การประยุกต์ใช้วิธีเจนเนอรัลไลซ์รีดิวซ์เกรเดียนต์กับปัญหาการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าร่วมกันของโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์

นายวัชรา ขนิษฐบุตร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-569-869-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016142

1030342x

APPLICATIONS OF GENERALIZED REDUCED GRADIENT METHOD TO THE COGENERATION PROBLEM IN A SYNTHETIC FIBRE PLANT

MR. WUCHARA KANIDTABUD

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements

For the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Thesis Title	Applications of Generalized Reduced Gradient Method to the Cogeneration Problem in a Synthetic Fibre Plant
By	Mr. Wuchara Kanidtabud
Department	Chemical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfilment of the Requirements for the Master's Degree.

---------- Dean of Graduate School

(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Committee

---------- Chairman

(Associate Professor Chairit Satayaprasert)

---------- Member

(Associate Professor Sutham Vanichseni)

---------- Member

(Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee)

---------- Member

(Associate Professor Wiwut Tanthapanichakoon)

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัชรา ขนิษฐบุตร : การประยุกต์ใช้วิธีเจนเนอรัลไลซ์รีดิวซ์เกรเดียนต์กับปัญหาการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าร่วมกันของโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ (APPLICATIONS OF GENERALIZED REDUCED GRADIENT METHOD TO THE COGENERATION PROBLEM IN A SYNTHETIC FIBRE PLANT) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 189 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงผลที่ราคาน้ำมัน, ราคาไฟฟ้า, ปริมาณคอนเดนเสทที่เก็บกลับ, ราคาขายไอน้ำ, ปริมาณไอน้ำที่ขายตลอดจนผลที่ความต้องการของยูทิลิตีโดยกระบวนการมีต่อเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในระบบการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้าร่วมกันของโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ที่มีอยู่ในประเทศไทย

ผลของการออปติไมเซชันแสดงให้เห็นชัดเจนว่า เมื่อราคาไฟฟ้าเป็น 1.438 บาท/กิโลวัตต์ และราคาน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 2.62 บาท/ลิตร เป็น 5.00 บาท/ลิตร ระบบควรผลิตไอน้ำน้อยลงและซื้อไฟฟ้ามาใช้มากขึ้น ในทางกลับกันเมื่อราคาน้ำมันเป็น 2.62 บาท/ลิตร และราคาไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 1.438 บาท/กิโลวัตต์ เป็น 1.869 บาท/กิโลวัตต์ จะได้ว่าควรผลิตไอน้ำมากขึ้นเพื่อผลิตไฟฟ้าขึ้นเองมาก โดยซื้อไฟฟ้ามาใช้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากการประยุกต์ใช้วิธีออปติไมเซชันแบบ GRG พบว่าเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุดช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านยูทิลิตีได้ถึง 331 บาท/ชั่วโมง เมื่อเทียบกับเงื่อนไขการปฏิบัติงานเดิมของทางโรงงาน ปริมาณน้ำคอนเดนเสทที่เก็บกลับและราคาขายไอน้ำไม่มีผลต่อเงื่อนไขการปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบ แต่ผลของการเพิ่มปริมาณไอน้ำที่ขายให้โรงงานอื่นนั้นจะคล้ายกับผลของการเพิ่มความต้องการไอน้ำของระบบ

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต วัชรา ขนิษฐบุตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WUCHARA KANIDTABUD : APPLICATIONS OF GENERALIZED REDUCED GRADIENT METHOD TO THE COGENERATION PROBLEM IN A SYNTHETIC FIBRE PLANT. THESIS ADVISOR : PROF.WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D. 189 PP.

The present work investigates the effects of fuel cost, purchased electricity cost, condensate recovery, sales price of steam, amount of sale steam as well as the effects of process utility requirements on the optimal cogeneration of steam and power in a syntheic fibre plant in Thailand.

The optimization result shows that when purchased electricity is 1.438 Baht/KW and fuel cost increases from 2.62 Baht/litre to 5.00 Baht/litre it is definitely cheaper to buy more and to generate less electricity. Conversely, when fuel cost is 2.62 Baht/litre and purchased electricity increases from 1.438 Baht/KW to be 1.869 Baht/KW, it is better to produce more steam in order to generate more electricity while purchasing as little electricity as possible. With the application of the GRG optimization method, the obtained optimal cogeneration conditions help reduce the utility cost by 331 Baht/hr compared to the original operating conditions. Amount of condensate recovery and sales price of steam do not affect the optimal cogeneration conditions. On the other hand the effect of the amount of sale steam is similary to that of increased process steam requirement.

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี .....

ปีการศึกษา 2531 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his sincere appreciation to Associate Professor Witwut Tanthapanichakoon for his invaluable advice and comments to this study. Thanks to Associate Professor Chairit Satayaprasert, Associate Professor Sutham Vanichseni and Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee for serving on the thesis committee. Thanks also to Mister Chumpol Dangdej for his explanation about detail of cogeneration problem. In particular the author wishes to thank to Miss Pranee Kitlappinitkul for her assistance about computer system. Last but not least the author is indebted to the Graduate School, Chulalongkorn University for the financial support.

Wuchara Kanidtabud

February, 1989

TABLE OF CONTENTS

page

ABSTRACT IN THAI..... iv

ABSTRACT IN ENGLISH..... v

ACKNOWLEDGEMENTS..... vi

TABLE OF CONTENTS..... vii

LIST OF TABLES..... x

LIST OF FIGURES..... xii

NOMENCLATURES..... xiv

CHAPTER

1. INTRODUCTION..... 1

1.1 Objectives of the Present Study..... 2

1.2 Scope of the Present Study..... 2

2. REVIEW OF OPTIMIZATION..... 3

2.1 General Concept of Optimization..... 3

2.2 Past work of Chemical process Optimizations..... 3

2.3 Past Work of Chemical Process Optimization Using GRG..... 5

3. BASIC THEORY OF OPTIMIZATION..... 6

3.1 The Linear Programming Problem..... 6

3.2 The General Nonlinear Programming Problem..... 9

3.3 Relation of the Nonlinear Programming Problem to a Real Process..... 13

3.4 Notation and Terminalogy..... 17

3.4.1 Optimal Solution..... 17

3.4.2 Concavity and Convexity..... 18

Page

3.4.3 Feasibility..... 20

3.4.4 The Gradient..... 21

3.5 The Necessary and Sufficient Conditions for a Solution To Be and Optimal Solution..... 22

3.5.1 Nonlinear Programming with out Constraints.. 23

3.5.2 Nonlinear Programming with Both Equality and Inequality Constraints..... 23

4. GENERALIZED REDUCED GRADIENT (GRG) METHOD..... 34

4.1 The Generalized Reduce Gradient Method..... 34

4.2 What is Reduced Gradient ?..... 35

4.3 General Form of the Reduced Gradient..... 36

4.4 Algorithms of the Generalized Reduced Gradient (GRG) Method..... 37

5. OPTIMIZATION OF ON ALKYLATION PROCESS..... 39

5.1 Alkylation process..... 39

5.2 Process Description..... 39

5.3 Problem Formulation..... 39

5.4 Result of Optimization..... 41

5.5 Conclusion..... 42

6. COGENERATION PROBLEM OF PULP & PAPER PLANT..... 46

6.1 Description of the Pulp and Paper Production Process..... 46

6.2 Description of the Cogeneration Process..... 47

6.3 Problem formulation..... 48

6.3.1 Definition of Variables and Parameters..... 49

6.3.2 The Mathematical Model..... 50

6.3.3 Experiment of Optimization..... 52

Page

6.4 Result of Optimization..... 52

6.5 Conclusion..... 55

7. COGENERATION PROBLEM OF FIBRE SYNTHESIS PLANT..... 58

7.1 Background of the Factory..... 58

7.2 Polyester Synthesis plant..... 59

7.3 Utility plant..... 59

7.4 Formulation of Optimization Problem..... 60

7.4.1 Description of System Variables and Parameter..... 60

7.4.2 Mathematical Formulation..... 62

7.5 List of Optimization Case Studies..... 65

7.6 Result of Optimization Studies..... 67

7.7 Discussion of Results..... 67

8. CONCLUSION..... 103

REFERENCES..... 105

APPENDICES..... 108

APPENDIX A. 109

APPENDIX B. 121

APPENDIX C. 126

APPENDIX D. 170

VITA..... 189

LIST OF TABLES

page

Table 5.1 Summary of the alkylation process problem as solved with GRG algorithm and the methods of [17], [16] and [27]. 43

Table 5.2 Summary of the alkylation process problem as solved with the GRG alogrithm using an arbitary starting point and the optimum point of [16]. 44

Table 6.1 Result of optimization for cogeneration of Pulp and paper plant. 53

Table 7.1 Importance Reaction in Polyester Synthesis. 76

Table 7.2 The Objective function used in each type of case study. 77

Table 7.3 List of Optimization case study. 78

Table 7.4 The Optimization results. 79

Table 7.5 Effect of Fuel Cost (Case Study type 1). 80

Table 7.6 Effect of Fuel Cost with Consideration for the costs of blow and of make-up water (Case Study type 2). 81

Table 7.7 Effect of Condensate Recovery. 82

Table 7.8 Effect of Sale Price of Steam. 83

Table 7.9 Effect of Fuel Cost and Purchase Price of Electricity (30% Change in Either One). 84

Table 7.10 Effect of Fuel Cost and Purchase Price of Electricity (+ 15% Change in Both). 85

page

Table 7.11 Effect of Sale Quantity of Steam. 86

Table 7.12 Comparison for Cost of Utility per Unit Energy Produced. 87

Table 7.13 Effect of Higher Process Requirements. 88

Table 7.14 Adjustment of the Standard Case (For Comparison). .. 89

Table 7.15 Comparative Energy Costs when Process Requirement Became Higher. 90

LIST OF FIGURES

page

Fig 3.2-1 Geometric representation of the functions in a nonlinear programming problem. 25

Fig 3.3-1 Relationships in the nonlinear programming problem. 26

Fig 3.4-1 Classification of optimal solution. 27

Fig 3.4-2 Convex and concave function (in a given range of x). 28

Fig 3.4-3 Unimodal and multimodal functions. 29

Fig 3.4-4 Convex and nonconvex sets. 30

Fig 3.4-5 A convex programming problem illustrating the feasible region (comprising a convex set) and the global optimum. 31

Fig 3.4-6 Example of simply connected and nonsimply connected feasible regions (as pertaining to inequality constraints). 32

Fig 3.4-7 The gradient (direction of steepest ascent) and the direction of steepest descent at two points. 33

Fig 5.1 Simplified Alkylation Process Flow Diagram. 45

Fig 6.1 Energy Management System Model for Pulp and Paper Plant. 56

Fig 6.2 Global Description of Cogeneration in a Pulp & Paper Plant. 57

Fig 7.1 Classification of Fibre. 91

Fig 7.2 Flow chart of the raw materials of Polyester. 92

page

Fig 7.3 Block Flow diagram of steams power system. 93

Fig 7.4 Effect of Fuel Cost. 94

Fig 7.5 Effect of Fuel Cost with Consideration for the costs of blow steam and of make-up water. 95

Fig 7.6 Effect of Recovery Condensate. 96

Fig 7.7 Effect of Sale Price of Steam. 97

Fig 7.8 Effect of Fuel Cost and Purchase Price of Electricity. 98

Fig 7.9 Effect of Sale Quantity of Steam. 99

Fig 7.10 Effect of Higher Energy by Process (When PTOTAL = 43 T/h). 100

Fig 7.11 Effect of Higher Energy Requirement by Process (when AB = 11000 KW). 101

Fig 7.12 Effect of Higher Energy Requirement by Process (when AB = 10000 KW). 102

Fig c.1 Location of Heat and Mass balance. 153

NOMENCLATURE

a_{ij} elements of the matrix a

E^n n-dimensional Euclidean space

$f(x)$ the objective function ; the value of the objective function at x

$f(x^*)$ the optimal value of $f(x)$

$g(x)$ inequality constraint (distinguished by subscripts)

$h(x)$ equality constraint (distinguished by subscripts)

L_i lower bound on x_i

u_i upper bound on x_i

v any general columm vector

x columm vector of independent variables ; vector of variables

Greek letters and symbols

∂ partial-derivative symbol

∇ the gradient containing only the elements composed of the partial derviatives with respect to the elements of the vector x

Θ a constant between 0 and 1 ; also an angle

$\phi(x)$ a convese function ; also a general function

Other signs

$|\ |$ the absolute value of a scalar

ε an element of