

RETROFIT FOR A GAS SEPARATION PLANT BY PINCH TECHNOLOGY

Dussadee Napredakul

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
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
Case Western Reserve University and Institut Français du Pétrole
2007

502023

Thesis Title: Retrofit for a Gas Separation Plant by Pinch Technology
By: Dussadee Napredakul
Program: Petroleum Technology
Thesis Advisors: Asst. Prof. Kitipat Siemanond
Dr. Thana Sornchamni

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

Nantaya Yanumet
..... College Director
(Assoc. Prof. Nantaya Yanumet)

Thesis Committee:

Kitipat Siemanond
.....
(Asst. Prof. Kitipat Siemanond)

Thana Sornchamni
.....
(Dr. Thana Sornchamni)

Thirasak Rirksomboon
.....
(Assoc. Prof. Thirasak Rirksomboon)

Pramoch Rangsunvigit
.....
(Assoc. Prof. Pramoch Rangsunvigit)

ABSTRACT

4873002063: Petroleum Technology Program

Dussadee Napredakul: Retrofit for a Gas Separation Plant by Pinch Technology

Thesis Advisors: Asst. Prof. Kitipat Siemanond and Dr. Thana Sornchamni, 180 pp.

Keywords: Pinch Analysis/ Grand Composite Curve/ Distillation Column Targeting/ Heat Exchanger Networks/ Column Grand Composite Curve/ Process Heat Integration

This study focuses on a retrofit applying pinch technology to the PTT (Thailand) gas separation plant 5. The prime objective is to maximize the energy recovery of the process via several tools including Problem Table Algorithm (PTA), Grand Composite Curve (GCC), Grid Diagram, and Column Grand Composite Curve (CGCC). The entire process under study consists of two main parts; the distillation columns (the demethanizer, the deethanizer, and the depropanizer) and the heat exchanger networks (HENs). There are thirteen hot and six cold streams with fourteen heat exchangers in the HENs part. The current network is an unpinch process (or low temperature process) with ΔT_{\min} lower than the threshold ΔT_{\min} of 21°C and the existing ΔT_{\min} is observed of around 1.06°C. The CGCCs of the deethanizer and the depropanizer reveal the scope of energy recovery via a side reboiling and a feed preheating, respectively. For the side reboiling of the deethanizer, the energy savings can be achieved by integrating hot process streams of the background process to the column. Six modification options (A, B, C, D, E, and F) for the gas separation plant were offered to reduce the energy consumption. The maximum energy savings can be obtained at approximately 11.69 MW or 13.32% from option F. This reduces the annual energy cost about 6.1 million US\$/yr. In order to achieve it, a capital investment is necessary but the annual cost savings will be enough to recover the cost in less than one year.

บทคัดย่อ

ดุษฎี นวัตกรรม : การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพินช์เพื่อการอนุรักษ์พลังงานสำหรับโรงแยกก๊าซธรรมชาติ (Retrofit for a Gas Separation Plant by Pinch Technology) คณะที่ปรึกษา: ผศ. ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ และ ดร.ธนา ศรธานี, 180 หน้า

โรงแยกก๊าซธรรมชาติโรงที่ 5 ของ บริษัท ปตท. จำกัด ได้นำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยลดการใช้พลังงานในโรงงานด้วยเทคโนโลยีพินช์ เทคนิคต่างๆ อันได้แก่ ตารางวิเคราะห์, กราฟเกรนคอมโพสิต, แผนภาพแสดงเครื่องข่ายการแลกเปลี่ยนความร้อน, และ กราฟคอล์มเกรนคอมโพสิต ถูกนำมาใช้วิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ พิจารณาโรงงานออกเป็น 2 ส่วนย่อย ส่วนแรกคือ ส่วนหอกลับแยก ซึ่งประกอบด้วยหอกลับแยกมีเทน หอกลับแยกอีเทน และหอกลับแยกโพรเพน ส่วนที่สองคือ ส่วนเครื่องข่ายการแลกเปลี่ยนความร้อน จากการวิจัยพบว่า พื้นที่ส่วนกระบวนการผลิตที่ไม่รวมหอกลับแยก (ส่วนที่สอง) ของโรงแยกก๊าซที่ 5 ประกอบด้วยสายน้ำร้อน 13 สาย และสายน้ำเย็น 6 สาย อีกทั้งมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ทั้งสิ้น 14 เครื่อง โดยโรงแยกก๊าซที่ 5 เป็นกระบวนการที่ไม่ปรากฏพินช์ (หรือระบบที่ดำเนินการ ณ อุณหภูมิค่า) ซึ่งมีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสายร้อนและเย็นขั้นต่ำต่ำกว่าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสายร้อนและเย็นขั้นต่ำของเทสโฮลที่ 21 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิสายร้อนและเย็นขั้นต่ำ ณ ขณะนี้อยู่ที่ประมาณ 1.06 องศาเซลเซียส จากกราฟคอล์มเกรนคอมโพสิตของหอกลับแยกอีเทนและหอกลับแยกโพรเพน พบว่ามีแนวทางในการลดการใช้พลังงานด้วยวิธีไซค์รีบอยลิ่งและฟีดพรีฮีตติง ตามลำดับ สำหรับวิธีไซค์รีบอยลิ่งสามารถลดการใช้พลังงานได้โดยนำสายร้อนจากส่วนกระบวนการผลิตที่ไม่รวมหอกลับแยกมาให้ความร้อนกับหอกลับแยกอีเทน แนวทางทั้งสิ้น 6 แนวทางถูกเสนอขึ้น ได้แก่ แนวทางเอ, แนวทางบี, แนวทางซี, แนวทางดี, แนวทางอี, และแนวทางเอฟ โดยแนวทางเอฟสามารถลดการใช้พลังงานได้สูงสุดถึงประมาณ 11.69 เมกกะวัตต์ หรือคิดเป็น 13.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดรายจ่ายการใช้พลังงานต่อปีได้ทั้งสิ้น 6.1 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี เพื่อให้ได้ผลดังกล่าวจำเป็นต้องมีค่าการลงทุนที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณรายจ่ายของการใช้พลังงานที่ลดลงได้ยังเพียงพอที่สามารถคืนทุนในระยะเวลาน้อยกว่าหนึ่งปี

ACKNOWLEDGEMENTS

This work would not have been possible without the assistance of the following individuals.

First of all, I greatly appreciate Assistant Professor Kitipat Siemanond and Dr. Thana Sornchamni, my thesis advisors, for providing invaluable recommendations, creative comments, and kind support throughout the course of this research work.

Another person I greatly appreciate is Mr. Supachai Laorrattanasak. I would like to thank him for providing data and information, answering my questions, and for his valuable suggestions and comments on the practicality of this work.

I would like to thank Associate Professor Pramoch Rangsunvigit and Associate Professor Thirasak Rirksomboon for being my thesis committee. Their suggestions and comments are very valuable for me and this work.

I am thankful too, for the partial funding for this thesis work provided by the Postgraduate Education and Research Programs in the National Excellence Center for Petroleum, Petrochemical, and Advanced Materials, Thailand. I would like to thank PTT Public Company Limited also for the supporting data and the research funds for this work.

My two-year study at The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, is very meaningful to me. The PPC staff and my friends who support, encourage, and welcome me all the time will be stuck in my heart forever.

Lastly, I am deeply indebted to my family for their enduring and unconditional love, understanding, and encouragement and support for me all the time.

TABLE OF CONTENTS

	PAGE
Title Page	i
Abstract (in English)	iii
Abstract (in Thai)	iv
Acknowledgements	v
Table of Contents	vi
List of Tables	ix
List of Figures	xi
CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
II LITERATURE REVIEW	3
III EXPERIMENTAL	43
3.1 Data Collection from the GSP5	43
3.2 Simulation of the Distillation Columns and the Heat Exchanger Networks	43
3.3 Heat Exchanger Networks of the Background Process	43
3.4 Retrofitting by Pinch Technology	44
3.4.1 Establishing the retrofit targets based on constant h-values	44
3.4.2 Retrofit designs for constant h-values	46
3.5 Distillation Column Targeting	46
3.6 Stand-Alone Column Modifications	48
3.7 Process Heat Integration	48
3.8 UA Analysis (Revamp Studies)	48
3.9 Economical Evaluation	48

CHAPTER	PAGE
IV RESULTS AND DISCUSSION	49
4.1 Retrofitting of the GSP5 (The Design-Data Case)	49
4.1.1 Data Extraction and Plant Simulation	49
4.1.2 Heat Exchanger Network of the Background Process	50
4.1.3 Distillation Column Targeting	56
4.1.3.1 Stand-Alone Column Modifications	61
4.1.4 Process Heat Integration	62
4.2 Retrofitting of the GSP5 (The Actual-Data Case)	64
4.2.1 Data Extraction and Plant Simulation	64
4.2.2 The Heat Exchanger Network of Background Process	65
4.2.3 Distillation Column Targeting	71
4.2.3.1 Sensitivity Analysis of Columns	75
4.2.3.2 Stand-Alone Column Modifications	78
4.2.3.2.1 Deethanizer Column Modifications	78
4.2.3.2.2 Depropanizer Column Modifications	79
4.2.4 Process Heat Integration	80
4.2.5 Summary of Modification Designs	81
4.2.6 UA Analysis for Various Modification Options	82
V CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS	86
REFERENCES	88

CHAPTER	PAGE
APPENDICES	90
Appendix A Description of Units and Streams of the GSP5	90
Appendix B Data and Information of the GSP5 in the Design-Data Case	92
Appendix C Data and Information of the GSP5 in the Actual-Data Case	127
Appendix D Effect of Reflux-Ratio Reduction of the Deethanizer on Product Specification	162
Appendix E Flow Sheet for Various Modification Options	167
Appendix F Economical Evaluation	174
CURRICULUM VITAE	180

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 Thermal data required for pinch analysis (www.linnhoffmarch.com)	9
2.2(a) Typical ΔT_{\min} values for various types of processes (www.linnhoffmarch.com)	10
2.2(b) Typical ΔT_{\min} values for process-utility matches (www.linnhoffmarch.com)	11
2.2(c) Typical ΔT_{\min} values for refinery processes (www.linnhoffmarch.com)	11
2.3 Thermal data for PTA	12
4.1 Accuracy parameters of process simulation by Pro/II compared to the design data	50
4.2 Process stream data of the design-data case	52
4.3 Utility summary for various ΔT_{\min} (the design-data case)	53
4.4 Cold utility for ΔT_{\min} in the range of 1 to 15°C (the design-data case)	55
4.5 Boiling point of component (PRO/II Provision)	56
4.6 Reboiler and condenser duties of each column from PRO/II-simulator and excel CGCC (design-data case)	57
4.7 Accuracy parameters of process simulation (actual-data case)	64
4.8 Product specifications of the GSP5 (actual-data case)	64
4.9 Process stream data of the existing process	65
4.10 Utility summary for various ΔT_{\min} (actual-data case)	68
4.11 Cold utility for ΔT_{\min} in the range of 1 to 15°C (actual-data case)	68
4.12 Reboiler and condenser duties of each column from PRO/II-simulator and excel CGCC (actual-data case)	71

TABLE		PAGE
4.13	Results of reflux-ratio reduction of the deethanizer	79
4.14	Results of feed preheating on the depropanizer	79
4.15	Saving-energy after adding a side reboiler on the deethanizer (Option C)	81
4.16	Saving-energy after adding a side reboiler on the deethanizer (Option D)	81
4.17	U.A.values of each heat exchanger for various modification options	82
4.18	Extra-investment of air cooled heat exchange unit 3504E03 after doing UA analysis	82
4.19	Overall process utility saving for various modification options	84
4.20	Summary of investment for various modification options (excluding the revamp studies)	84
4.21	The economical evaluation for various modification options (including a revamp of air cooled heat exchange unit 3504E03)	85

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE	
2.1	“Onion Diagram” (www.linnhoffmarch.com)	4
2.2	Rubic cube indicating the development of pinch technology (Gunderson, 2002)	5
2.3	Combined composite curves (Gunderson, 2002)	6
2.4	Data extraction for pinch analysis (Linnhoff and Hindmarsh, 1983)	7
2.5	Steps of pinch analysis for new design of heat exchanger networks (Linnhoff and Hindmarsh, 1983)	8
2.6	Shifted temperature scale and temperature intervals	13
2.7	Net energy required at each interval	14
2.8	Cascade diagram	14
2.9	Generation of the grand composite curve	15
2.10	Grand composite curve (www.cheresources.com)	16
2.11	Temperature-Enthalpy relations use to construct hot composite curve (www.cheresources.com)	17
2.12	Combined composite curves (www.cheresources.com)	18
2.13	Vertical heat transfer between the composite curves leads to minimum network surface area (www.linnhoffmarch.com)	20
2.14	Energy-Capital cost trade off (www.cheresources.com)	22
2.15	Grid diagram of the heat exchanger network (www.linnhoffmarch.com)	24
2.16	Capital-Energy trade off for retrofit applications (www.linnhoffmarch.com)	25
2.17	Targeting for retrofit applications (www.linnhoffmarch.com)	26
2.18	Targeting based on ΔT_{min} - Energy curve (www.linnhoffmarch.com)	26

FIGURE	PAGE
2.19 Hierarchy of retrofit design (Linnhoff and Hindmarsh, 1983)	28
2.20 Procedure for obtaining the column grand composite curve (www.linnhoffmarch.com)	29
2.21(a) Evaluating enthalpy deficit at a stage (Dhole and Linnhoff, 1992)	32
2.21(b) Constructing the CGCC from stage wise enthalpy deficits (Dhole and Linnhoff, 1992)	32
2.22 Column modifications (Dhole and Linnhoff, 1992)	33
2.23 Appropriate integration of a distillation column (www.linnhoffmarch.com)	35
2.24 Refrigeration cycle (www.honeywell.com)	37
4.1 Grid diagram of the design-data case	51
4.2(a) Relationship between ΔT_{\min} and cold utility with the threshold $\Delta T_{\min}=23^{\circ}\text{C}$ (design-data case)	53
4.2(b) Relationship between ΔT_{\min} and hot utility with the threshold $\Delta T_{\min}=23^{\circ}\text{C}$ (design-data case)	54
4.3 GCCs for various ΔT_{\min} in the range of threshold problem (design-data case)	54
4.4 GCC of the design-data case ($\Delta T_{\min}= 1.85^{\circ}\text{C}$)	55
4.5 Demethanizer column composition profile (design-data case)	58
4.6(a) Deethanizer column composition profile (design-data case)	58
4.6(b) CGCC of the deethanizer (design-data case)	59
4.7(a) Depropanizer column composition profile (design-data case)	60
4.7(b) CGCC of the depropanizer (design-data case)	60
4.8 Stages versus enthalpy of the deethanizer (design-data case)	61
4.9 Stages versus enthalpy of the depropanizer (design-data case)	62

FIGURE	PAGE	
4.10	Process heat integration of the design-data case	63
4.11	Grid diagram of the existing process	67
4.12(a)	Relationship between ΔT_{\min} and cold utility with the threshold $\Delta T_{\min}=21^{\circ}\text{C}$ (actual-data case)	69
4.12(b)	Relationship between ΔT_{\min} and hot utility with the threshold $\Delta T_{\min}=21^{\circ}\text{C}$ (actual-data case)	69
4.13	GCCs for various ΔT_{\min} in the range of threshold problem (actual-data case)	70
4.14	GCC of the existing process ($\Delta T_{\min}= 1.06^{\circ}\text{C}$)	70
4.15	Demethanizer column composition profile (actual-data case)	71
4.16(a)	Deethanizer column composition profile (actual-data case)	72
4.16(b)	CGCC of the deethanizer (actual-data case)	72
4.16(c)	Stages versus enthalpy of the deethanizer (actual-data case)	73
4.17(a)	Depropanizer column composition profile (actual-data case)	73
4.17(b)	CGCC of the depropanizer (actual-data case)	74
4.17(c)	Stages versus enthalpy of the depropanizer (actual-data case)	74
4.18	Relationship between ethane purity and feed position of the deethanizer	76
4.19	Relationship between ethane purity and reflux ratio of the deethanizer	76
4.20	Relationship between propane purity and feed position of the depropanizer	77
4.21	Relationship between propane purity and reflux ratio of the depropanizer	77
4.22	Reducing reflux ratio of the deethanizer	78
4.23	Process heat integration of the actual-data case	80
4.24	Summary of various modification options for the GSP5	83