# การประยุกต์ใช้พีชคณิตเชิงเส้น ในกระบวนการแยกโปรตีน โดยพีเอช พาราเมตริกปั๊มปิง

นายศุภมิตร จตุพรฆ้องชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-408-8

เป็นลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19040606X

# THE APPLICATION OF LINEAR ALGEBRA IN PROTEIN SEPARATION SYSTEM VIA pH - PARAMETRIC PUMPING

MR.SUPAMIT JATUPONKONGCHAI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Grauate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-639-408-8

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การประยุกต์ใช้พีชคณิตเชิงเส้น ในกระบวนการแยกโปรตีน โดยพีเอช พาราเมตริก-ปั๊มปิง |
| ชื่อนิสิต | นายศุภมิตร จตุพรฆ้องชัย |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ |
| ภาควิชา | วิศวกรรมเคมี |

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัตินับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

( ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒณ์ ชุติวงศ์ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย สุกาญจนัจที )

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)

ศุภมิตร จตุพรม้องชัย : การประยุกต์ใช้พีชคณิตเชิงเส้น ในกระบวนการแยกโปรตีนโดย พีเอช-พาราเมตริก-ปั๊มปิง ( THE APPLICATION OF LINEAR ALGEBRA IN PROTEIN SEPARATION SYSTEM VIA **p**H - PARAMETRIC PUMPING ) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.อุรา ปานเจริญ ; 189 หน้า. ISBN 974-639-408-8.

การศึกษานี้เป็นการใช้หลักพีชคณิตเชิงเส้น เพื่อการทำนายผลการทดลอง ของการแยกสารผสมโปรตีน ด้วยเครื่องมือตามกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง ( pH parametric pumping ) สำหรับระบบสองคอลัมน์ โดยทำการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของโปรตีน ในแต่ละรอบของการทดลองแล้วนำผลการคำนวณไปเปรียบเทียบกับ ผลการทดลองจริง ( Chen, U.Pancharoen (1980)) โดยในการศึกษานี้ได้ตั้งสมมติฐานให้สมดุลของการแยกสารผสม เป็นฟังก์ชันโพลิโนเมียล ซึ่งในการทำนายผลการทดลองได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาเทอร์โบปาสคาลช่วยแก้ปัญหา พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถให้ผลในการทำนายที่แม่นยำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสมมติ แบบเดิมที่ให้สมดุลของการแยกสารผสมเป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้น รวมถึงการใช้โปรแกรมดังกล่าวในการทำนายผลการแยกสารโปรตีนในระบบหลายคอลัมน์

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต ศุภมิตร จตุพรม้องชัย

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

## 3971897021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING
KEY WORD: LINEAR ALGEBRA / PROTEIN SEPARATION / PH - PARAMETRIC PUMPING

SUPAMIT JATUPONKONGCHAI : THE APPLICATION OF LINEAR ALGEBRA IN PROTEIN SEPARATION SYSTEM VIA **p**H - PARAMETRIC PUMPING. THASIS ADVISOR :ASSOC.PROF. URA PANCHAROEN, Ph.D. 189 pp. ISBN 974-639-408-8.

The thesis is based on the linear algebra principle to predict the result of the experiment of the separation of protein though the pH - parametric pumping equipment in the two - column system (Chen, U.Pancharoen (1980)). The experiment used the pascal computer programme to determine the value of the protein concentration in several types of protein mixture. The experiment is based on equilibruim equation for protein separation , which is in the polinomial function. It found that theresult from the calculation through the linear algebra principle is accurate and reliable.

| | |
|---|---|
| ภาควิชา วิศวกรรมเคมี | ลายมือชื่อนิสิต ศุภมิตร จตุพงษ์ชัย |
| สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2541 | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม |

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.อุรา ปานเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีตลอด

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตารางประกอบ .....ฌ

สารบัญรูปประกอบ ..... ฎ

คำอธิบายสัญลักษณ์ ..... ฒ

บทที่

1. บทนำ ..... 1

1.1 งานวิจัยที่ผ่านมา ..... 3

1.2 ความสำคัญของปัญหา ..... 4

1.3 วัตถุประสงค์งานวิจัย ..... 5

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย ..... 5

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ..... 6

2. ทฤษฎี

2.1 การแยกสารผสมโปรตีนโดยกระบวนการพีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง แบบคอลัมน์เดียว ..... 7

2.2 การแยกสารผสมโปรตีนโดยกระบวนการพีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง แบบสองคอลัมน์ ..... 11

2.2.1 การทดลองแยกโปรตีน ฮีโมโกลบิน-อัลบูมิน รูปแบบที่ 1..... 11

2.2.2 การทดลองแยกโปรตีน ฮีโมโกลบิน-อัลบูมิน รูปแบบที่ 2..... 14

2.2.3 การทดลองแยกโปรตีน ฮีโมโกลบิน-อัลบูมิน รูปแบบที่ 3..... 19

2.2.4 การทดลองแยกโปรตีน ฮีโมโกลบิน-อัลบูมิน รูปแบบที่ 4..... 23

2.3 การแยกสารผสมโปรตีนโดยกระบวนการพีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง แบบหลายคอลัมน์ ..... 26

3. เครื่องมือและข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการทำนาย

3.1 การทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 28

3.2 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อการคำนวณตามหลักการทางพีชคณิต..... 30

4. ผลการคำนวณ

4.1 ผลการคำนวณเปรียบเทียบกับผลการทดลอง 3 รูปแบบการทดลอง..... 42

4.2 สมการค่าสมดุล..... 47

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทำนาย

5.1 วิจารณ์ผลการคำนวณ ..... 52

5.2 สรุปผลการคำนวณ ..... 63

รายการอ้างอิง ..... 66

ภาคผนวก ก..... 67

ภาคผนวก ข..... 76

ประวัติผู้เขียน ..... .189

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

4.1 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว ของรูปแบบการทดลองที่ 1 ..... 42

4.2 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว ของรูปแบบการทดลองที่ 2 ..... 43

4.3 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน อัลบูมิน ในสภาวะของเหลว ของรูปแบบการทดลองที่ 2 ..... 44

4.4 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว ของรูปแบบการทดลองที่ 4 ..... 45

4.5 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน อัลบูมิน ในสภาวะของเหลว ของรูปแบบการทดลองที่ 4 ..... 46

4.6 แสดงค่าคงที่ สำหรับสมการในการหาค่าสมดุลเพื่อใช้ในการคำนวณค่า ความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ..... 47

4.7 แสดงค่าคงที่ สำหรับสมการในการหาค่าสมดุลเพื่อใช้ในการคำนวณค่า ความเข้มข้นของโปรตีน อัลบูมิน ..... 48

4.8 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว ของรูปแบบการทดลองที่ 3 ..... 49

4.9 ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน อัลบูมิน ในสภาวะของเหลว ของรูปแบบการทดลองที่ 3 ..... 49

4.10ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว
ของรูปแบบการทดลองที่ 1 จำนวน 4 คอลัมน์..... 50

4.11ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว
ของรูปแบบการทดลองที่ 1 จำนวน 6 คอลัมน์..... 50

4.12ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว
ของรูปแบบการทดลองที่ 1 จำนวน 8 คอลัมน์..... .51

5.1ตารางเปรียบเทียบค่าคงที่สำหรับสมการในการหาค่าสมดุลเพื่อใช้ในการคำนวณ
ค่าความเข้มข้นของโปรตีน ฮีโมโกลบินกับค่าคงที่ของ Chen..... 64

5.2ตารางเปรียบเทียบค่าคงที่สำหรับสมการในการหาค่าสมดุลเพื่อใช้ในการคำนวณ
ค่าความเข้มข้นของโปรตีน อัลบูมินกับค่าคงที่ของ Chen ..... 64

# สารบัญรูปประกอบ

รูปที่ หน้า

1.1ระบบพาราเมตริก ปั๊ม ปิง แบบแบทช์..... 1

2.1กระบวนการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
แบบ 1 คอลัมน์..... 8

2.2 ผลการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊ม ปิง
แบบ 1 คอลัมน์..... 10

2.3 กระบวนการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊ม ปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่1..... 12

2.4 ผลการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊ม ปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่1..... 13

2.5 กระบวนการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่2.....14

2.6 ผลการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่2..... 17

2.7 กระบวนการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่3.....19

2.8 ผลการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่3.....21

2.9 กระบวนการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่4..... 23

2.10ผลการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
แบบ 2 คอลัมน์ รูปแบบที่4..... 25

2.11กระบวนการและ ผลการแยกสารผสม ด้วยกระบวนการ พีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง
ระบบหลายคอลัมน์ .....26

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองกระบวนการ พีเอช พาเมตริก
ปั๊มปิง ระบบสองคอลัมน์.....28

3.2 แผนภาพแสดงวิธีการทำงานของโปรแกรมคำนวณหาค่าความ
เข้มข้น ..... 37

5.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณ ของรูปแบบที่ 1
จำนวน 2 คอลัมน์..... 53.

5.2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณ ของรูปแบบที่ 1
จำนวน 4 คอลัมน์.....54

5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณ ของรูปแบบที่ 1
จำนวน 6 คอลัมน์.....55

5.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณ ของรูปแบบที่ 1
จำนวน 8 คอลัมน์.....56

5.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณของรูปแบบที่ 2
(ฮีโมโกลบิน)..... 57

5.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณของรูปแบบที่ 2 (อัลบูมิน)..... 58

5.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณของรูปแบบที่ 4 (ฮีโมโกลบิน)..... 59

5.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณของรูปแบบที่ 4 (อัลบูมิน)..... 60

5.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณของรูปแบบที่ 3 (ฮีโมโกลบิน)..... 61

5.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการคำนวณของรูปแบบที่ 3 (อัลบูมิน)..... 62

ก.1 รูปแสดงวิธีการทำนายผลการทดลองโดยใช้กราฟ ซึ่งสมดุลระหว่างวัฏภาคเป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้น ..... 68

ก.2 รูปแสดงวิธีการทำนายผลการทดลองโดยใช้กราฟ ซึ่งสมดุลระหว่างวัฏภาคไม่เป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้น ..... 70

ก.3 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบการทดลองที่ 1 (ฮีโมโกลบิน) ..... 71

ก.4 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบการทดลองที่ 2 (ฮีโมโกลบิน) ..... 72

ก.5 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบการทดลองที่ 2 (อัลบุมิน) ..... 72

ก.6 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบการทดลองที่ 3 (ฮีโมโกลบิน) ..... 73

ก.7 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบการทดลองที่ 3 (อัลบุมิน) ..... 73

ก.8 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบการทดลองที่ 4 (ฮีโมโกลบิน) ..... 74

ก.9 กราฟแสดงผลการทดลองรูปแบบการทดลองที่ 4 (อัลบุมิน) ..... 74

ก.10 รูปแสดงวิธีการทำนายผลการแยกโปรตีนในระบบที่ประกอบด้วยคอลัมน์ n ชุด...75

สัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

| | | |
|---|---|---|
| A | = | ค่าคงที่สำหรับสมการสมดุลของการแยกสารผสม |
| $A^+$, $A^-$ | = | โปรตีน A ที่แสดงประจุบวก และลบ |
| B | = | ค่าคงที่สำหรับสมการสมดุลของการแยกสารผสม |
| C | = | ค่าคงที่สำหรับสมการสมดุลของการแยกสารผสม |
| D | = | ค่าคงที่สำหรับสมการสมดุลของการแยกสารผสม |
| i | = | ลำดับของขั้นตอน |
| $I_A$ | = | จุดไอโซอิเลคตริก |
| j | = | ขั้นตอนการถ่ายเท |
| $K_{p1}$,$K_{p2}$,$K_{p3}$ | = | ค่าสมดุลของการแยกสาร ซึ่งหาได้ที่ระดับpH$_1$,pH$_2$,pH$_3$ |
| $K^+_{p1}$,$K^-_{p1}$ | = | ค่าสมดุลของการแยกสาร ซึ่งหาได้ที่ระดับpH$_1$ในคอลัมน์ที่บรรจุตัวแลก เปลี่ยนประจุลบ และประจุบวก ตามลำดับ |
| N | = | จำนวนขั้นตอน |
| n | = | จำนวนรอบในการทำการทดลอง |
| $pH_1$,$pH_2$,$pH_3$ | = | ค่าความเป็นกรดด่างที่ระดับ 1,2 และ 3 |
| $R^+$,$R^-$ | = | คอลัมน์ที่บรรจุตัวแลกเปลี่ยนประจุลบ และประจุบวก |
| TR,BR,MR,SR | = | ถังพักด้านบน,ด้านล่าง,ตรงกลาง และด้านข้างที่ใช้ในการทดลอง |
| V,V | = | ปริมาตรของเหลว และของแข็ง |
| $V_T$,$V_B$ | = | ปริมาตรถังพักด้านบนและด้านล่าง |
| X | = | ความเข้มข้นในวัฏภาคของแข็ง |
| Xo,Yo | = | ความเข้มข้นในวัฏภาคของแข็งและของเหลวก่อนเริ่มทำการทดลอง |
| $X_T$,$Y_T$ | = | ความเข้นข้นในวัฏภาคของแข็งและของเหลวสำหรับถังพักด้านบน |
| $X_B$,$Y_B$ | = | ความเข้มข้นของวัฏภาคของแข็งและของเหลวสำหรับถังพักด้านล่าง |
| $X_M$,$Y_M$ | = | ความเข้มข้นในวัฏภาคของแข็งและของเหลวสำหรับสำหรับถังพักตรงกลาง |
| $X_S$,$Y_S$ | = | ความเข้มข้นในวัฏภาคของแข็งและของเหลวสำหรับสำหรับถังพักด้านข้าง |
| Y | = | ความเข้มข้นในวัฏภาคของเหลว |
| $\alpha$ | = | สัมประสิทธิ์แสดงความสามารถในการยึดติดโปรตีนของตัวแลก |