

# ENERGY COST MINIMIZATION AND DATA RECONCILIATION



Mr. Nopphon Rongsayamanon

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science  
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University  
in Academic Partnership with  
Case Western Reserve University, The University of Michigan,  
The University of Oklahoma, and Institut Français du Pétrole

2004

ISBN 974-9651-10-3

**Thesis Title:** Energy Cost Minimization and Data Reconciliation  
**By:** Mr. Nopphon Rongsayamanon  
**Program:** Petroleum Technology  
**Thesis Advisors:** Dr. Kitipat Siemanond  
Dr. Vivan Thammongkol  
Mr. Nipon Kanongchaiyot

---

Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science.

*K. Bunyakiat.*

.....College Director  
(Assoc. Prof. Kunchana Bunyakiat)

**Thesis Committee:**

*Kitipat Siemanond*

.....  
(Dr. Kitipat Siemanond)

*Vivan Thammongkol*

.....  
(Dr. Vivan Thammongkol)

*Nipon Kanongchaiyot*

.....  
(Mr. Nipon Kanongchaiyot)

*B. Kitiyanan*

.....  
(Asst. Prof. Boonyarach Kitiyanan)

*Sirirat Jitkarnka*

.....  
(Dr. Sirirat Jitkarnka)

## ABSTRACT

4573007063: PETROLEUM TECHNOLOGY PROGRAM

Nopphon Rongsayamanon: Energy Cost Minimization and Data Reconciliation

Thesis Advisors: Dr. Kitipat Siemanond, Dr. Vivan Thammongkol and Mr. Nipon Kanongchaiyot, 126 pp. ISBN 974-9651-10-3

Keywords: Grand Composite curve/ Column Grand Composite Curve/ Energy Saving/ Retrofit/ Data Reconciliation

Gas separation plant was studied for energy analysis because it consumed a high energy. This plant consists of three main distillation columns (demethanizer, deethanizer and depropanizer) and ten heat exchangers. First of all, the process values, are needed to be measured and collected. The simulation used for this research because there were not enough measured data to apply energy saving technique. The commercial software, Aspen Plus, was used to run to figure out the unmeasured values. Grand Composite Curve (GCC) and Column Grand Composite Curve (CGCC) were plotted in order to study the integration between the columns and the process. To modify the process, retrofit techniques such as inspection and integration were presented. Four alternatives were proposed and the results showed that the largest energy saving (alternative number three) was 36.96 % of total steam consumption and 26.14% of total cooling water consumption. This alternative was done by adding side reboiler at the deethanizer column that used hot stream of the background process to recover the heat. The consequent results would be energy saving on both the cooling water load of E70601 and the main reboiler duty of the deethanizer column. The process modifications were based on the possibility of changing existing plant. Data reconciliation is the technique for ensuring the reliability of measurement. This plant contained 20 measured and 170 unmeasured variables. Based on the energy and material balance, 30 reconciled variables were given.

## บทคัดย่อ

นพพล รงค์สยามานนท์ : การลดการใช้พลังงาน (การปรับปรุงกระบวนการเพื่อการลดการใช้พลังงาน และ การใช้เทคนิคเพื่อความน่าเชื่อถือในการวัดค่าของข้อมูล) (Energy Cost Minimization and Data Reconciliation) อาจารย์ที่ปรึกษา: ดร.วิวรรณ ธรรมมงคล ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ และ นาย นิพนธ์ คนองชัยยศ 126 หน้า ISBN 974-9651-10-3

กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานอย่างสูง โรงงานที่ศึกษานี้ประกอบด้วยหอกันหลักทั้งหมด 3 หอ ได้แก่ หอแยกมีเทน หอแยกอีเทน และ หอแยกโพรเพน เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลที่วัดค่าจากโรงงานจริง ดังนั้น การวัดค่าและการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้องจึงเป็นสิ่งสำคัญต่องานวิจัยนี้ แต่แท้จริงแล้วค่าที่เก็บได้มีจำนวนไม่เพียงพอต่อการทำงานวิจัย ดังนั้นการใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งในที่นี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Aspen plus มาจำลองและนำมาซึ่งค่าต่างๆซึ่งไม่ได้วัดโดยตรงจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง การกระจายตัวของความร้อนในกระบวนการและในหอกันถูกนำมาคำนวณแล้วแสดงออกมาในรูปแบบของกราฟเพื่อที่จะหาความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานร่วมกันระหว่างส่วนของหอกันและส่วนของกระบวนการ การปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่เดิมนั้นมีเทคนิคที่ใช้หลากหลายเช่น การใช้การสังเกตการ, การใช้เทคโนโลยีของฟินซ์ หรือการใช้เทคนิคการรวมกันของหอกันและกระบวนการ ทางเลือกจำนวน 4 ทางถูกเสนอเพื่อการลดการใช้พลังงานในระบบ โดยผลสุดท้ายพบว่าที่ทางเลือกที่สามสามารถลดการใช้พลังงานโดยคิดเป็นต้นทุนแล้วได้ถึง 36.96 % ของปริมาณไอน้ำที่ใช้ในระบบทั้งหมด และ 26.14 % ของปริมาณน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในระบบทั้งหมด ในทางเลือกที่สามนั้นถ้าเพิ่มไซดรีบอยเลอร์เข้าไปในระบบจะทำให้ลดการใช้พลังงานของทั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็นและรีบอยเลอร์หลักของหอแยกอีเทน ข้อจำกัดของกระบวนการที่ศึกษานี้คือ โครงสร้างและตำแหน่งของอุปกรณ์ในโรงงาน ซึ่งแต่ละทางเลือกที่เสนอไปนั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเหล่านี้ด้วย เทคนิคการแก้ไขข้อมูลเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือกับข้อมูลที่ได้จากการวัดถูกเสนอให้ทดลองใช้กับการศึกษาในครั้งนี้ ระบบนี้ประกอบด้วย 20 ข้อมูลที่ถูกวัดและ 170 ข้อมูลที่ไม่ได้ถูกวัด หลังจากที่ใช้เทคนิคนี้พบว่าจะได้ 30 ข้อมูลที่เพิ่มเติมขึ้นมา

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work would not have been possible, if the following people were not present. First of all, I would like to give a special thank to Dr. Kitipat Siemanond and Dr. Vivan Thammongkol. Without them, this thesis might not be occurred. Their suggestion and comments on the pinch technology, column targeting, heat exchanger networks are very valuable to this thesis. The other one that could not be forgotten in this work is Mr. Nipon Kanongchaiyot. I would like to thank him for a valuable suggestions and comments on the practicality of this work.

I am grateful for the partial scholarship and partial funding of the thesis work provided by Postgraduate Education and Research Programs in Petroleum and Petrochemical Technology (PPT Consortium). I would like to thank Thailand Research Fund (TRF) also for supporting the research fund for this work. Moreover, this work would not be completed, if I didn't get an opportunity from Associate Professor Pornpote Piumsomboon, department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University to use Aspen Engineering Suite for this work. Thank you very much, I shall forever be grateful for this opportunity.

I would like to thank Assistant Professor Boonyarach Kitiyanan and Associate Professor Sirirat Jitkarnka for being my thesis committee. Their suggestions and comments are very valuable for me and this work.

During the period of the study, Gas Separation Plant staffs of PTT Public Company Limited were very kind. The technical support that Gas Separation plant provided to this work is very useful. I would like to thank Mr. Charoonrith Khampanya, Vice President of Gas Separation Plant, Mr. Prasong Intaranongpai, Process Manager and other staffs for their support.

Two years in The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University will be meaningless to me, if there won't be my friends and PPC staffs who support, encourage and welcome me all the time. Thank you very much to have all of you in this college, especially Mr. Piya Ouraipraiwan.

## TABLE OF CONTENTS

	<b>PAGE</b>
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	iv
Acknowledgements	v
Table of Content	vi
List of Table	x
List of Figures	xii
List of Symbols	xv
 <b>CHAPTER</b>	
<b>I INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>II BACKGROUND AND LITERATURE SURVEY</b>	<b>4</b>
2.1 Pinch Technology	4
2.1.1 Steps of Pinch Analysis	5
2.2 Column Targeting	21
2.3 Data Reconciliation	22
2.4 Literature Survey	22
2.4.1 Applications of Pinch Technology	22
2.4.2 The Pinch Design Method for New Heat Exchanger- Network Design	23
2.4.3 The Pinch Design Method for Heat Exchanger- Network Retrofit	25
2.4.4 Process Heat Integration	26
<b>III PROCEDURES</b>	<b>29</b>
3.1 Modeling of Gas Separation Process	29
3.1.1 Distillation Column Modeling	30

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
3.1.2 Overall Process Modeling	30
3.2 Collected Data from Gas Separation Plant	31
3.3 Constraint of Modeling	33
3.4 Pinch Analysis	34
3.5 Retrofit	35
3.6 Data Reconciliation	36
 <b>IV RESULTS AND DISCUSSIONS</b>	 <b>37</b>
4.1 Distillation Columns	37
4.1.1 Column Parameters	37
4.1.2 Column Targeting	41
4.2 Overall Process	44
4.2.1 Process Heat Integration	44
4.2.2 Process Heat Exchanger Network	46
4.3 Retrofit	48
4.3.1 Alternative 1	48
4.3.2 Alternative 2	49
4.3.3 Alternative 3	50
4.3.4 Alternative 4	52
4.4 Data Reconciliation	55
 <b>V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS</b>	 <b>58</b>
 <b>REFERENCES</b>	 <b>61</b>
 <b>APPENDICES</b>	
<b>Appendix A</b> Keyword input file for gas separation plant unit I simulation model	63
<b>Appendix B</b> Stream results from simulation model	75
<b>Appendix C</b> Retrofit alternative pictures	85

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
<b>Appendix D</b> Retrofit calculation	89
<b>Appendix E</b> DATA CON keywords and results	93
<b>CURRICULUM VITAE</b>	132



**LIST OF TABLES**

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
3.1	Temperature of Part 703	31
3.2	Temperature of Part 704	32
3.3	Temperature of Part 706	33
3.4	Pressure of Part 703, Part 704, Part 706	33
3.5	The constraints of process simulation	34
4.1	Condenser UA with different pressure of depropanizer column	54

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
1.1 Gas separation plant 1	3
2.1 Retrofit Horizons : Optimization Based Procedure	4
2.2 Step of pinch analysis	6
2.3 Set up intervals	8
2.4 Cascade heat surpluses	8
2.5 Cost trade-off of heat recovery system	9
2.6 Composite curve	11
2.7 Grand composite curve	12
2.8 General expression for network area target	14
2.9 Capital & Energy Cost Trade-off	16
2.10 Cross pinch on grid diagram	17
2.11 Determine pinch interval temperature	18
2.12 Plotting grand composite curve	18
2.13 Grid diagram	19
2.14 General rule for pinch stream matching	20
2.15 (a) Stream spitting rules for above pinch	20
2.15 (b) Stream spitting rules for below pinch	21
4.1 The relationships between methane purity and feed stage of demethanizer column	37
4.2 The relationships between methane purity and reflux ratio of demethanizer column	38
4.3 The relationships between ethane purity and feed stage of deethanizer column	39
4.4 The relationships between ethane purity and reflux ratio of deethanizer column	39
4.5 The relationships between propane purity and feed stage of depropanizer column	40

<b>FIGURE</b>	<b>PAGE</b>
4.6 The relationships between propane purity and reflux ratio of depropanizer column	40
4.7 Demethanizer Column Grand Composite Curve (CGCC)	41
4.8 Deethanizer Column Grand Composite Curve (CGCC)	42
4.9 Depropanizer Column Grand Composite Curve (CGCC)	42
4.10 Combining CGCC of Three distillation column	43
4.11 Process Composite Curve (CC)	44
4.12 Process Grand Composite Curve (GCC)	45
4.13 Process heat integration analysis between process streams and distillation column	46
4.14 Grid diagram showing heat exchanger network	47
4.15 Retrofit on alternative 1	48
4.16 Alternative 1 Grand Composite Curve	49
4.17 Retrofit on alternative 2	50
4.18 Scope of Integration between column and process	51
4.19 Retrofit on alternative 3	52
4.20 Alternative 3 Grand Composite Curve	52
4.21 Energy consumption& Operating pressure on two products (LPG, NGL).	53
4.22 Operating cost vs Operating pressure on 2 products (LPG, NGL).	53
4.23 Energy consumption & Feed tray on two products (LPG,NGL).	54
4.24 Diagram of gas separation plant on data - reconciliation (measured variables)	56
4.25 Diagram of gas separation plant on data - reconciliation (measured and reconciled variables )	57

## LIST OF SYMBOLS

$CP$	heat capacity flowrate
$F$	stream flowrate
$C_p$	stream specific heat capacity
$\Delta H$	heat load of stream
$T_t$	stream target temperature
$T_s$	stream supply temperature
$\Delta T_{\min}$	minimum temperature difference
$Q_{H\min}$	minimum hot utility requirement
$Q_{C\min}$	minimum cold utility requirement
$GCC$	Grand Composite Curve
$N_{\text{units}}$	minimum number of units in the network
$N_h$	number of hot streams
$N_c$	number of cold streams
$N_u$	number of utility streams
$N_s$	number of separate heat balanced systems
$A_{\text{network}}$	overall network area
$\Delta T_{LM}$	log-mean temperature difference
$h$	film heat transfer coefficient
$C_{\text{network}}$	total cost of network
$C_a$	installation cost factors
$C_b$	pre-exponent cost factors
$C_c$	exponent cost factors
$PDM$	Pinch Design Method
$N_{\text{stream,in}}$	number of stream coming to pinch
$N_{\text{stream,out}}$	number of stream going out from pinch
$CP_{\text{in}}$	heat capacity flowrate of stream coming to pinch
$CP_{\text{out}}$	heat capacity flowrate of stream going out from pinch

CGCC	Column Grand Composite Curve
PNMTC	Practical Near Minimum Thermodynamics Condition
T-H diagram	Temperature-Enthalpy diagram
Stage-H diagram	Stage-Enthalpy diagram
GSP I	Gas Separation Plant I
Nu	Nusselt number
$D_o$	outside diameter of tube
$D_i$	inside diameter of tube
$k$	thermal conductivity of tube
$\rho$	fluid density
$\mu$	fluid viscosity
CW	Cooling Water
MPS	Medium Pressure Steam
LPS	Low Pressure Steam
$C$	purchase cost
$A$	heat transfer area
$h$	specific enthalpy at $T, P$
$h_o$	specific enthalpy at $T_o, P_o$
$T_o$	reference temperature (298.15 K)
$s$	specific entropy at $T, P$
$s_o$	specific entropy at $T_o, P_o$
$W_{\text{useful}}$	useful work
$W_{\text{supply}}$	supply work
LW	loss work
$Q$	heat transfer from (to) heat reservoir (sink)
$T$	absolute temperature of heat reservoir (sink)
$W_s$	Shaft work
$\mathcal{Q}$	Amount of heat exchanged
$T_{\text{hm}}$	Mean thermodynamic hot temperature
$h_{\text{h,in}}$	inlet specific enthalpy for hot stream

$h_{h,out}$	outlet specific enthalpy for hot stream
$S_{h,in}$	inlet specific entropy for hot stream
$S_{h,out}$	outlet specific entropy for hot stream
$T_{cm}$	Mean thermodynamic cold temperature
$h_{c,in}$	inlet enthalpy for cold stream
$h_{c,out}$	outlet enthalpy for cold stream
$S_{c,in}$	inlet specific entropy for cold stream
$S_{c,out}$	outlet specific entropy for cold stream
$R$	Gas constant
$n_h$	mole flowrate of hot stream
$n_c$	mole flowrate of cold stream
$\Delta p_h$	pressure drop of hot side
$p_{in,c}$	inlet pressure of cold side
$\Delta p_c$	pressure drop of cold side