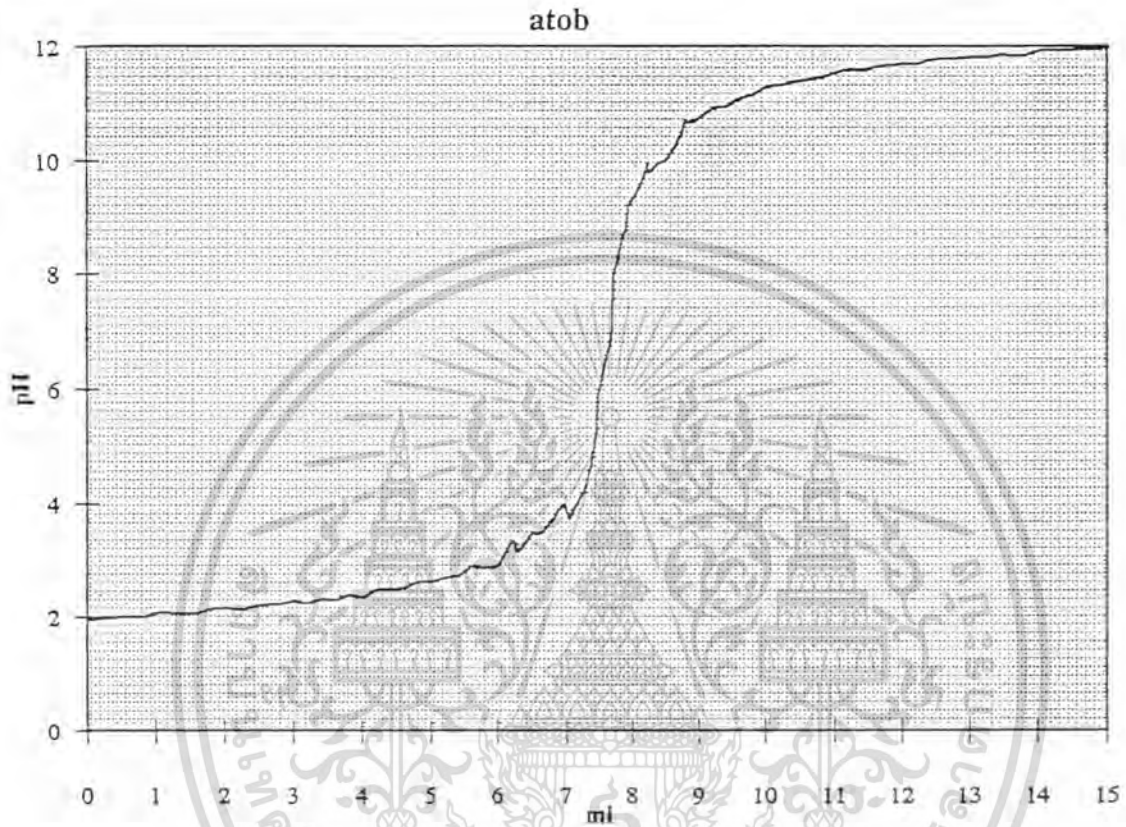
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 7 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(II) 0.50 ml



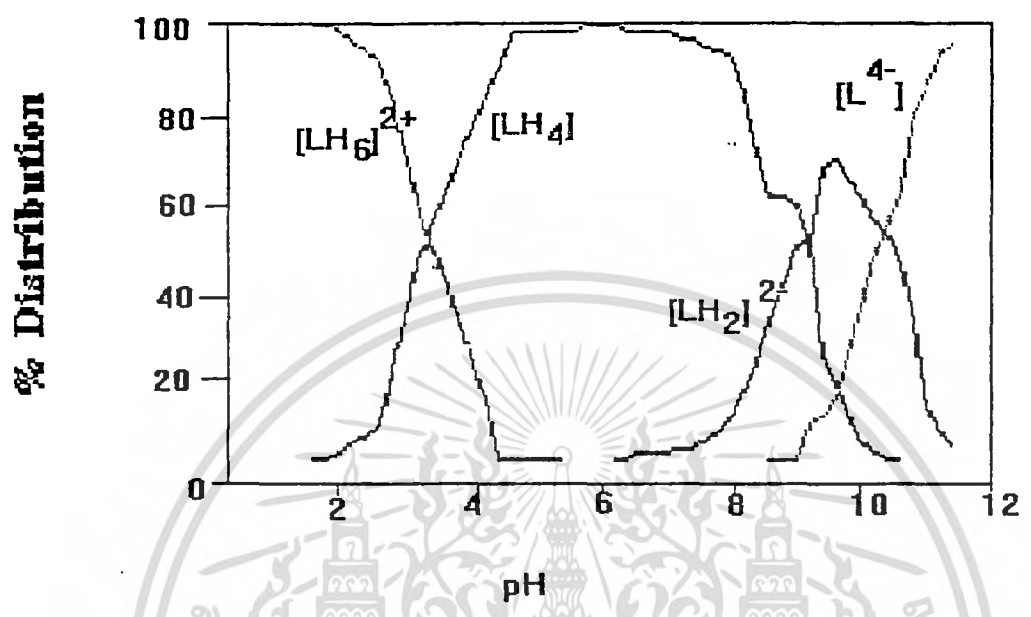
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 8 แสดงข้อมูลที่ได้จากการไทเทรต DPDHP + Fe(II) 0.75 ml



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

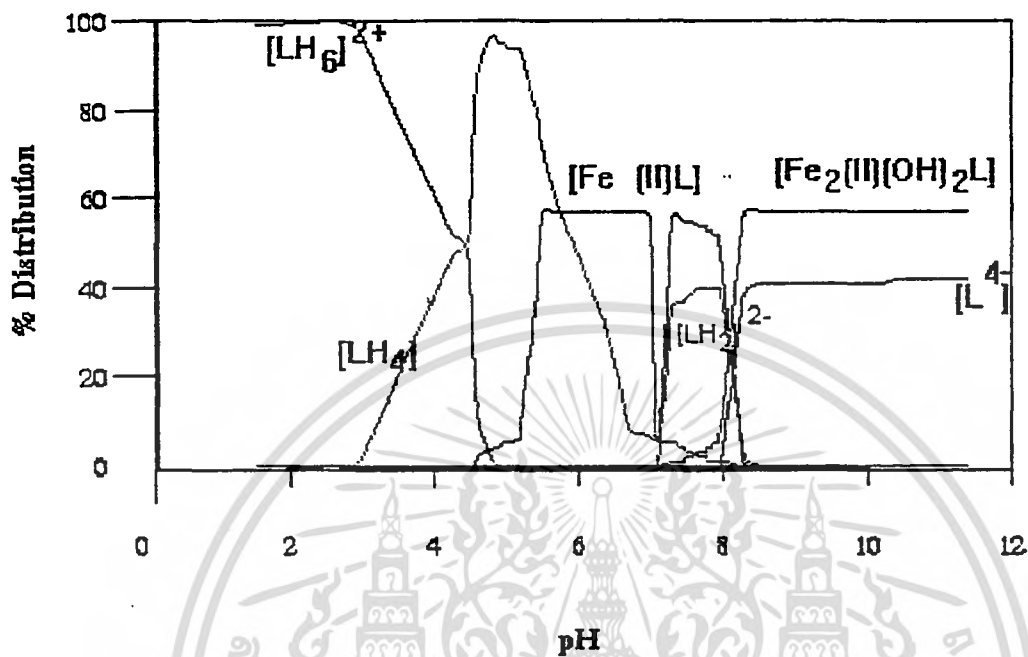
กราฟที่ 9 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของ DPDHP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 10 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน

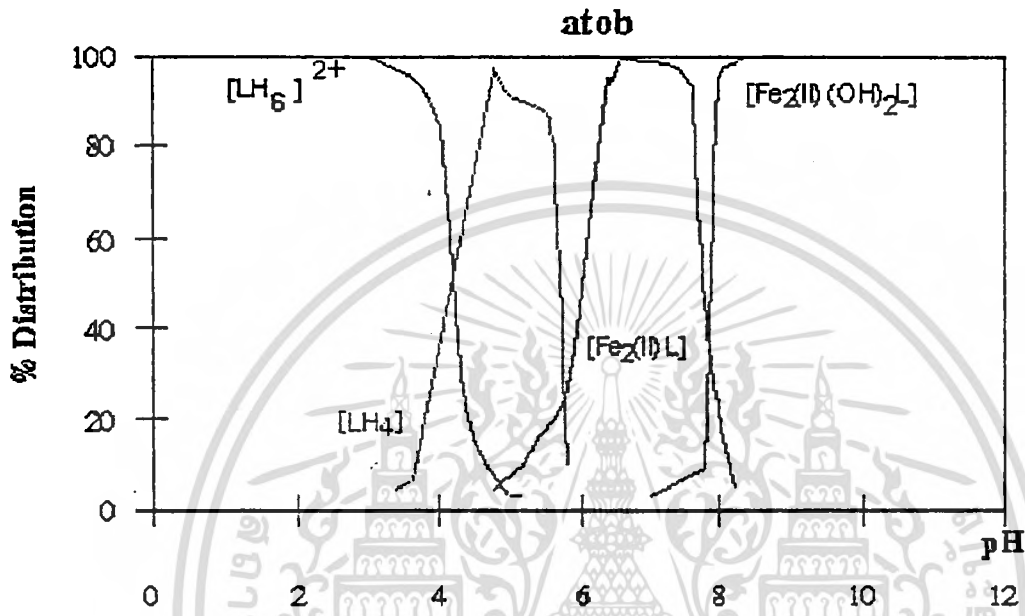
DPDHP + Fe(II) 0.25 ml



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

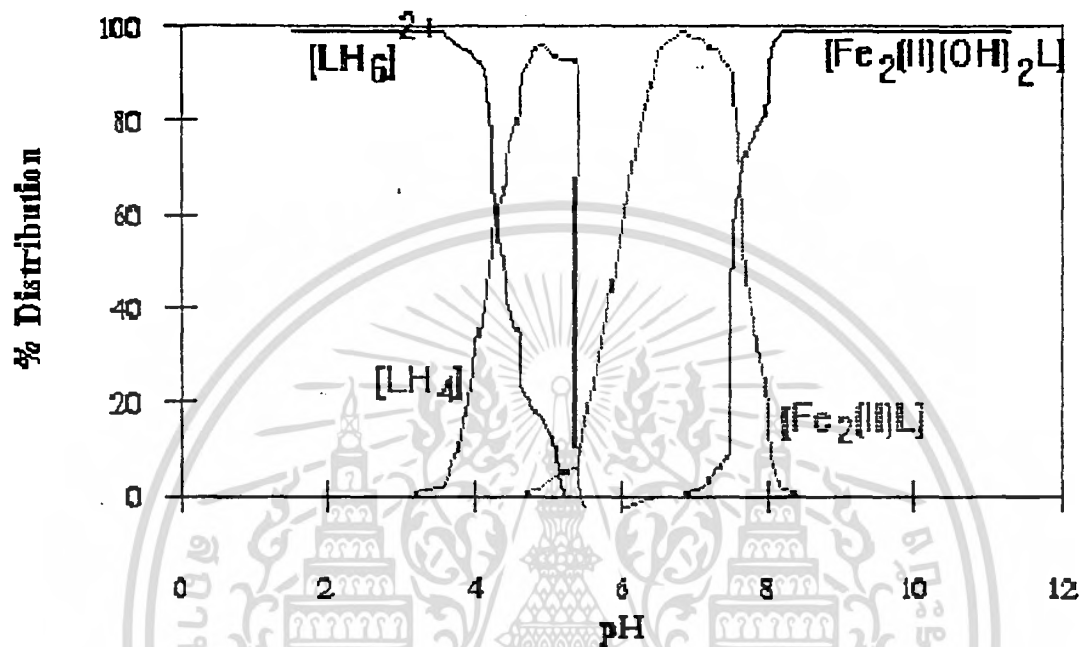
กราฟที่ 11 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน

DPDHP + Fe(II) 0.50 ml



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

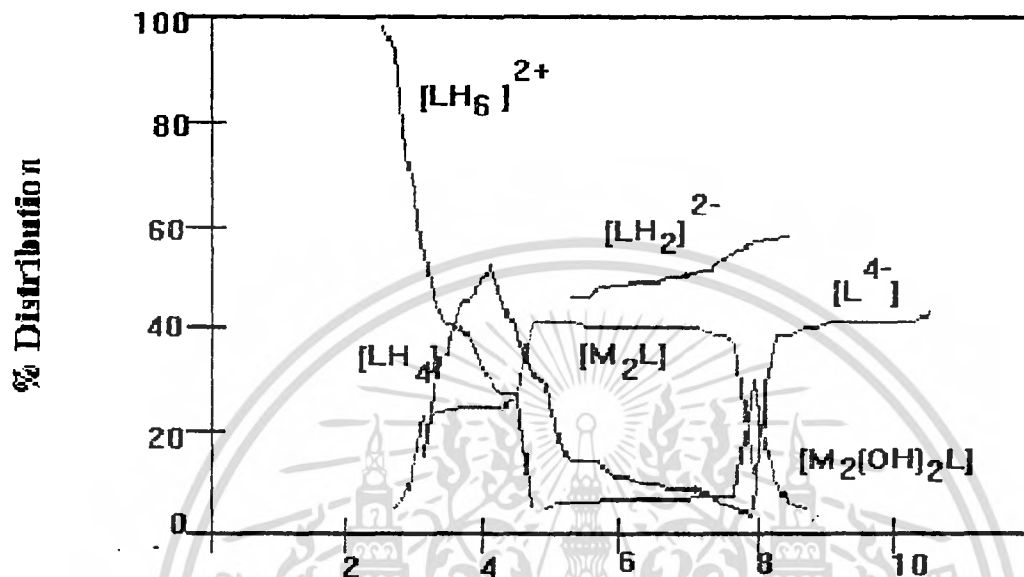
กราฟที่ 12 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II)
0.75 ml



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

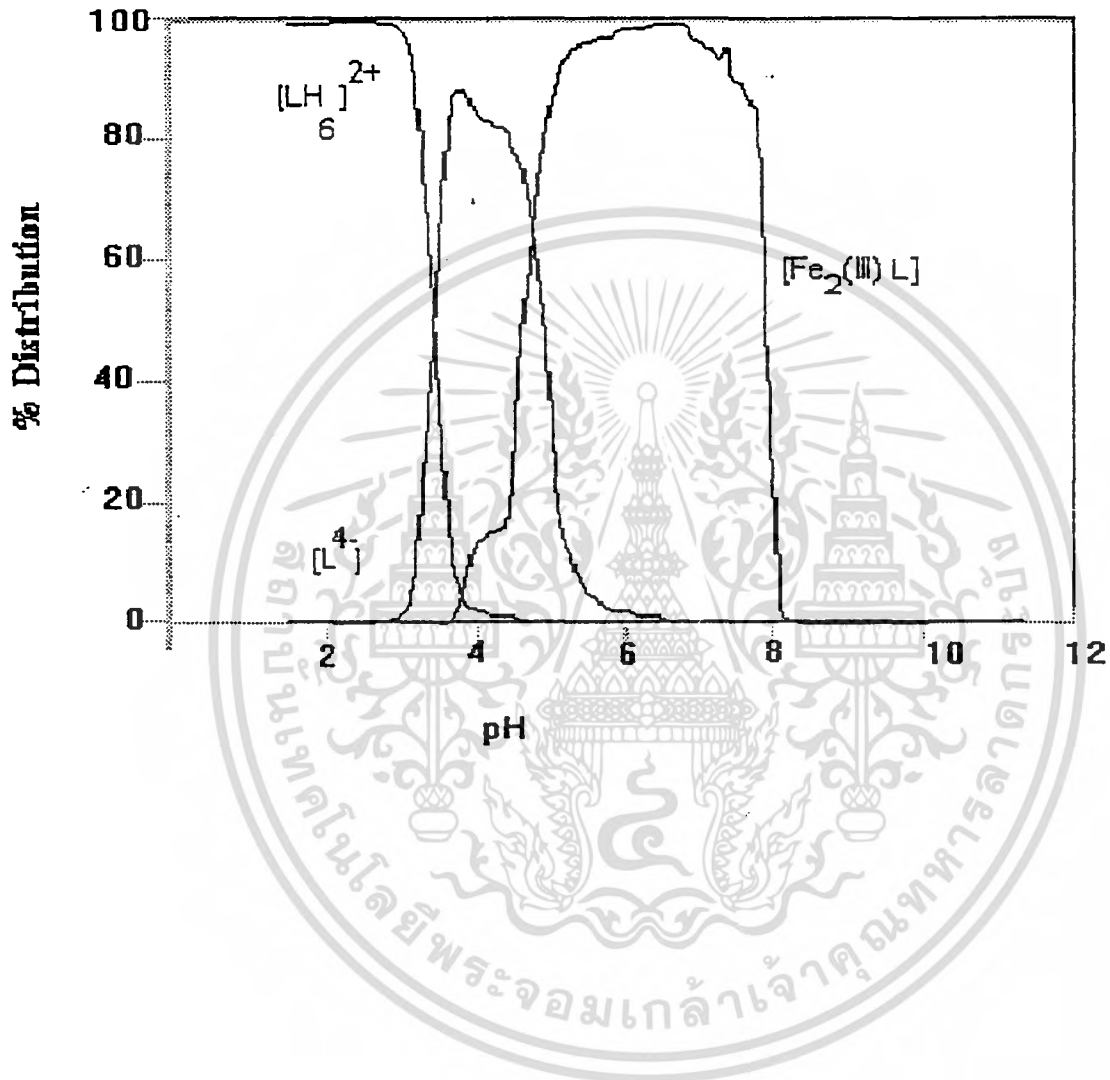
กราฟที่ 13 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวของสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน

DPDHP + Fe(III) 0.25 ml



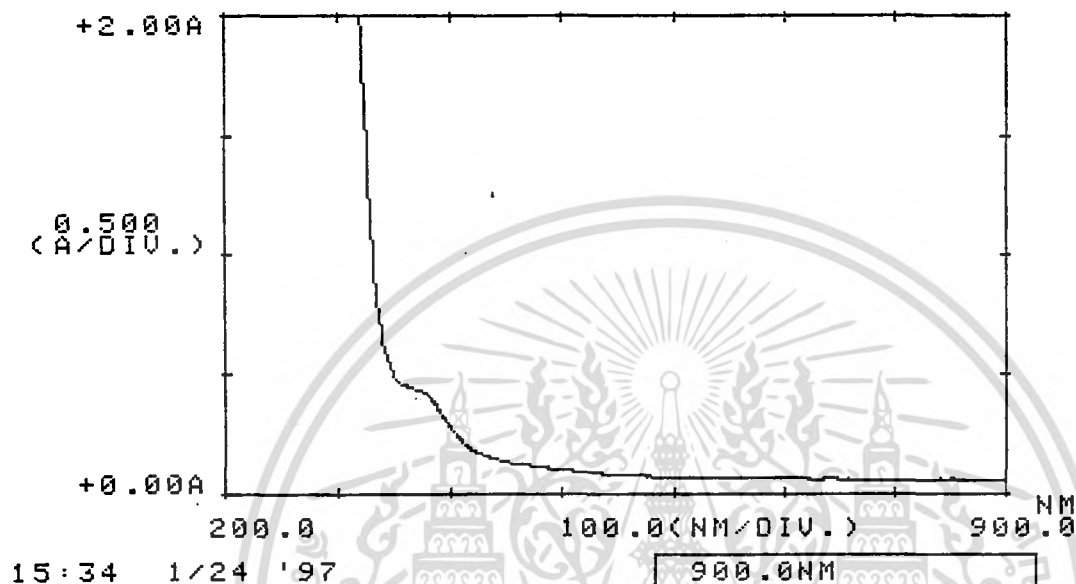
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 14 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวสปีชีส์ต่าง ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน
DPDHP + Fe(III) 0.50 ml



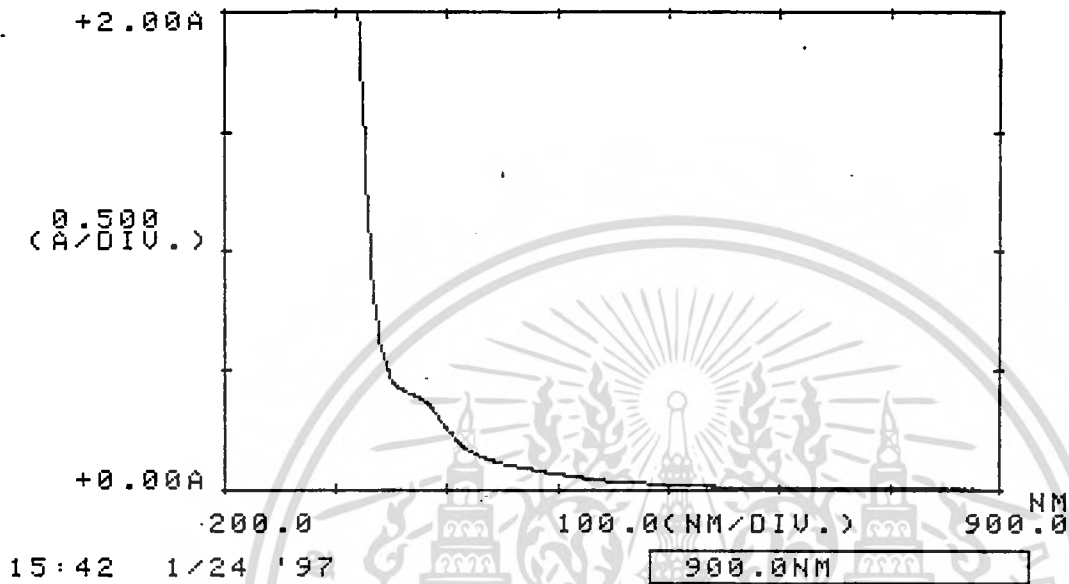
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 15 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 1.5



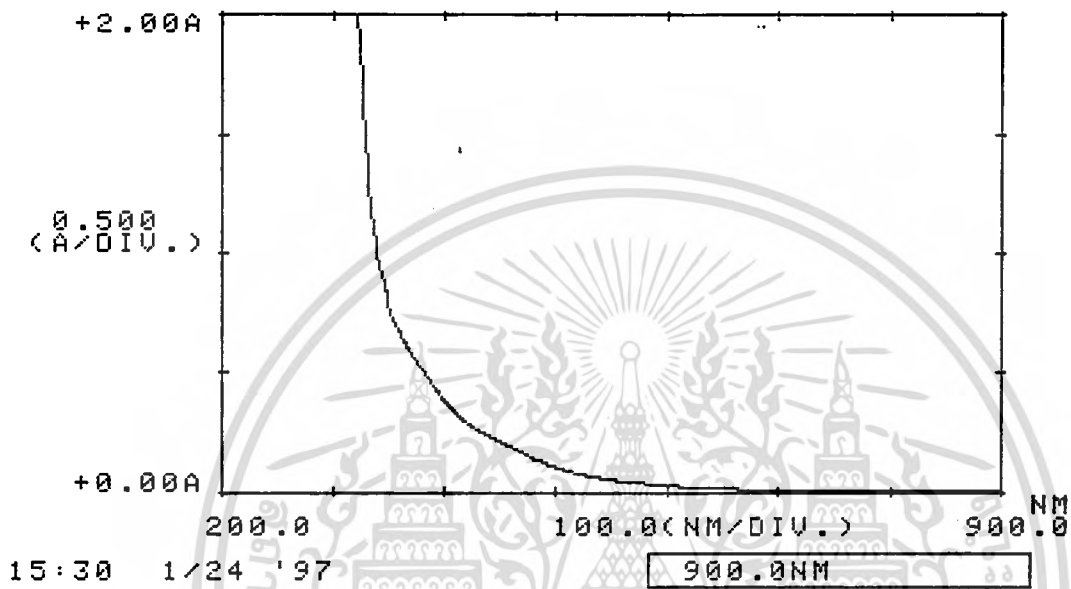
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 16 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 2.0



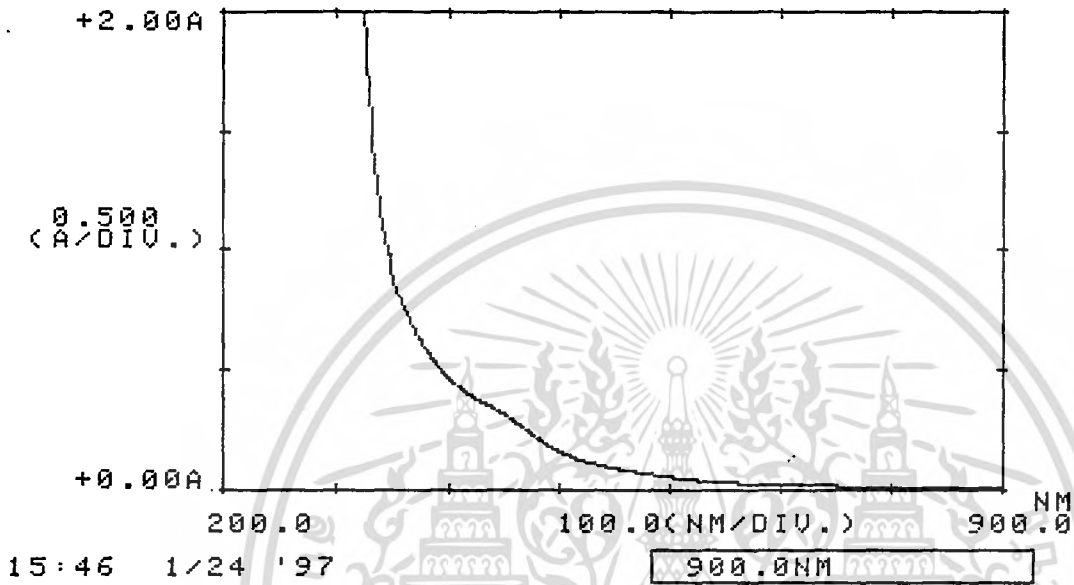
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 17 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 3.0



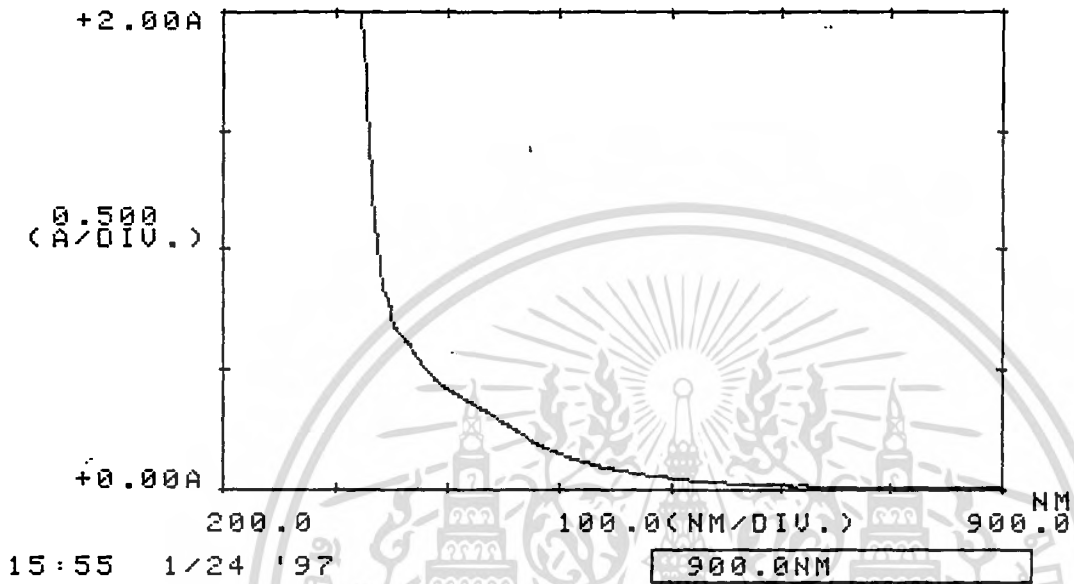
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 18 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 4.6



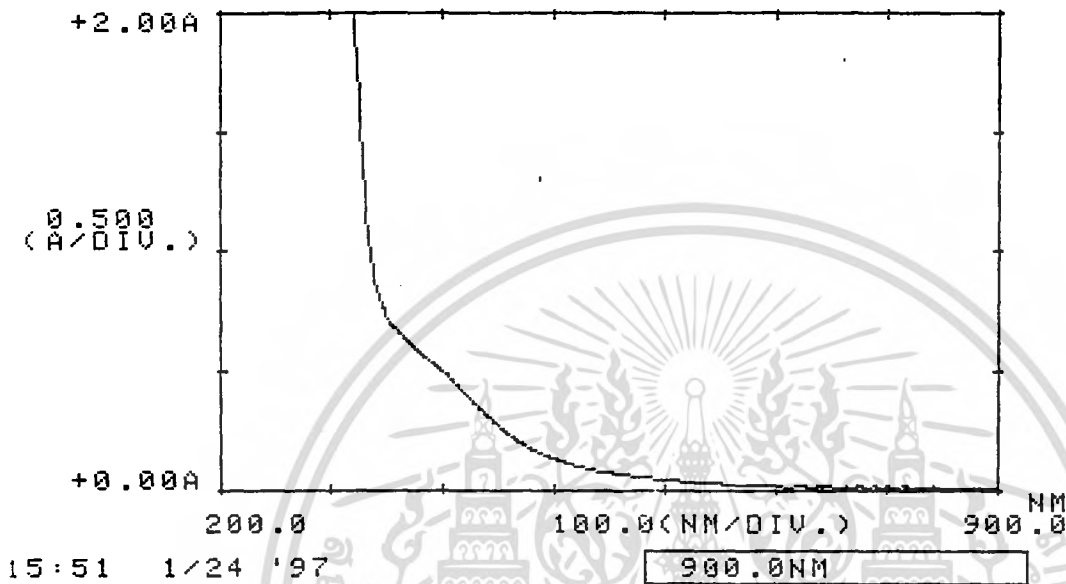
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 19 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 7.0



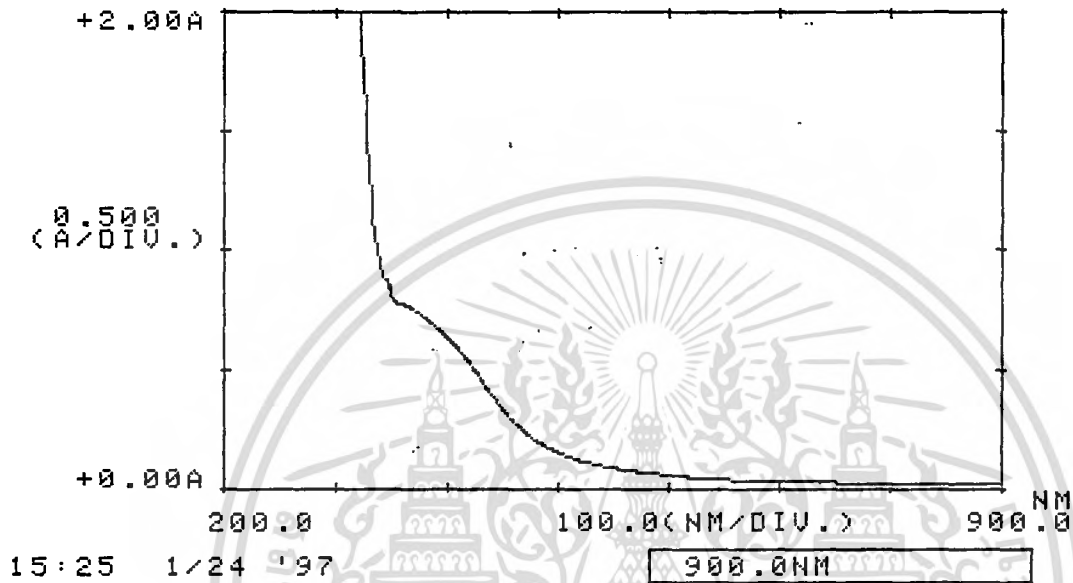
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 20 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 8.7



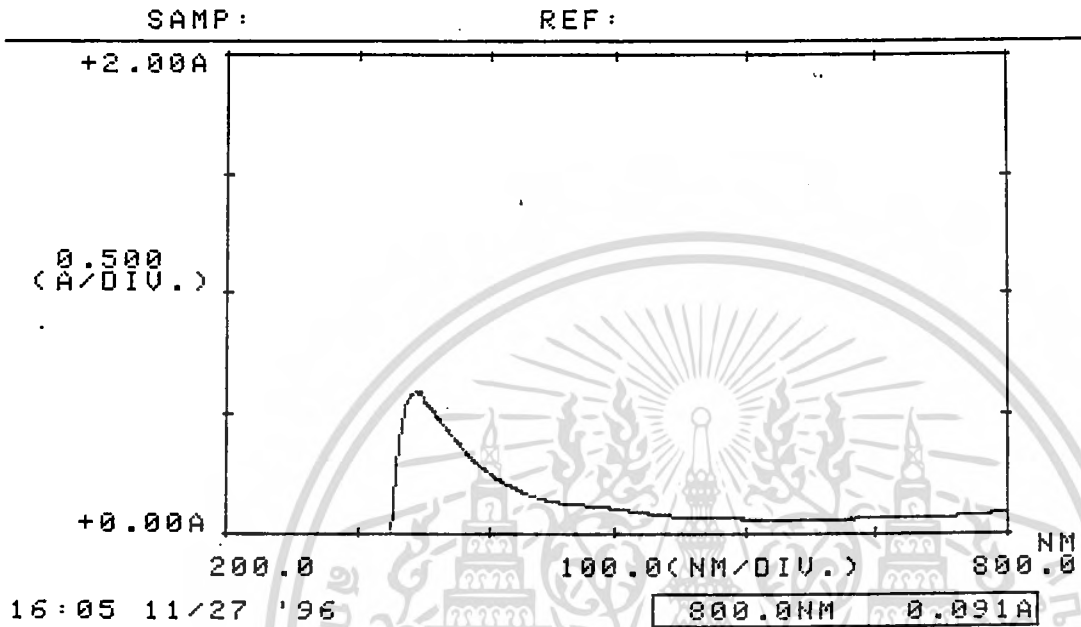
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 21 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP ที่ pH 12



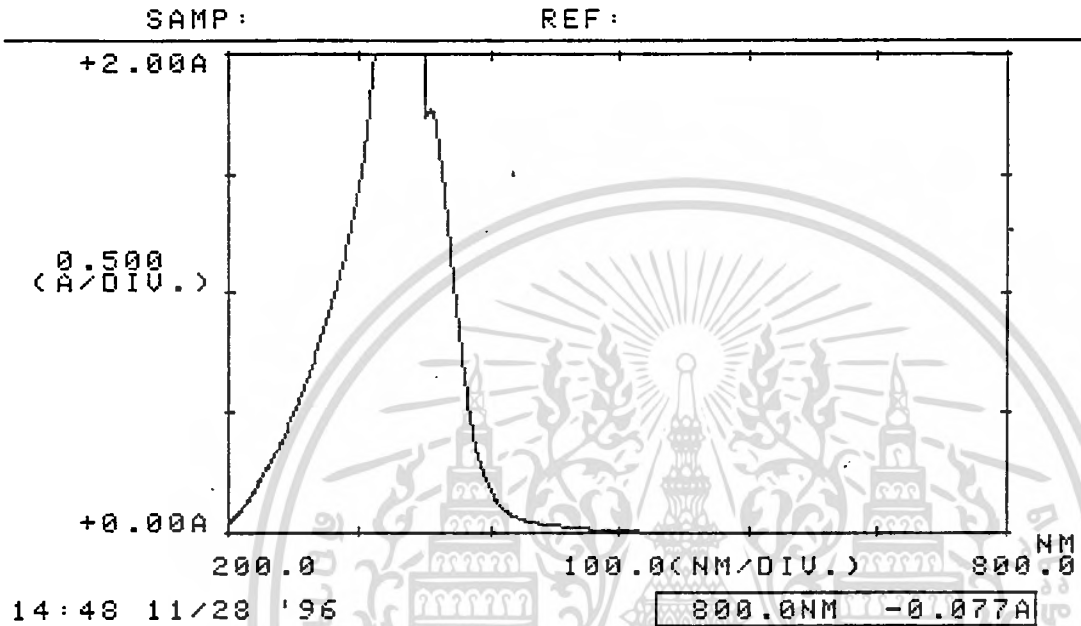
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 22 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ Fe(II)



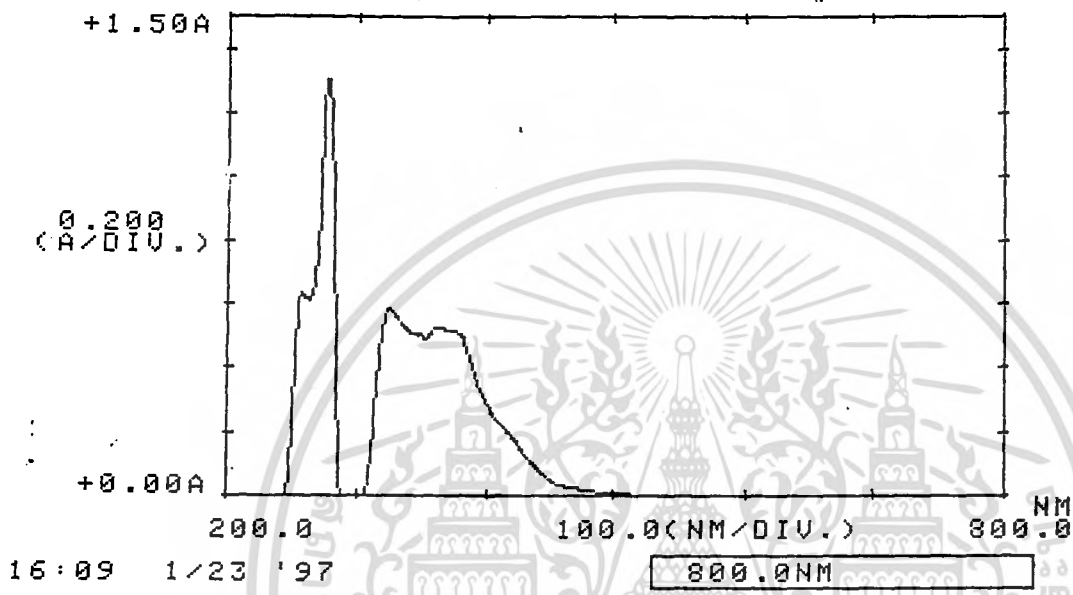
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 23 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ Fe(III)



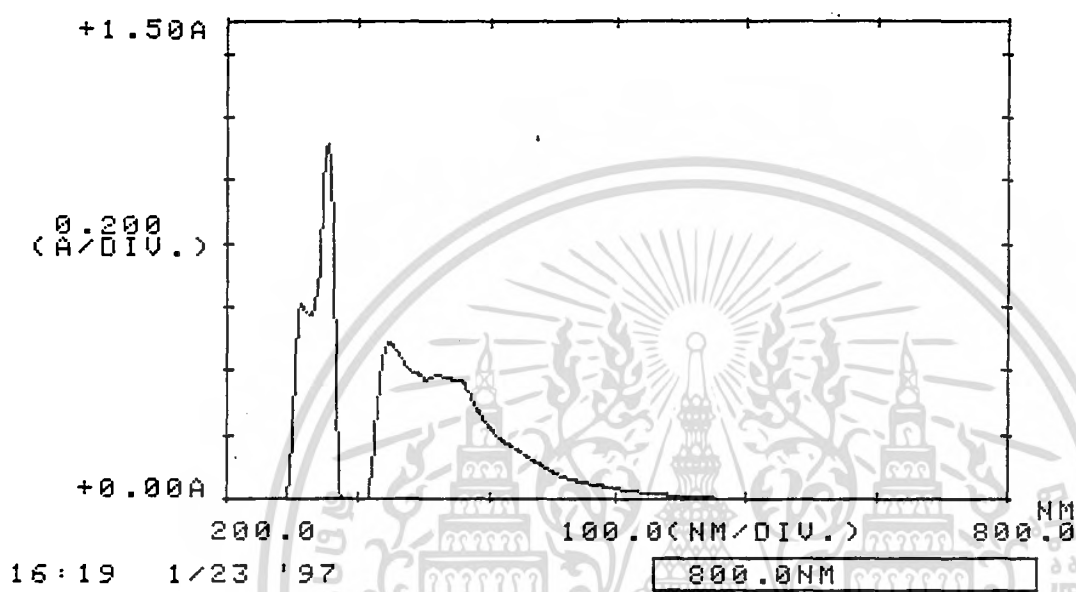
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 24 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 1.58



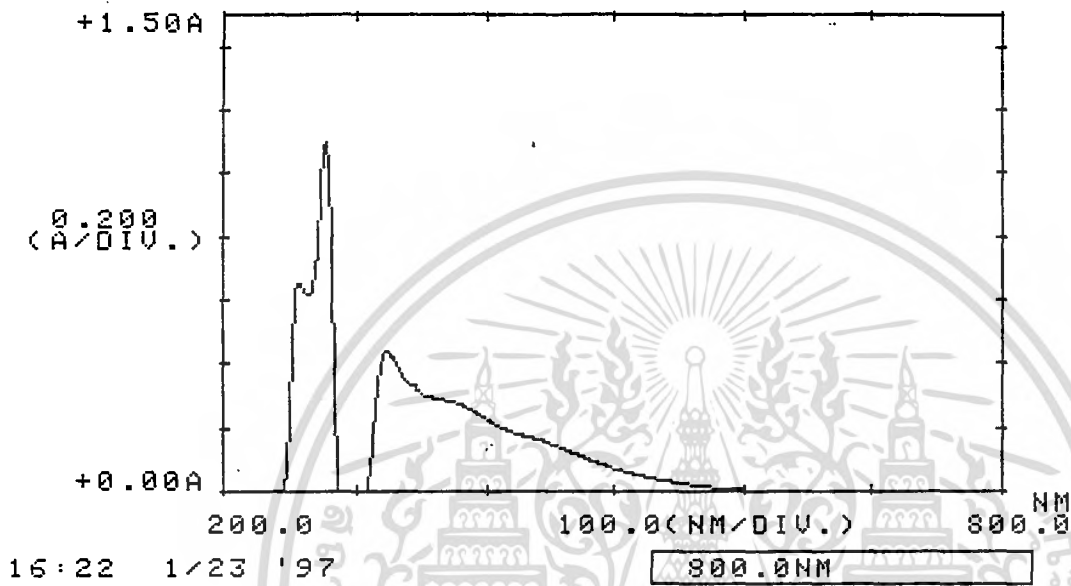
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 25 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 2.23



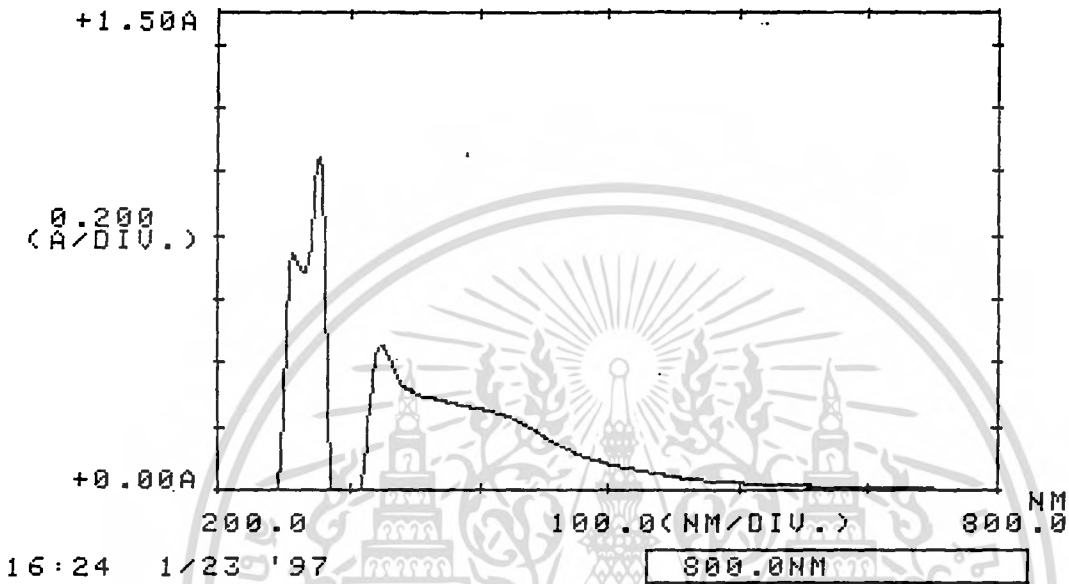
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 26 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 3.07



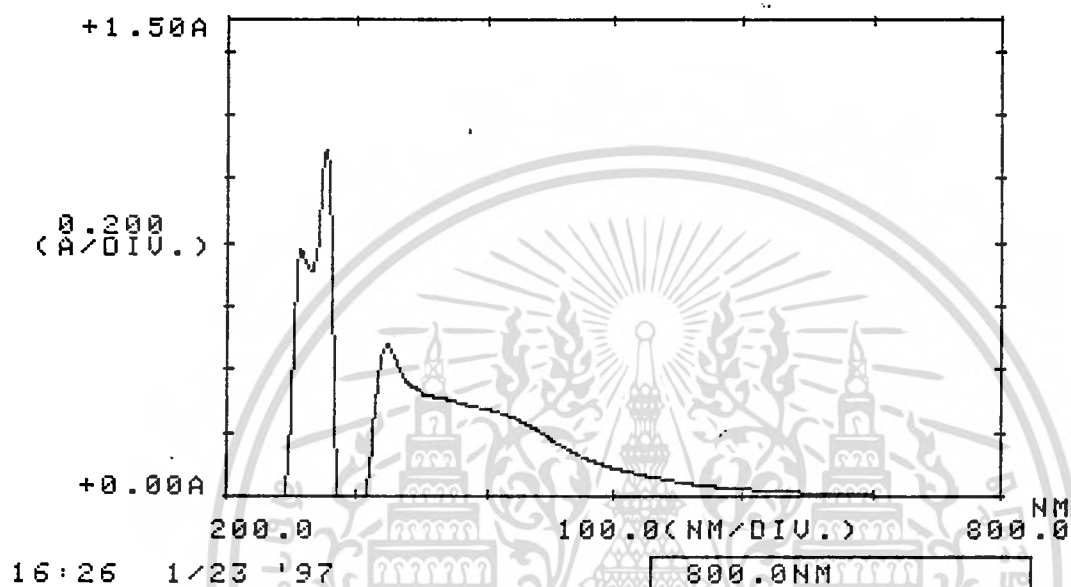
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 27 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 6.67



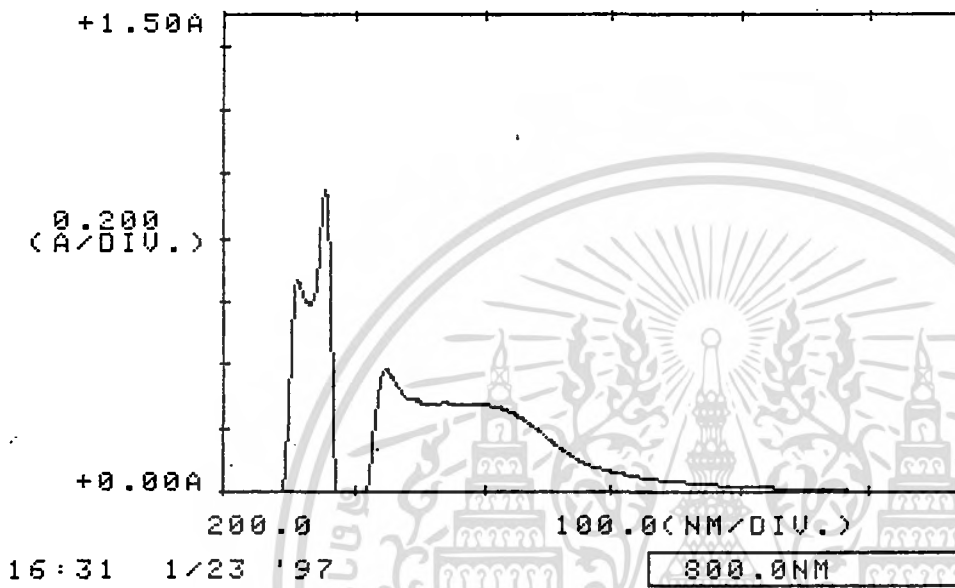
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 28 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 9.00



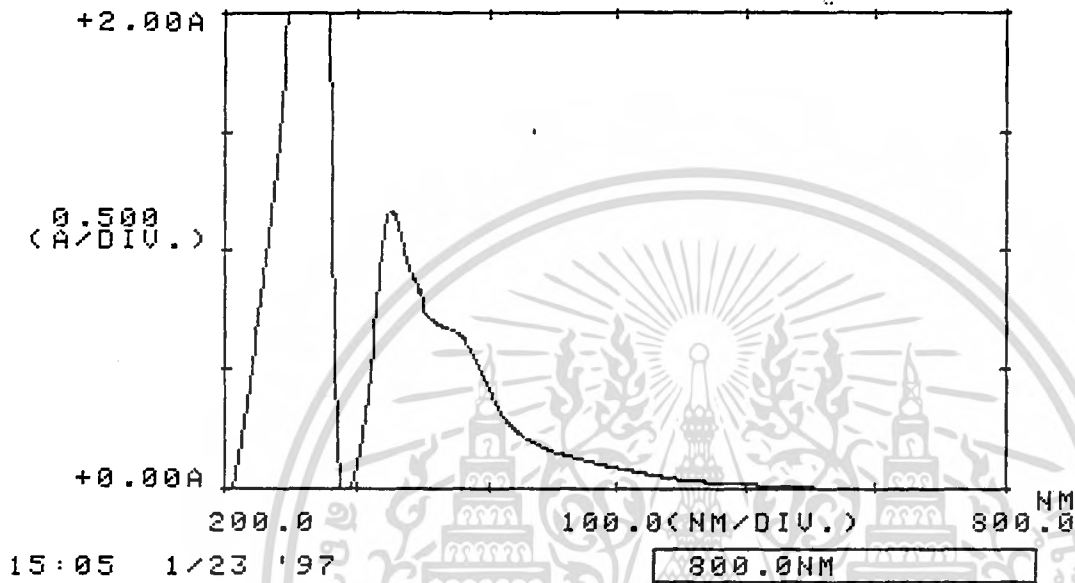
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 29 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(II) ที่ pH 12.00



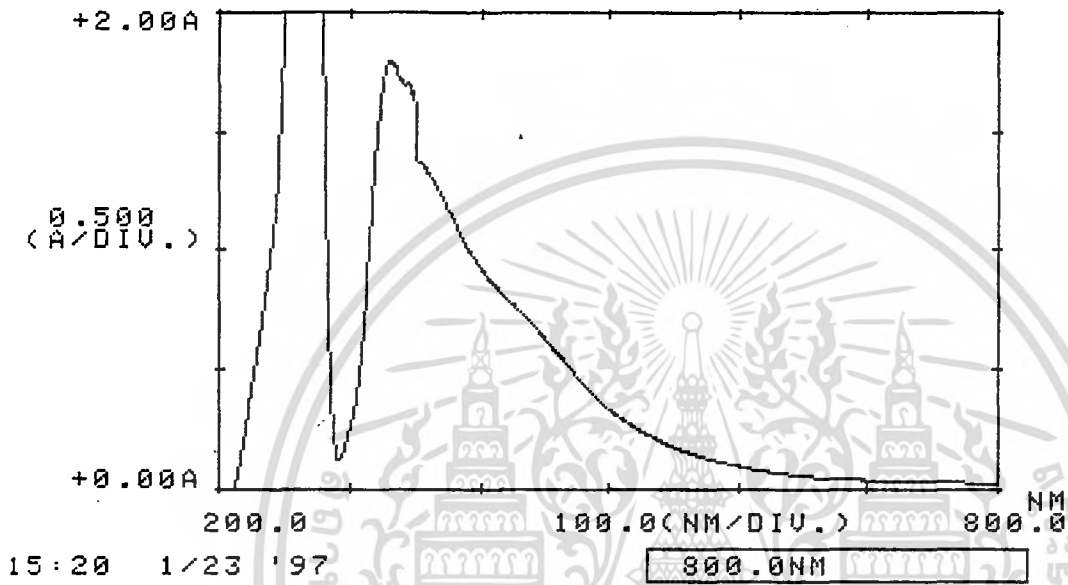
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 30 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 2.00



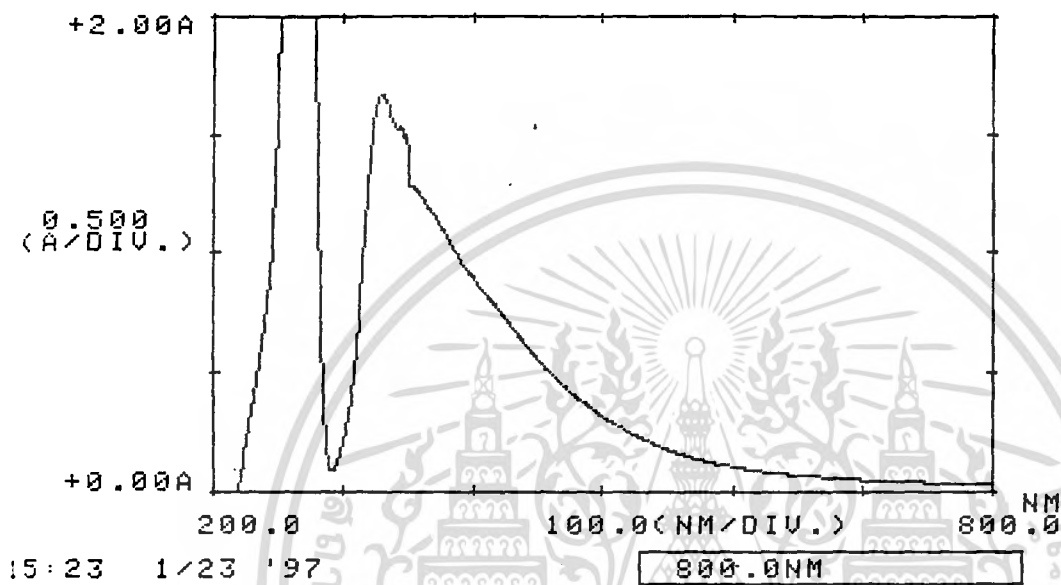
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 31 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 4.35



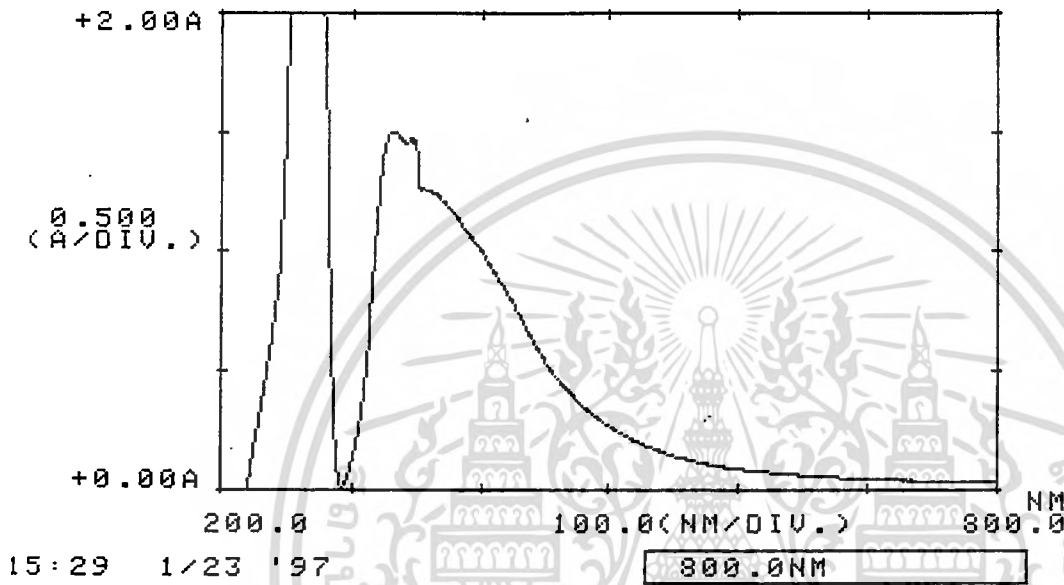
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 32 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 8.30



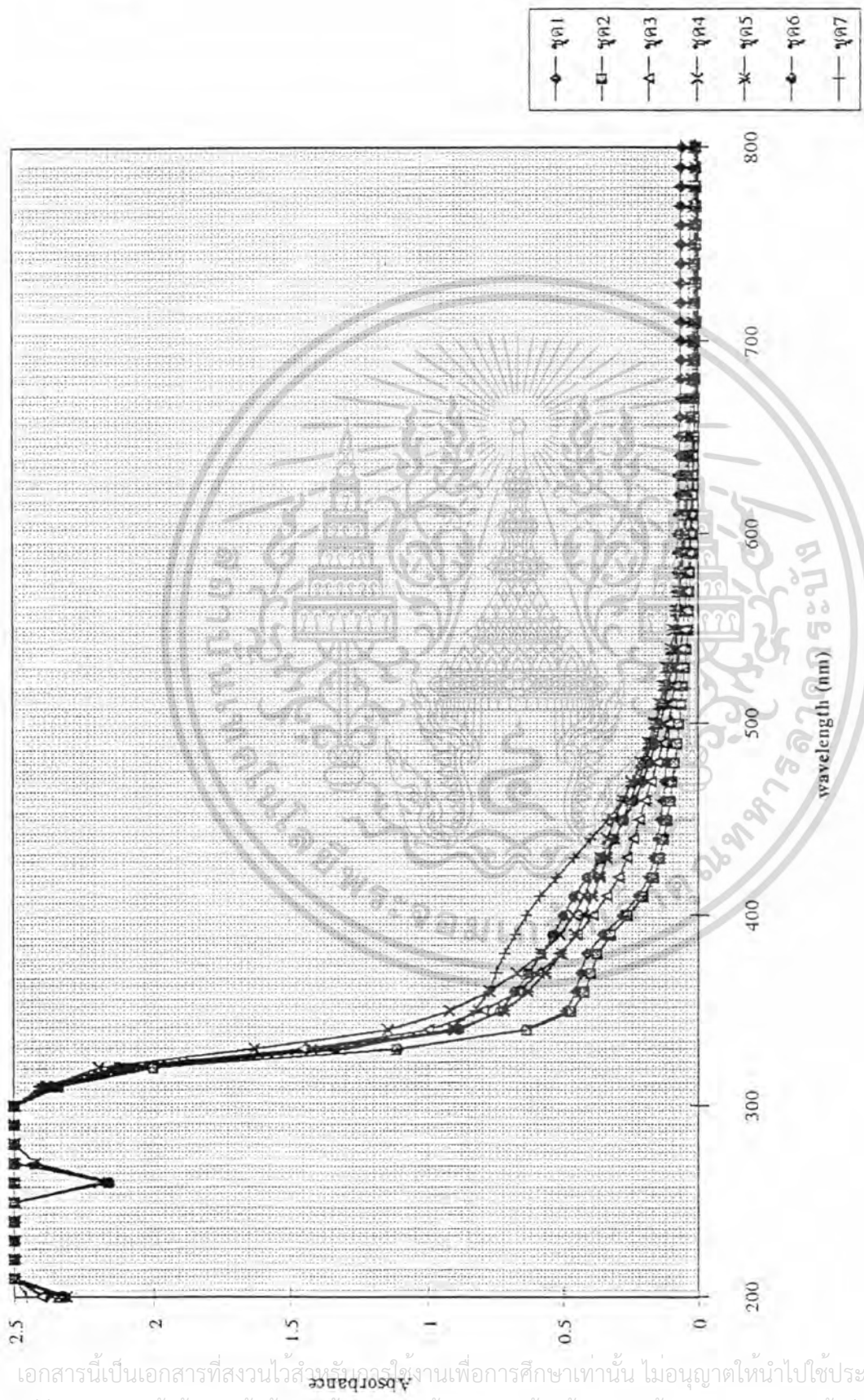
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 33 แสดงข้อมูลการวัดการดูดกลืนแสงของ DPDHP + Fe(III) ที่ pH 11.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 34 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPDHP ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

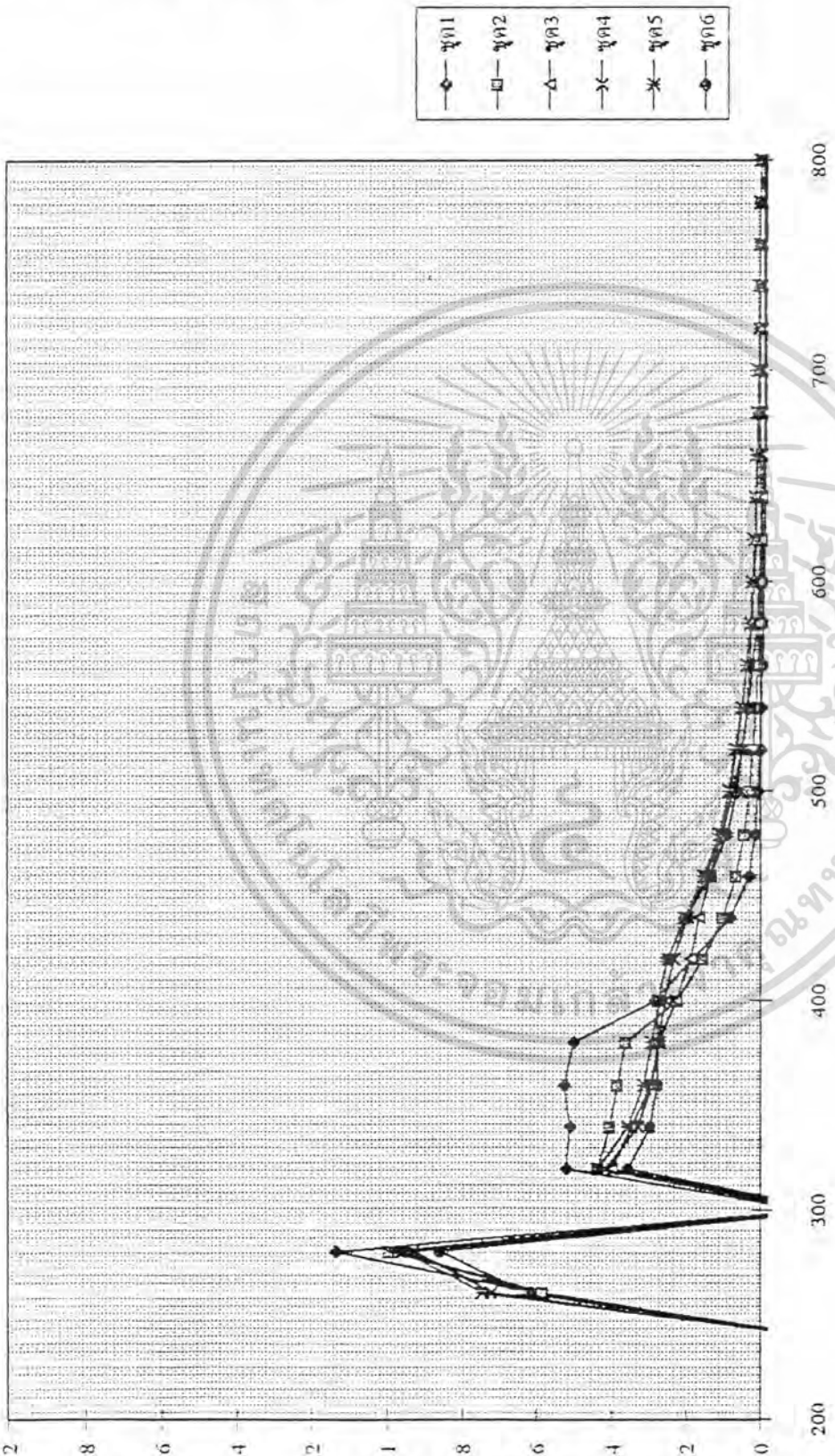
กราฟที่ 34 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของกราฟที่ 34 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน

- ชุดที่ 1 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่มี pH = 1.5
- ชุดที่ 2 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่มี pH = 2
- ชุดที่ 3 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่มี pH = 3
- ชุดที่ 4 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่มี pH = 4.6
- ชุดที่ 5 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่มี pH = 7
- ชุดที่ 6 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่มี pH = 8.7
- ชุดที่ 7 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP ที่มี pH = 12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 35 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPDHP + Fe(II) ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

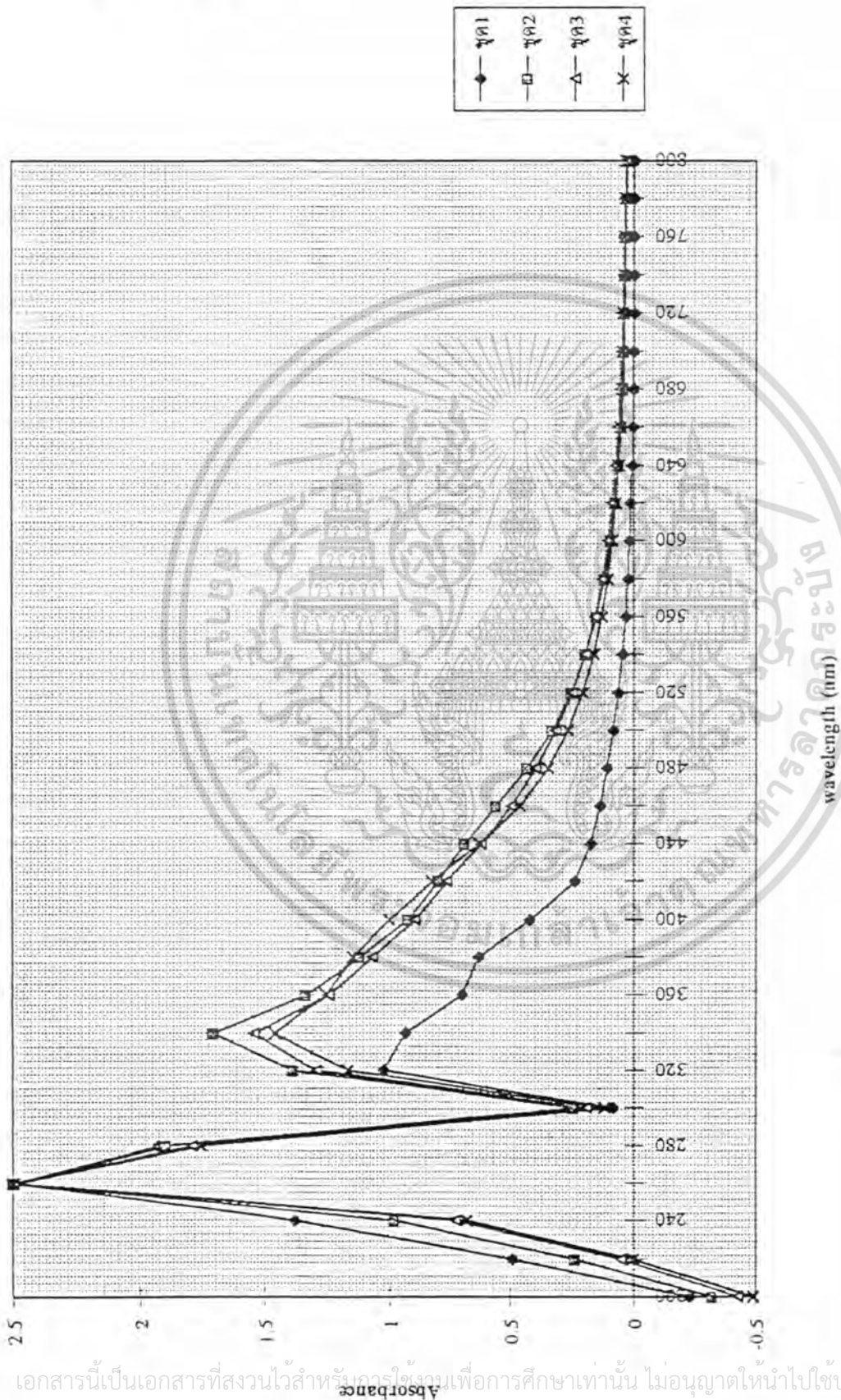
ที่ 35 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe
(II) ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน

- 1 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) ที่มี pH = 1.58
- 2 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) ที่มี pH = 2.23
- 3 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) ที่มี pH = 3.07
- 4 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) ที่มี pH = 6.67
- 5 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) ที่มี pH = 9.00
- 6 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II) ที่มี pH = 12.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 36 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPDHP + Fe(III) ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 36 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(III) ที่ค่า pH ต่าง ๆ กัน

- ที่ 1 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(III) ที่มี pH = 2
- ที่ 2 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(III) ที่มี pH = 4.35
- ที่ 3 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(III) ที่มี pH = 8.3
- ที่ 4 คือสารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(III) ที่มี pH = 11.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรม TR 600

โปรแกรม TR600 เป็น โปรแกรมที่ใช้ควบคุมเครื่องไทเทรตอัตโนมัติของ Schott ซึ่งใช้ในการควบคุมการปล่อยสารละลายของเครื่องไทเทรต การวัดศักย์ไฟฟ้าโดยอิเล็กโทรด รวมทั้งการทำหน้าที่เชื่อมต่อและส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ รายละเอียดของโปรแกรม TR600 สามารถศึกษาได้จากคู่มือการใช้งานเครื่องไทเทรตอัตโนมัติ

ในการทำการทดลองครั้งนี้ได้มีการเขียนโปรแกรมย่อยขึ้นมาเพื่อช่วยในการควบคุมเครื่องไทเทรตให้มีความสะดวกในการทำงานมากขึ้น คลยแต่ละโปรแกรมมีรายละเอียดดังนี้

โปรแกรม ECAL

เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นมา เพื่อแปลง เอาท์พุท ที่ได้จากการทดลองเป็น อินพุท ของโปรแกรม ELE ซึ่งมีรายละเอียดของโปรแกรมดังต่อไปนี้

Initialize

Parameter

Work Graphic

Dose 2.000 ml (01 / A)

Get Value Slot:01A Range:400 Dim: pH

Get Value Slot:01A Range: 400 Dim: pH

WHILE (pH <= 12.0000)

 Titrate from Burette (01/C)

 Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: pH

 Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: pH

ENDWHILE

online Graphics pH vs ml

Documentation

End of Method

โปรแกรม A TO B

ใช้ในการควบคุมการไทเทรต เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าคงที่สมดุล โดยใช้โปรแกรม SUPERQUAD ได้หลักการของโปรแกรมนี้อะทำการไทเทรตสารละลายที่อยู่ในสภาพที่เป็นกรดให้ไปเป็นด่าง ที่พีเอชประมาณ 12.0 ซึ่งมีรายละเอียดของโปรแกรมดังนี้

Initialize

Parameter

Work Graphic

Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: pH

Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: mV

WHILE (pH <= 12.0000) {

 Titrate from Burette (01/C)

 Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: pH

 Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: mV

} ENDWHILE

online Graphics pH vs ml

Documentation

End of Method

โปรแกรม FILL A

ใช้ในการสั่งให้เครื่องทำการเติมกรดในตริก ปริมาตร 2.000 มิลลิลิตร

Initialize

Dose 2.000 ml (01/A)

End of Method

โปรแกรม B TO A

ใช้ในการควบคุมการไทเทรต เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าคงที่สมดุล โดยใช้โปรแกรม SUPERQUAD ได้ หลักการของโปรแกรมนี้อะทำการไทเทรตสารละลายที่อยู่ในสภาพที่เป็นด่างให้ไปเป็นกรด ที่พีเอชประมาณ 2.0 ซึ่งมีรายละเอียดของโปรแกรมดังนี้

Initialize

Parameter

Work Graphic

Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: pH

Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: mV

WHILE (pH <= 2.000) {

 Titrant from Burette (01/A)

 Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: pH

 Get Value Slot: 01A Range: 400 Dim: mV

} ENDWHILE

online Graphics pH vs ml

Documentation

End of Method

โปรแกรม FILL B

ใช้ในการสั่งให้เครื่องทำการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 2.000 มิลลิลิตร

Initialize

Dose 2.000ml (01/A)

End of Method

ในแต่ละโปรแกรมนั้นจะตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรตเท่ากัน ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

Titration Parameter

Points for final value :0

Points for delay :0

Sum of differences :1.000

Slope of value :0.500

Difference of averages :0.100

Linear step value :0.200

Smallest step :0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Largest step	:0.100
Dynamic curve shape	:0.050
Dynamic curve ship	:0.850
Dynamic titration	:ON
Electrode Efficiency	:0.980
Electrode offset [pH]	:0.330
Temperature (C)	:37.00

ภาคผนวก ข ความหมายของคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ใน Sample Identification และ Comments

ใน Sample name documentation และ comment documentation ข้างบนจำนวนทั้งหมด 4 บรรทัด จะเป็นกลุ่มคำสั่งที่จะช่วยเปลี่ยนข้อมูลของโปรแกรม TR 600 โดยโปรแกรม DCO เพื่อเป็นอินพุตสำหรับโปรแกรม ELE เพื่อใช้ในการคำนวณหา อิเล็กโทรดพารามิเตอร์ต่อไป ความหมายของคำสั่งต่าง ๆ มีดังนี้

1.e15k9501 เป็นชื่ออินพุตไฟล์ข้อมูลจากการไทเทรตชุดนี้ สำหรับโปรแกรม ELE จะต้องเป็นอักษรภาษาอังกฤษและตัวเลขรวมกันครบ 8 ตัวพอดี ดังตัวอย่าง

e คือ electrode

15 หมายถึง วันที่ 15

k หมายถึง เดือน พฤศจิกายน

95 หมายถึง ปี 1995

01 หมายถึง ข้อมูลชุดที่ 1 (ในกรณีมีข้อมูลชุดต่อไปจะเป็น 02,03,...)

2.ves[wat=25.0,aco1=0.5,acv=2.0],

ves[...] หมายถึง กลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารละลายใน titrant vessel มีดังต่อไปนี้

wat=25.0 หมายถึง ปริมาตรสารตั้งต้นคือ KNO_3 0.5 M จำนวน 25 ml

aco1=0.5 หมายถึง ความเข้มข้นของกรดไนตริก เป็นคอมลาร์ที่มีใน titrant vessel

{ เลข 1 หลัง aco เป็น running key (RK) ของตัวแปรในโปรแกรม ELE หมายความว่าความเข้มข้นของกรดไนตริก จะถูกคำนวณใหม่พร้อมกับตัวแปรอื่นเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และมีความละเอียดยิ่งขึ้น ถ้าเป็น 0 (aco0=0.5) หมายถึงความเข้มข้นของกรดจะถูก กำหนดให้คงที่เป็น 0.5 ตลอดการคำนวณ }

acv=2.0 หมายถึง ปริมาตรของกรดที่เติมลงไป ใน titrant vessel

3.bur[bco0=-0.5],

bur[...] หมายถึง กลุ่มของข้อมูลเกี่ยวกับสารละลายในบิวเรต มีดังต่อไปนี้

bco0=-0.5 หมายถึง ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีหน่วยเป็นโมลาร์ และเครื่องหมายลบ (-) แทนเบส เลข 0 หลัง bco คือ running key (RK)

4.ele[eze1=450.0]

ele[...] หมายถึงกลุ่มข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ อิเล็กโทรดมีดังต่อไปนี้

eze1=450.0 หมายถึงค่าภาคเคาเริ่มต้นสำหรับ E0 เลข 1 หลัง eze คือ running key เหตุที่ใช้เป็นเลข 1 แทน 0 เพราะต้องการคำนวณหาค่า E0 นั้นเอง

ถ้าในบรรทัดแรกของ sample name documentation และ comment documentation มีคำสั่งว่า d24a9702, from=d24a9701 โดยที่บรรทัดอื่นปล่อยว่าง เมื่อนำมาทำการคำนวณโดยโปรแกรม DCO โปรแกรม DCO จะสร้างไฟล์อินพุตสำหรับโปรแกรม SUPERQUAD คือไฟล์ z01k9502 โดยจะใช้ข้อมูลที่ต่อเนื่องจากข้อมูลชุดแรก (d24a9701) ให้โดยอัตโนมัติ

ภาคผนวก ค Data Input สำหรับโปรแกรม SUPER และ โปรแกรม ELE

รูปแบบมาตรฐานสำหรับการใส่ข้อมูล

Running Key = RK

Reactant Index = RI

Total Amount of Reactant (mmol) = TMMOL

Reactant Concentration (M) = CONC

Error in Reading Volume of Burette = ERR

Error in Millivolt = Emv

Slope Factor = SI

COLUMN

MENU

1.[Name 80 col.]

2.[No. of loop] [Print Mode] [No. of Reactants] [Det Reactat]

3.[Name of Reactants]

...

4.[Working Temp.] [Initial Voltage] [Final Voltage]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.[log K] [No. of Reactant] [No. of Ligand] [RK]

...

6.Blank Line

7.[Control No.] [RI] [TMMOL] [CONC] [RK of TMMOL] [RK of CONC]

...

8.Blank line

9.[Control No.] [RI] [Initial Volume (ml)] [ERR]

10. [Control No.] [Control No.] [RI][E 0] [Emv] [RK of E0] [SI factor]

11.Blank line

12.[RK of point] [Titrant Volume] [Reading Voltage (mv)] [Point No.]

13.Blank Line

14.Option

โดยรูปแบบของการใส่ข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณโดยใช้โปรแกรม SUPERQUAD และ ELE ในบางรายการอาจมีข้อมูลได้มากกว่า 1 ได้ เช่น

รายการที่ 3 : สามารถมีข้อมูลได้มากที่สุด 4 บรรทัด

รายการที่ 5 : สามารถมีข้อมูลได้ที่สุด 18 บรรทัด โดยแต่ละบรรทัดใช้แทนค่าคงตัวการเกิดเสถียรภาพของสารเชิงซ้อนแต่ละตัวที่กำหนดไว้

รายการที่ 7 : สามารถมีจำนวนข้อมูลได้เท่ากับจำนวนของสารตั้งต้น ข้อมูลแต่ละตัวจะแสดงรายละเอียดของสารตั้งต้นแต่ละชนิดในการไทเทรต

รายการที่ 12 : สามารถมีข้อมูลได้มากที่สุด 401 บรรทัด แต่ละบรรทัดแทนค่าของข้อมูลของการไทเทรตแต่ละจุดที่วัดออกมา

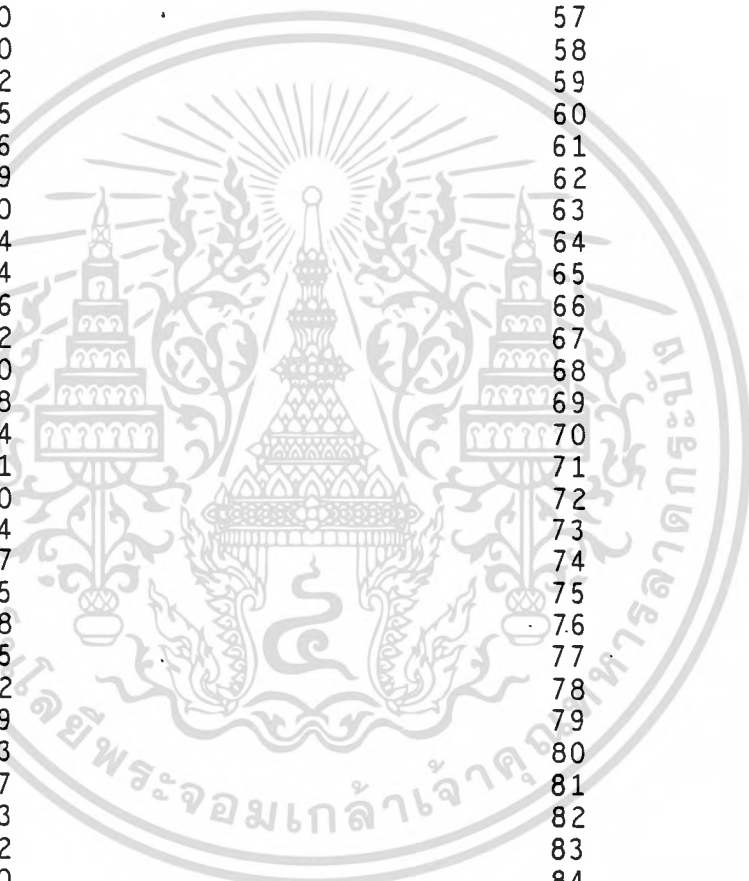
ภาคผนวก ง ตัวอย่างอินพุทของโปรแกรม ELE ที่ได้จากการคำนวณ โดยโปรแกรม

DCO
 9701 ecal ____ .001
 9 2 1 3
 on
 .00 400.00 150.00 .002
 .25 -1 0
 1 .25000 -.25000 0 1
 0 22.00000 2.00000
 0 420.00000 .10000 1 .000

.0000	303.1062	1
.0010	304.7825	2
.0236	303.9167	3
.2236	298.3536	4
.4236	302.3141	5
.6236	301.4852	6
.8236	296.1247	7
1.0236	294.9273	8
1.2236	295.3326	9
1.4236	289.3274	10
1.6236	286.2143	11
1.8236	280.2275	12
2.0236	268.1618	13
2.2236	264.7171	14
2.4236	248.0647	15
2.5569	226.7149	16
2.6112	213.4887	17
2.6339	189.9468	18
2.6371	178.4706	19
2.6381	167.5102	20
2.6391	157.0103	21
2.6401	149.8446	22
2.6411	141.4262	23
2.6421	131.7921	24
2.6431	125.1053	25
2.6441	121.9738	26
2.6451	115.6370	27
2.6461	109.3739	28
2.6471	107.5318	29
2.6481	103.6266	30
2.6491	97.4372	31
2.6501	94.4346	32
2.6515	91.4320	33
2.6525	87.2505	34
2.6535	85.7768	35
2.6545	80.6374	36
2.6555	76.2900	37
2.6565	75.3137	38
2.6601	70.2480	39
2.6614	69.2164	40
2.6648	61.7191	41
2.6663	59.1218	42
2.6673	53.2087	43
2.6683	50.5745	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

)	2.6693	46.5219	45
)	2.6703	39.5220	46
)	2.6713	33.6826	47
)	2.6723	30.9010	48
)	2.6733	25.9274	49
)	2.6743	18.2275	50
)	2.6753	12.0012	51
)	2.6763	8.4275	52
)	2.6773	3.2329	53
)	2.6783	-4.3013	54
)	2.6793	-10.1591	55
)	2.6803	-13.7328	56
)	2.6813	-18.5590	57
)	2.6823	-25.4300	58
)	2.6833	-30.7352	59
)	2.6843	-34.2905	60
)	2.6853	-37.7536	61
)	2.6863	-42.4509	62
)	2.6873	-48.0140	63
)	2.6883	-52.8034	64
)	2.6893	-56.1744	65
)	2.6904	-58.8086	66
)	2.6914	-63.5612	67
)	2.6924	-66.3980	68
)	2.6938	-68.0928	69
)	2.6948	-73.0664	70
)	2.6958	-76.5111	71
)	2.6970	-77.4690	72
)	2.6980	-81.6874	73
)	2.6990	-84.9847	74
)	2.7007	-84.4505	75
)	2.7042	-90.1978	76
)	2.7063	-91.1925	77
)	2.7080	-94.0662	78
)	2.7640	-101.2319	79
)	2.8067	-119.2843	80
)	2.8183	-132.4737	81
)	2.8217	-137.4473	82
)	2.8228	-147.5972	83
)	2.8238	-153.0130	84
)	2.8248	-155.4445	85
)	2.8258	-158.1524	86
)	2.8268	-161.8918	87
)	2.8278	-164.6918	88
)	2.8288	-167.7128	89
)	2.8303	-167.1970	90
)	2.8350	-169.7760	91
)	2.8384	-171.0654	92
)	2.8490	-172.4654	93
)	2.8939	-178.1390	94
)	2.9725	-190.3705	95
)	3.0229	-220.4149	96
)	3.0281	-223.0491	97
)	3.0667	-222.7360	98
)	3.1972	-231.3385	99
)	3.3972	-241.1200	100
)	3.5972	-251.8041	101
)	3.7272	-260.1952	102



ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3972	-273.9460	105
4.5972	-276.1933	106
4.7972	-276.6170	107
4.9972	-279.3986	108



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ ตัวอย่างเอาท์พุทของโปรแกรม ELY ในการแคริเบรทอิเล็กโทรด

ELECTRODE FITTING PROGRAM

2.0, WINTER 1994
 DEPT. OF INDUSTRIAL CHEMISTRY
 WRITTEN BY DR. P. DOUNGDEE
 MIT LADKRABANG, BANGKOK 10520

CONVERGENCE SATISFY AFTER 10 LOOPS
 PARAMETERS CHANGE NOT MORE THAN .10 %

FINAL VALUES OF THE PARAMETERS :

CHI-SQR = 52.41651

PARAMETERS AND STANDARD DEV

PARAMETERS	411.58	-.18829
DEVIATION	1.8297	.19609E-03
DEVIATION	.44455	-.10414
DEPENDENCIES	.29168	.29168

CORRELATION COEFFICIENTS :

A 1	1.0000	
A 2	-.50439	1.0000

DEGREES OF FREEDOM = 19
 FINAL LAMBDA = .20000E-10

POINTS	EXP. MV	CAL. MV	RESIDUAL	PH
1	303.11	310.45	-7.3417	1.7628
2	304.78	310.44	-5.6542	1.7355
3	303.92	310.18	-6.2640	1.7496
4	298.35	307.83	-9.4733	1.8400
5	302.31	305.29	-2.9797	1.7756
6	301.49	302.55	-1.0622	1.7891
7	296.12	299.54	-3.4182	1.8762
8	294.93	296.22	-1.2926	1.8957
9	295.33	292.49	2.8382	1.8891
10	289.33	288.24	1.0831	1.9867

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11	286.21	283.28	2.9321	2.0373
12	280.23	277.30	2.9289	2.1345
13	268.16	269.73	-1.5636	2.3306
14	264.72	259.33	5.3849	2.3866
15	248.06	242.49	5.5771	2.6572
16	226.71	219.47	7.2431	3.0042
17	213.49	198.00	15.489	3.2191
18	189.95	178.72	11.226	3.6017
19	178.47	174.41	4.0577	3.7881
20	167.51	172.91	-5.4006	3.9663
21	157.01	171.32	-14.309	4.1369

THE LAST RESULT OF CALCULATION

CONCENTRATION OF ACID = .25000 SETRUN = 0

CONCENTRATION OF BASE = -.18829 SETRUN = 1

FINAL VALUE OF EZER = 411.58048 SETRUN = 1

FINAL VALUE OF SLOP = 61.53664 SETRUN = 0
OR CORRECTED FACTER = 1.00000

FINAL VALUE OF WCON = -13.25000 SETRUN = 0

INITIAL VOLUME = 22.00000

WORKING TEMPERATURE = 37.00000

TOTAL NO. OF PARAMETERS WERE FITED = 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ตัวอย่างอินพุตสำหรับโปรแกรม SUPER ในการหาค่าคงตัวเสถียรภาพของ
สารประกอบเชิงซ้อน DPDHP + Fe(II)

```

24a9701      atob_____ .001
  99      5      2      3
igand1
roton
 37.00  400.00 -400.00  9999.000
   3.89      1      1      1
  -8.65      1     -1      1
 -18.15      1     -2      1
 -13.25      0     -1      0

 1 1      .04185      .00000      0      0
 1 2      .60866     -.18829      0      0

 0 20.00000      .00200
 0 2 420.00000      5.00000      1      1.000

0      .0000  331.4559      1
0      .0010  329.6691      2
0      .0099  329.4665      3
0      .0776  328.4718      4
0      .2776  326.7218      5
0      .4776  321.9139      6
0      .6776  324.0508      7
0      .8776  317.4561      8
0      1.0776  311.7824      9
0      1.2776  312.6298     10
0      1.4776  305.1325     11
0      1.6776  305.0404     12
0      1.8776  289.7327     13
0      2.0776  293.2326     14
0      2.2776  275.8065     15
0      2.3718  234.9306     16
0      2.4642  277.8881     17
0      2.5097  273.0802     18
0      2.5247  267.4987     19
0      2.5268  274.6644     20
0      2.5278  282.7512     21
0      2.5288  283.1748     22
0      2.5298  287.6143     23
0      2.5308  285.6064     24
0      2.5318  284.2248     25
0      2.5330  285.1090     26
0      2.5358  287.0248     27
0      2.5457  284.5380     28
0      2.6338  252.7067     29
0      2.6453  263.2435     30
0      2.6467  272.1960     31
0      2.6497  279.0670     32
0      2.6507  281.2038     33
0      2.6524  279.1223     34

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	2.6646	280.1170	35
0	2.7237	235.5016	36
0	2.7273	222.6623	37
0	2.7283	262.7829	38
0	2.7293	273.0986	39
0	2.7303	273.6144	40
0	2.7348	276.1012	41
0	2.7378	274.2223	42
0	2.7404	276.9117	43
0	2.7428	275.8618	44
0	2.8821	185.8574	45
0	2.8958	225.2044	46
0	2.8980	247.7699	47
0	2.8990	250.9015	48
0	2.9000	253.7199	49
0	2.9010	246.6463	50
0	2.9020	259.0251	51
0	2.9030	259.0251	52
0	2.9040	260.5356	53
0	2.9050	263.7408	54
0	2.9062	261.1066	55
0	2.9089	261.8803	56
0	2.9152	264.3303	57
0	2.9219	258.7303	58
0	2.9275	263.1698	59
0	2.9366	260.0935	60
0	2.9485	254.1067	61
0	2.9769	255.8567	62
0	3.0112	253.5541	63
0	3.0773	226.7886	64
0	3.0881	231.8727	65
0	3.0949	230.9332	66
0	3.2949	38.0483	67
0	3.2981	17.7854	68
0	3.2991	5.0197	69
0	3.3001	3.4908	70
0	3.3011	4.3197	71
0	3.3076	- .4697	72
0	3.3152	- .1382	73
0	3.3898	-55.4560	74
0	3.3967	-77.3216	75
0	3.3977	-84.6163	76
0	3.3987	-88.5768	77
0	3.3997	-90.7688	78
0	3.4521	-107.0713	79
0	3.4722	-121.1817	80
0	3.4751	-121.6606	81
0	3.4779	-125.2711	82
0	3.4792	-125.8053	83
0	3.6362	-180.9022	84
0	3.6500	-186.2811	85
0	3.7073	-196.3389	86
0	3.7400	-203.0809	87
0	3.8035	-207.5940	88
0	3.8755	-218.5360	89
0	3.9134	-220.3965	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการรับประกันว่าข้อมูลนี้จะมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๐	4.2127	-240.1437	92	98
๐	4.4127	-244.8594	93	
๐	4.6127	-249.8699	94	
๐	4.8127	-256.0409	95	
๐	5.0127	-258.4356	96	
๐	5.2127	-265.0855	97	
๐	5.4127	-267.3513	98	
๐	5.6127	-269.6171	99	
๐	5.8127	-272.3065	100	
๐	6.0127	-271.9197	101	
๐	6.2127	-275.9539	102	
๐	6.4127	-278.6801	103	
๐	6.6127	-279.8959	104	
๐	6.8127	-278.7354	105	
๐	7.0127	-284.1512	106	

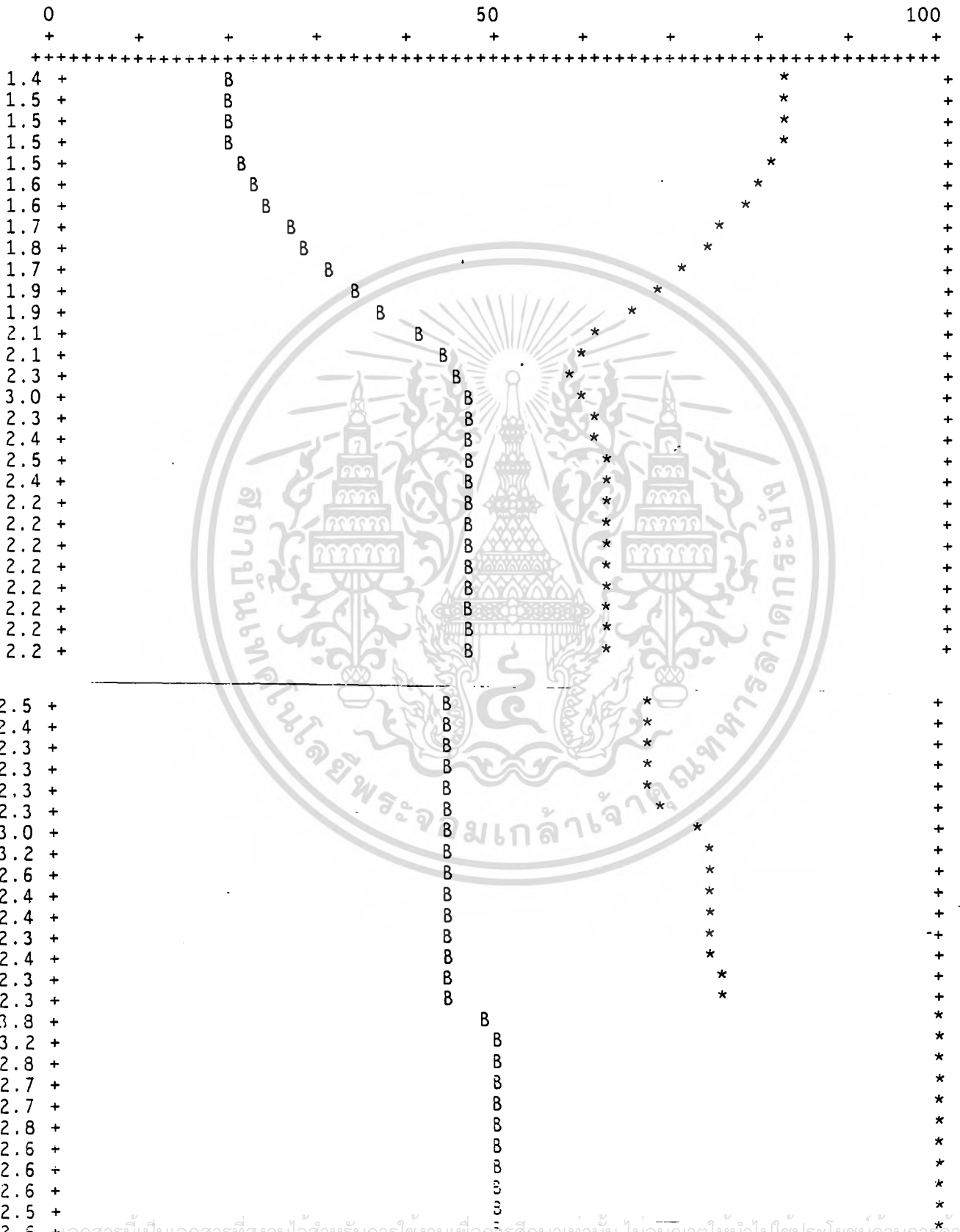


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24a9701 atob____.001

URVE 1

PERCENT FORMATION RELATIVE TO TOTAL CONCENTRATION OF proton



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1.0 +
1.0 +
1.1 +
1.2 +
1.2 +
1.2 +
1.2 +
1.3 +
1.4 +
1.4 +
1.4 +
1.4 +
top - Program terminated.

```

+
+
+
+
+
+
+
+
+
+
+
+
+



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- 1.บุญเลิศ อึ้งพงษ์พานิช, สุประภาดา โชติมณี “สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะทรานสิชัน กับ ไพริดอกซาลไอโซนิโคติโนอิลไฮดราโซน” วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี, ภาควิชาเคมี , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, ปีการศึกษา-2538
- 2.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล, ผศ. เคมีวิเคราะห์ 1, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2536
- 3.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล, ผศ. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2536
- 4.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล, ผศ. คณิศรา ตั้งคณานุกรม, ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 . , กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2537
- 5.Charles P. Gibson* and Kathy J. Putzer., Synthesis and Characterization of Anisometric Cobalt Nanoclusters, Science,1995 ,267,1338 , 1340
- 6.Peter Day ,The Chemistry of Magenets. , Science ., 1993 , 261, 431, 432
7. R.J.P.Williams and Nigel P. Hughes .,A Novel Ferromagnetic Inorganic-Organic Host-Guest System. Synthesis of Crystalline Small Magnetite Particles Complexed with Bis (pyridoxylidenehydrazino)phthalazine(DPDHP) at Ambient Temperature and Neutral pH., 1989 , 4183-4185