

การจัดตารางการผลิตแบบกะที่ดีที่สุด ของกระบวนการผลิตซัสเพนชันโพลีไวนิลคลอไรด์



นายสาธิต อูสาหะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 0 7 1 5 3 4 9 2 1

**OPTIMAL BATCH SCHEDULING OF SUSPENSION
POLYVINYL CHLORIDE PRODUCTION**


Mr. Sathit Usaha

**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 2009
Copyright of Chulalongkorn University**

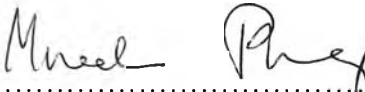
522235

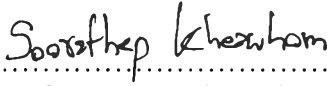
Thesis Title OPTIMAL BATCH SCHEDULING OF SUSPENSION
POLYVINYL CHLORIDE PRODUCTION
By Mr. Sathit Usaha
Field of Study Chemical Engineering
Thesis Advisor Assistant Professor Soorathep Kheawhom, Ph.D.


Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

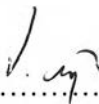

..... Dean of the Faculty of Engineering
(Associate Professor Boonsom Lerdkhironwong, Dr.Ing.)

THESIS COMMITTEE


..... Chairman
(Associate Professor Muenduen Phisalaphong, Ph.D.)


..... Thesis Advisor
(Assistant Professor Soorathep Kheawhom, Ph.D.)


..... Examiner
(Assistant Professor Amornchai Arpornwichanop, D.Eng.)


..... External Examiner
(Prakorn Ramakul, D.Eng.)

สาริต อุสาหะ : การจัดตารางการผลิตแบบกะที่ดีที่สุด ของกระบวนการผลิต
 ชัสเพนชันโพลีไวนิลคลอไรด์ (OPTIMAL BATCH SCHEDULING OF
 SUSPENSION POLYVINYL CHLORIDE PRODUCTION)
 อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. สุรเทพ เขียวหอม, 97 หน้า.

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาตารางการผลิตแบบกะที่ดีที่สุดของกระบวนการผลิตชัสเพนชันโพลีไวนิลคลอไรด์ ซึ่งกระบวนการผลิตนี้มีลักษณะผสมผสานระหว่างการผลิตแบบกะและแบบต่อเนื่อง ในส่วนการผลิตแบบกะจะประกอบด้วยเครื่องปฏิกรณ์จำนวนสองเครื่องทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน เพื่อเปลี่ยนสารตั้งต้นคือไวนิลคลอไรด์มอนอเมอร์เป็นโพลีไวนิลคลอไรด์ โดยมีสายป้อนสารตั้งต้นและหน่วยสนับสนุนการผลิตอื่นร่วมกัน โดยเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองนี้จะต่อขนานกัน และไม่สามารถเริ่มการผลิตในเวลาเดียวกันได้ เครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองจะต่ออนุกรมกับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในลำดับถัดมา โดยในการศึกษาจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เมทแลบในการสร้างแบบจำลองของกระบวนการผลิตซึ่งเป็นแบบจำลองเชิงพลวัตโดยธรรมชาติ จากนั้นใช้เทคนิคการแปลงตัวแปรต่างๆซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลาให้อยู่ในรูปอนุกรมของตัวแปรในแต่ละช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้แบบจำลองที่ได้อยู่ในรูปของระบบสมการพีชคณิต ผลจากการจำลองกระบวนการนำไปสอบเทียบกับข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงพบว่าได้ผลสอดคล้องกัน จากนั้นจะหาตารางการผลิตแบบกะที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของสมดุลมวล ข้อจำกัดของหน่วยสนับสนุนการผลิตต่าง ตลอดจนข้อจำกัดทางกลของอุปกรณ์อื่นๆในกระบวนการผลิต โดยในการหาเวลาที่เหมาะสมของการเริ่มการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์แต่ละเครื่องในแต่ละกะภายในช่วงเวลาการผลิตที่กำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เม็ดพลาสติกชัสเพนชันโพลีไวนิลคลอไรด์ในปริมาณสูงสุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ระเบียบวิธีในการหาตารางการผลิตคือวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันนารีอัลกอริธึม พบว่าการเริ่มกระบวนการผลิตของเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองตามที่ได้จากวิธีนี้ในช่วงเวลาการผลิตหนึ่งวันจะได้เม็ดพลาสติกเพิ่มขึ้นร้อยละสิบเก้า จากปริมาณการผลิตปกติโดยเฉลี่ย ผลงานวิจัยนี้ยังสามารถช่วยลดความสูญเสียจากการทดลองในกระบวนการผลิตจริงและลดผลกระทบต่อด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
 สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
 ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อ.....
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5071534921 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : BATCH SCHEDULING / POLYVINYL CHLORIDE PROCESS

SATHIT USAHA: OPTIMAL BATCH SCHEDULING OF SUSPENSION
POLYVINYL CHLORIDE PRODUCTION

THESIS ADVISOR: ASSIST.PROF SOORATHEP KHEAWHOM, Ph.D.,
97 pp.

This work studies optimal batch scheduling of suspension polyvinyl chloride production process, which is a hybrid process consisting of batch and continuous operation. The batch operation consists of two polymerization reactors to convert raw material of vinyl chloride monomer to polyvinylchloride, where raw material feed stream and utility supply units are shared. These two reactors are connected in a parallel fashion, and cannot be started simultaneously. The outputs from these reactors are then serially connected with the continuous production section. In our study, the computer program called Matlab, is used to develop a model of production process which is dynamic in nature. We use a discretization technique to convert time-dependent variables to series of variables of a short time period. Thus, the resulting model is in the form of a system of algebraic equations. The model formulated is then validated with the data from real production. The obtained results are well agreement with the data obtained from real production. The optimal batch schedule under given mass balance, utility supply unit, and other equipments mechanical constraints is then determined, where the objective of the search is to maximize the production of polyvinylchloride under given circumstances. The algorithm used to optimize the operation schedule is differential evolutionary algorithm. It was found that the solution obtained results in 19% increasing of production compared with average normal operation. The results obtained from this work also contribute to decreasing of loss that may be occur during experiment in real production process, decreasing of safety and environment impacts.

Department : Chemical Engineering

Field of Study : Chemical Engineering

Academic Year: 2009

Student's Signature

Sathit Usaha

Advisor's Signature

Soorathep Kheawhom

ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to gratefully acknowledge his advisor, Assistant Professor Doctor Soorathep Kheawhom, for being such a great driving force for his study. He also would like to register his thanks to Associate Professor Doctor Muenduen Phisalaphong, as the chairman, Assistant Professor Doctor Amornchai Arpornwichanop and Doctor Prakorn Ramakul, who have been member of thesis committee.

Gratitude is also expressed to Mr. Jamlong Khamphachua for his kind suggestion and useful help during his study. To the many others, not specifically named, who have provided him with information, support and encouragement, please be assure that he think of you.

Finally, he would like to dedicate the achievement of his work to his parents, who always been the source of his support and encouragement.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (IN THAI).....	v
ABSTRACT (IN ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	ix
LIST OF FIGURES.....	x
CHAPTER	
I INTRODUCTION.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Research problem.....	4
1.3 Objectives.....	5
1.4 Scope of research and assumptions.....	5
1.4.1 Scope of research.....	5
1.5 Material and methods.....	6
1.6 Objective function.....	7
1.7 Assumption.....	7
1.8 Benefit.....	7
1.9 Research procedures and the sources of data.....	7
1.9.1 Research procedure.....	7
1.9.2 Sources of data.....	9
II THEORIES AND LITERATURE REVIEWS.....	10
2.1 Theories.....	10
2.1.1 Properties of polyvinylchloride.....	12
2.2 Suspension Polyvinyl chloride process description.....	12
2.2.1 Suspension polyvinyl chloride polymerization.....	14
2.2.2 Degassing and stripping.....	14
2.2.3 Drying unit.....	15
2.3 Design and scheduling of batch processes.....	15
2.3.1 Single product batch plant (Lorenz T. Biegler, 1999).....	15
2.3.2 Parallel unit and intermediate storage (Lorenz T. Biegler, 1999).....	17
2.3.3 Horizon constrains for flowshop plants-single product campaign (Lorenz T. Biegler, 1999).....	19
2.4 Literature review.....	22
2.4.1 Computer software tool for batch scheduling.....	22
2.4.2 Hand calculation for create algorithm model for batch scheduling.....	23
III PROCEDURE OF SIMULATION AND OPTIMIZATION.....	27
3.1 System overview.....	27
3.2 Autoclave time estimation.....	28
3.3 Utilities constrained.....	33
3.3.1 Verify formula of utilities limitation input in model simulation.....	34
3.4 Discharge time and flow rate estimation.....	35
3.5 Mass and volume calculation in DGZ.....	39
3.6 Introduction of flow control and volume estimation.....	40

CONTENTS (cont.)

	PAGE
3.7 Verify formula of slurry feeding and production input in model simulation.....	42
3.7.1 Principle to find slurry flow out DGZ.....	43
3.7.2 Principle to find minimum slurry flow out DGZ.....	44
3.7.3 Principle to find maximum slurry flow out DGZ.....	44
3.7.4 Production calculation.....	45
3.8 Engineering optimization.....	46
3.8.1 Constrained optimization problem.....	47
3.8.2 Differential evolutionary algorithm.....	47
IV VERIFY SIMULATION MODEL AND OPTIMIZATION.....	50
4.1 Verify simulation.....	50
4.2 Optimization.....	59
V Conclusion.....	61
5.1 Conclusion.....	61
5.2 Recommendations.....	61
REFERENCES.....	63
APPENDICES.....	64
APPENDIX A. CALCULATION OF DISCHARGE TIME AND FLOW RATE ESTIMATION.....	65
APPENDIX B. DERIVE FORMULA OF DEGASSER.....	67
APPENDIX C. RESULT FROM OPTIMIZATION PROGRAM.....	70
APPENDIX D. MATH LAB SIMULATION PART PRINT OUT.....	93
VITA.....	97

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
1.1	Capacity and limitation of equipment in train.....	6
1.2	Raw material and utilities for suspension polyvinyl chloride production.....	6
2.1	Properties of Polyvinyl chloride.....	12
3.1	Gantt chart of suspension polyvinyl chloride production grade 266RC in AC1.....	29
3.2	Gantt chart of suspension polyvinyl chloride production grade 266RC in AC2.....	30
3.3	Summary of Gantt chart from batch AC1.....	31
3.4	Summary of Gantt chart from batch AC2.....	31
3.5	AC time estimation from reactor 1 and 2.....	33
3.6	Summary of utilities limitation supply for both reactors.....	34
3.7	Discharge flow rate from AC1.....	37
3.8	Discharge flow rate from AC2.....	38
4.1	Summary from Trial 1.....	51
4.2	Summary from Trial 2.....	52
4.3	Summary from Trial 3.....	53
4.4	Summary from Trial 4.....	54
4.5	Summary from Trial 5.....	55
4.6	Summary from Trial 6.....	56
4.7	Summary from Trial 7.....	57
4.8	Production comparison between real process and simulation.....	58
4.9	Production comparison between real process and adjusted simulation.....	59
4.10	Maximum production from optimization and start batch time.....	60

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
1.1	Box diagram of suspension polyvinyl chloride production line before revamping.....	2
1.2	Box diagram of suspension polyvinyl chloride production line after revamping.....	3
1.3	Process flow diagram of the Suspension polyvinyl chloride after revamping.....	4
1.4	Control schematic of discharging and degasser.....	4
1.5	Research procedure.....	8
2.1	Polymerization from vinyl chloride to be polyvinyl chloride.....	11
2.2	The chain symbol of polyvinyl chloride.....	11
2.3	Process flow diagram of suspension polyvinylchloride production line.....	13
2.4a	Non-overlapping mode operation (Lorenz T. Biegler, 1999).....	17
2.4b	Overlapping mode operation (Lorenz T. Biegler, 1999).....	17
2.5	Gantt chart for fermentation plant (Lorenz T. Biegler, 1999).....	18
2.6	Plant with parallel units in fermenter (Lorenz T. Biegler, 1999)...	19
2.7	Fermentation plant with intermediate storage (Lorenz T. Biegler, 1999).....	19
2.8	Gantt charts with one unit per stage (Lorenz T. Biegler, 1999)....	20
2.9	Gantt chart for two parallel reactors (Lorenz T. Biegler, 1999)....	22
2.10	Switching signal mode for PVC batch process (Datu Rizal, Shinichi Tani, Kimitoshi Nishiyama, Kazuhiko Suzuki (2006))...	24
3.1	Batch switching from AC1 and AC2 to DGZ.....	27
3.2	Operation module along batch separates by phase.....	32
3.3	Phase time estimation diagram.....	33
3.4	Diagram of slurry discharging from AC to DGZ.....	35
3.5	Graph shows discharge flow rate from AC1.....	37
3.6	Graph shows discharge flow rate from AC2.....	39
3.7	Volume versus percentage in DGZ.....	39
3.8	Block diagram of optimal DGZ feeding.....	40
3.9	Simple diagrams for understanding cost function and constrained	42
3.10	Feed rate calculation selection.....	42
3.11	Simple diagram for described derive equation.....	42
3.12	Flowchart of the differential evolutionary algorithm.....	49
4.1	Real process operation in Trial 1.....	51
4.2	Graph of volume in DGZ from simulation in Trial 1.....	51
4.3	Real process operation in Trial 2.....	52
4.4	Graph of volume in DGZ from simulation in Trial 2.....	52
4.5	Real process operation in Trial 3.....	53
4.6	Graph of volume in DGZ from simulation in Trial 3.....	53
4.7	Real process operation in Trial 4.....	54
4.8	Graph of volume in DGZ from simulation in Trial 4.....	54

LIST OF FIGURES (cont.)

FIGURE		PAGE
4.9	Real process operation in Trial 5.....	55
4.10	Graph of volume in DGZ from simulation in Trial 5.....	55
4.11	Real process operation in Trial 6.....	56
4.12	Graph of volume in DGZ from simulation in Trial 6.....	56
4.13	Real process operation in Trial 7.....	57
4.14	Graph of volume in DGZ from simulation in Trial 7.....	57
4.15	Linear regression between real process and simulation.....	58