การสังเคราะห์โครงข่ายการแลกเปลี่ยนมวลโดยคำนึงถึงความไม่แน่นอน

นาย สมศักดิ์ คงดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MASS EXCHANGER NETWORKS SYNTHESIS WITH UNCERTAINTY CONSIDERATION

Mr. Somsak Khongdee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

511907

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลโดยคำนึงถึงความไม่แน่นอน
โดย	นาย สมศักดิ์ คงดี
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. สุรเทพ เขียวหอม)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศราวุธ ริมดุสิต)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อมรชัย อาภรณ์วิชาณพ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา)

สมศักดิ์ คงดี : การสังเคราะห์ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลโดยคำนึงถึงความไม่แน่นอน (MASS EXCHANGER NETWORKS SYNTHESIS WITH UNCERTAINTY CONSIDERATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:อ.ดร.สุรเทพ เขียวหอม, 82 หน้า.

วิธีการสังเคราะห์ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลเพื่อนำไปใช้ในระบบบำบัดของเสียได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องโดยอ้างอิงแนวคิดในการวิเคราะห์จุดพินช์ (Pinch analysis) และการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ โดยในงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาจะกำหนดสภาวะการดำเนินงานที่ทางเข้าข่ายงานไว้คงที่โดยไม่คิดความไม่แน่นอนต่างๆของกระบวนการส่งผลให้คำตอบที่ได้ไม่สอดคล้องกับระบบจริงในอุตสาหกรรม ดังนั้นเพื่อรองรับความไม่แน่นอนของกระบวนดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการสังเคราะห์ข่ายงานที่มีการคำนึงถึงความไม่แน่นอนของสภาวะการดำเนินงานที่ทางเข้าโดยใช้วิธีการออพติไมเซชันสองขั้นตอน (Two stages optimization) โดยงานวิจัยนี้จะพิจารณาหน่วยปฏิบัติการ 2 แบบคือ หอสกัดแบบชั้น (Tray extraction column) และหอสกัดแบบต่อเนื่อง (Pack extraction column) สำหรับกรณีศึกษาที่พิจารณา คือ 1) ข่ายงานในการสกัดไอออนโลหะทองแดงออกจากสายของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ etching (copper recovery in an etching process) และ 2) กระบวนการนำกลับฟีนอลที่เกิดขึ้นในกระบวนการแปรสภาพถ่านหิน (Removal/recovery of phenol from aqueous waste streams of a coal conversion plant) ผลจากการคำนวณพบว่ากรณีที่สัดส่วนโดยมวลมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของข่ายงานมากกว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนโดยมวลมีแนวโน้มที่จะทำให้ปริมาณของสารที่ต้องถ่ายโอนมวลมีปริมาณมากขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของข่ายงานที่สังเคราะห์จากวิธีการที่เสนอในงานวิจัยนี้กับข่ายงานที่สังเคราะห์ได้จากงานวิจัยก่อนหน้าจะเห็นว่ากรณีที่ต้องรองรับความแปรปรวนเดียวกันแล้วข่ายงานที่สังเคราะห์โดยคำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนจะมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่าและรองรับกับความแปรปรวนที่เกิดขึ้นได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....
สาขาวิชา..... .วิศวกรรมเคมี.....
ปีการศึกษา.....2551.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

4870503721 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS: MASS EXCHANGER NETWORK / SUPERSTRUCTURE / UNCERTAINTY

SOMSAK KHONGDEE: MASS EXCHANGER NETWORKS SYNTHESIS WITH UNCERTAINTY CONSIDERATION. ADVISOR: SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D., 82 pp.

The methods to synthesize a mass exchanger network (MEN) implemented in waste treatment system have been continuously developing by using the concept of pinch analysis and mathematical programming. In most of previous researches, input streams with constant conditions have been considered by neglecting process uncertainties. Unfortunately, the solutions obtained may not reflect the real plant conditions. In order to handle the process uncertainties in input streams, this work proposed the method to synthesize a mass exchanger network with input stream uncertainty consideration by using two stage optimization. We consider two type of unit operation including tray and pack extraction columns. Two case studies:

1) copper recovery in an etching process, 2) recovery of phenol from aqueous waste streams of a coal conversion plant are used to illustrate our method. The results show that the composition variation affects the operation cost lager than the flow rate variation. Because, composition tends to increase a mass load to transfer in MEN. We compare total cost of MEN which synthesized by our method with MEN that of proposed in previous research. With the same level of uncertainty, the cost of our network is lower than that of proposed in previous research. Moreover the MEN obtained using our method can handle the given uncertainty.

Department : Chemical Engineering Student's Signature Somsak Khongdee

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature Soorathep Kheawhom

Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยความช่วยเหลือจากท่าน ตลอดจนข้อเสนอแนะแนวความคิดต่างๆของงานวิจัยด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี ประธานกรรมการ ผศ. ดร.วีรวัฒน์ ปัตทวีคงคา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย และรศ. ดร. ศราวุธ ริมดุสิต และ ผศ. ดร. อมรชัย อาภรณ์วิชานพ ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความสนใจและได้ข้อคิดที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เป็นแหล่งความรู้ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาค้นคว้าตลอดการทำงานวิจัย และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และบัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยเหลือในด้านการศึกษาแลการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จการศึกษา ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ และน้องๆ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้ผู้ทำการวิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และผู้มีอุปการะคุณที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ

1.1 บทนำ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตงานวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย..... 3

1.5 ขั้นตอนการวิจัย..... 4

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 การหาขนาดของหน่วยแลกเปลี่ยนมวล..... 5

2.2 การหาข่ายงานแลกเปลี่ยนมวลที่เหมาะสม..... 5

2.3 การหาค่าต่ำที่สุดภายใต้สภาวะความไม่แน่นอน..... 6

3. ทฤษฎีบท

3.1 ระบบการแลกเปลี่ยนมวล..... 8

3.2 สมดุลวัฏภาค..... 9

3.3 การกำหนดชนิดและขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนมวล..... 10

3.4 การสังเคราะห์ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวล..... 15

หน้า

3.5 การสร้างแบบจำลอง..... 19
3.6 ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน..... 29
3.7 กรณีศึกษา..... 34

4. ผลการคำนวณ
4.1 การหาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลภายใต้ความไม่แน่นอนของสภาวะการดำเนินงาน..... 37
4.2 ผลการคำนวณ..... 39

5. สรุปและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการคำนวณ..... 53
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 53
รายการอ้างอิง..... 54
ภาคผนวก..... 55
ภาคผนวก ก..... 56
ภาคผนวก ข..... 60
ภาคผนวก ค..... 71
ประวัติผู้เขียน..... 82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงรายละเอียดของสายของเสีย	34
3.2 แสดงรายละเอียดของสายตัวทำละลาย	34
3.3 แสดงรายละเอียดของสายของเสีย	35
3.4 แสดงรายละเอียดของสายของตัวทำละลาย	35
3.5 แสดงรายละเอียดของสายของหน่วยการนำกลับ	36
4.1 ค่าใช้จ่ายของข่ายงานที่เหมาะสม	40
4.2 ค่าใช้จ่ายของข่ายงานที่เหมาะสมภายใต้สภาวะความไม่แน่นอน	41
4.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของสัดส่วนโดยมวลที่ทางเข้าของทองแดงในสารละลายแอมโมเนีย	42
4.4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของสัดส่วนโดยมวลที่ทางเข้าของทองแดงในสายน้ำล้าง	43
4.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของอัตราการไหลที่ทางเข้าของสายสารละลายแอมโมเนีย (R1)	44
4.6 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของอัตราการไหลที่ทางเข้าของสายน้ำล้าง (R2)	45
4.7 ค่าใช้จ่ายของข่ายงานที่เหมาะสมภายใต้สภาวะความไม่แน่นอน	47
4.8 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของอัตราการไหลของสาย R1	47
4.9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของอัตราการไหลของสาย R2	48
4.10 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของอัตราการไหลของสาย R3	49
4.11 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของอัตราการไหลของสาย R4	50
4.12 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของสัดส่วนโดยมวลที่ทางเข้า R2	50

ตารางที่ หน้าที่

4.13 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของสัดส่วนโดยมวลที่ทางเข้า R3 51

4.14 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่อปีของข่ายงานที่ทำงานภายใต้สภาวะความไม่แน่นอนของสัดส่วนโดยมวลที่ทางเข้า R4 52

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
3.1 หอกลั่นแบบชั้น	11
3.2 กราฟ McCabe-Thiele	11
3.3 ไดอะแกรมที่แสดงการถ่ายโอนมวล	15
3.4 การทำสมดุลมวลของแต่ละช่วง	17
3.5 แผนภาพการถ่ายโอนมวลแบบช่วงต่อกันของระบบ dephenolization	17
3.6 แสดงข่ายงานขนาดใหญ่ที่แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน	23
3.7 แผนผังการทำงานของอัลกอริทึม DE	31
4.1 แผนภาพกระบวนการ (Coal conversion) และ ข่ายงานแลกเปลี่ยนมวล	37
ก-1 ข่ายงานแลกเปลี่ยนมวลที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของสภาวะการดำเนินงานที่เสนอ โดย Chen et al (2005)	56
ก-2 ข่ายงานแลกเปลี่ยนมวลที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของสภาวะการดำเนินงานที่ คำนวณได้จากงานวิจัยนี้	57
ก-3 ข่ายงานแลกเปลี่ยนมวลที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของสภาวะการดำเนินงานที่เสนอ โดย Chen et al (2005)	58
ก-4 ข่ายงานแลกเปลี่ยนมวลที่ไม่คำนึงถึงความไม่แน่นอนของสภาวะการดำเนินงานที่ คำนวณได้จากงานวิจัยนี้	59
ข-1 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ สัดส่วนโดยมวลที่ทางเข้าของสายสารละลายแอมโมเนียเท่ากับ 0.13-0.26	60
ข-2 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวน สัดส่วนโดยมวลที่ทางเข้าของสายน้ำล้างเท่ากับ 0.06-0.12	61
ข-3 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ อัตราการไหลที่ทางเข้าของสายสารละลายแอมโมเนียเท่ากับ 0.25-0.50 kg/s	62
ข-4 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ อัตราการไหลที่ทางเข้าของสายน้ำล้างเท่ากับ 0.10-0.20 kg/s	63
ข-5 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ สัดส่วนโดยมวลของฟีนอลที่ทางเข้าของสาย R2 เท่ากับ 0.07-0.14	64
ข-6 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ	

สัดส่วนโดยมวลของฟีนอลที่ทางเข้าของสาย R3 เท่ากับ 0.02-0.04..... 65
ข-7 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ
สัดส่วนโดยมวลของฟีนอลที่ทางเข้าของสาย R4 เท่ากับ 0.03-0.06..... 66
ข-8 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ
อัตราการไหลที่ทางเข้าของสาย R1 เท่ากับ 3.30 – 6.60 kg/s..... 67
ข-9 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวนของ
อัตราการไหลที่ทางเข้าของสาย R2 เท่ากับ 0.60 - 0.12 kg/s..... 68
ข-10 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวน
ของอัตราการไหลที่ทางเข้าของสาย R3 เท่ากับ 1.40 – 2.80 kg/s..... 69
ข-11 ข่ายงานการแลกเปลี่ยนมวลที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่สามารถรองรับความแปรปรวน
ของอัตราการไหลที่ทางเข้าของสาย R4 เท่ากับ 0.20 - 0.40 kg/s..... 70
ค-1 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอน..... 71
ค-2 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.15..... 72
ค-3 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.17..... 72
ค-4 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.20..... 72
ค-5 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.22..... 72
ค-6 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.24..... 73
ค-7 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.26..... 73
ค-8 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.07..... 73
ค-9 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.08..... 73
ค-10 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.09..... 73
ค-11 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.10..... 74
ค-12 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.11..... 74
ค-13 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.12..... 74
ค-14 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.275 kg/s..... 74
ค-15 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.30 kg/s..... 74
ค-16 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.325 kg/s..... 75
ค-17 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.35 kg/s..... 75
ค-18 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.375 kg/s..... 75
ค-19 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.40 kg/s..... 75
ค-20 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.50 kg/s..... 75

ค-21 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.12 kg/s..... 76
ค-22 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.14 kg/s..... 76
ค-23 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.16 kg/s..... 76
ค-24 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.18 kg/s..... 76
ค-25 ผลจากการคำนวณเมื่อความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.20 kg/s..... 77
ค-26 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอน..... 77
ค-27 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 3.6 kg/s.... 77
ค-28 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 3.80 kg/s.. 78
ค-29 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 4.00 kg/s.. 78
ค-30 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 4.40 kg/s.. 78
ค-31 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.70 kg/s.. 79
ค-32 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.90 kg/s.. 79
ค-33 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 1.2 kg/s.... 79
ค-34 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 1.4 kg/s... 80
ค-35 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 2.6 kg/s.... 80
ค-36 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.25 kg/s.. 80
ค-37 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.11..... 81
ค-38 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.03..... 81
ค-39 ผลการคำนวณของโปรแกรมเมื่อไม่คำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนเท่ากับ 0.03..... 81