PURIFICATION OF I-C4 OBTAINED FROM NATURAL GAS

Mr. Somchai Kwandee

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,
and Case Western Reserve University
2000

ISBN 974-334-152-8

I19359159

Thesis Title	:	Purification of I-C4 Obtained from Natural Gas
By	:	Mr. Somchai Kwandee
Program	:	Petrochemical Technology
Thesis Advisors	:	Dr. Vivan Thammongkol
		Dr. Kitipat Siemanond

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

..... College Director
(Prof. Somchai Osuwan)

Thesis Committee:

.....
(Dr. Vivan Thammongkol)

.....
(Dr. Kitipat Siemanond)

.....
(Dr. Pramoch Rangsunvigit)

431694

ABSTRACT

4171029063 : PETROCHEMICAL TECHNOLOGY PROGRAM
KEYWORD: Isobutane/ Purification/ Distillation/ Preliminary Design
Somchai Kwandee: Purification of I-C4 Obtained from Natural Gas. Thesis Advisors: Dr. Vivan Thammongkol and Dr. Kitipat Siemanond, 122 pp ISBN 974-334-152-8

In purification of isobutane from natural gas, a distillation process was selected as a separation process. The preliminary design was studied by using PRO/II as a design simulator. Six feed streams; feed 1 to feed 6, from three gas separation plants were separated by four different design process schemes into three products. Minimum reflux ratio, number of theoretical trays, and optimum feed stage location were calculated by the shortcut distillation methods. The overall boiling capacity variable was calculated to indicate cost of the design scheme of each feed and the results showed that for all feed, the economic scheme was the scheme which recovered propane in the first column and isobutane in the second column. This scheme was sized to determine the capital investment and the results showed that the capital cost was classified into two groups. The first one was the high cost group with 13-14 million dollars of the processes designed from feed 4 to feed 6 and the other was the low cost group with 7-9 million dollars of the processes designed from feed 1 to feed 3. The profitability of alternative investments was compared by using the return on investment (ROI) and the net present value (NPV) and the results showed that the design process of feed 5 and feed 1 were recommended for the high and low investment cost, respectively. When compared to all design processes, the design process of feed 5 was recommended.

บทคัดย่อ

สมชาย ขวัญดี : การศึกษาการแยกไอโซบิวเทนจากก๊าซธรรมชาติ (Purification of i-C4 Obtained from Natural Gas) อ. ที่ปรึกษา : ดร. วิวรรณ ธรรมมงคล และ ดร. กิติพัฒน์ สีมานนท์ 122 หน้า ISBN 974-334-152-8

กระบวนการกลั่นแยกได้ถูกเลือกใช้ในการศึกษาการแยกไอโซบิวเทนจากก๊าซธรรมชาติ ในการศึกษากระบวนการผลิตขั้นต้นได้เลือกใช้โปรแกรมโปรทูในการออกแบบและจำลองการผลิต สายป้อนที่ใช้ในการออกแบบได้ถูกแบ่งเป็น 6 สาย ซึ่งได้จากผลิตภัณฑ์ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก 3 โรงแยกก๊าซ รูปแบบของกระบวนการผลิต 4 รูปแบบที่แตกต่างกันได้ถูกออกแบบเพื่อแยก 3 ผลิตภัณฑ์ คือ โพรเพน ไอโซบิวเทน และนอร์มัลบิวเทน วิธีช็อตคัตดิสติลเลชั่นได้ถูกใช้ในการคำนวณค่าอัตราส่วนรีฟลักซ์น้อยสุด จำนวนชั้นทางทฤษฎี และตำแหน่งสายป้อนที่ดีที่สุด ค่าตัวแปรบอยด์ลิงคาปาร์ซิตี้ ได้ถูกเลือกใช้ในการบ่งชี้ว่า รูปแบบกระบวนการผลิตแบบใดประหยัดที่สุด และจากผลการคำนวณพบว่า รูปแบบของกระบวนการผลิตที่ประหยัดที่สุดคือ รูปแบบกระบวนการที่กลั่นแยกโพรเพนในหอแรก และกลั่นแยกไอโซบิวเทนในหอที่สอง รูปแบบกระบวนการผลิตนี้ได้ถูกคำนวณขนาดของหอกลั่น เพื่อใช้ในการคำนวณงบประมาณในการลงทุนของกระบวนการผลิตที่ถูกออกแบบจากสายป้อนทั้งหมด และจากการคำนวณพบว่า งบประมาณในการลงทุนในกระบวนการผลิตทั้งหมดได้ถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของการลงทุนสูง ประมาณ 13-14 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งเป็นการลงทุนในกระบวนการผลิตที่ออกแบบจากสายป้อนที่ 4-6 และกลุ่มที่สองคือ กลุ่มของการลงทุนต่ำ ประมาณ 7-9 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งเป็นการลงทุนในกระบวนการผลิตที่ออกแบบจากสายป้อนที่ 1-3 ผลกำไรจากการลงทุนในแต่ละกระบวนการผลิตได้ถูกเปรียบเทียบโดยค่า รีเทิร์นออนอินเวสเมนท์ และเนทเพรเซ็นแวลู และจากการคำนวณพบว่ากระบวนการผลิตที่ออกแบบจากสายป้อนที่ 5 และ 1 ให้ผลกำไรสูงสุดและได้ถูกแนะนำให้เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในการลงทุนสำหรับกลุ่มการลงทุนในกลุ่มการลงทุนสูงและต่ำตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบในทุกกระบวนการผลิตพบว่า กระบวนการผลิตที่ออกแบบจากสายป้อนที่ 5 ให้ผลกำไรสูงสุด และได้ถูกแนะนำให้เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในการลงทุน

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to gratefully give special thanks to my advisors, Dr. Vivan Thammongkol for her constructive criticism and valuable suggestions. I am also deeply indebted to my co-advisors, Dr. Kitipat Siemanond for his intensive suggestions, valuable guidance and vital help throughout this research work.

I greatly appreciate all my friends and ppc staffs who willingly gave me warm support and encouragement.

I would like to thank the Petroleum Authority of Thailand for technical support during the period of the study.

Finally, I am deeply indebted to my family for their forever love, understanding and encouragement.

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	x
CHAPTER		
I	**INTRODUCTION**	1
II	**LITERATURE SURVEY**	2
	2.1 Isobutane Separation Processes	2
	2.1.1 Distillation Process	2
	2.1.2 Adsorption Process	3
	2.1.3 Combined Processes of Distillation, Adsorption and Isomerization	5
	2.2 Shortcut Distillation Methods	5
	2.2.1 Fenske Method	6
	2.2.2 Underwood Method	7
	2.2.3 Kirkbride Method	9
	2.2.4 Gilliland Method	9
	2.3 Distillation Column Sequencing	9
	2.3.1 Synthesis of Separation Sequences	9
	2.3.2 Shortcut Evaluation of Distillation Sequence	10
	2.4 Column Sizing	11

CHAPTER **PAGE**

2.5 Economic Analysis 12

2.5.1 Capital Investment 12

2.5.2 Return on Investment 13

2.5.3 Net Present Value 13

III PROCEDURES 16

3.1 Distillation Column Design 16

3.1.1 Synthesis of Separation Sequences 16

3.1.2 Shortcut Column Design 16

3.2 Distillation Column Sequencing 20

3.3 Stage Efficiency and Column Sizing 20

3.4 Column Cost and Profitability Estimation 21

3.4.1 Capital Investment 21

3.4.2 Return on Investment and Net Present Value 21

IV RESULTS AND DISCUSSION 22

4.1 Distillation Column Design 22

4.1.1 Process Flow Sheets 22

4.1.2 Bubble Point Pressure of Product Stream 23

4.1.3 Column Operating Pressure and Condenser Type 23

4.1.4 Shortcut Design Summary 23

4.2 Distillation Column Sequencing 24

4.3 Column Sizing 25

4.3.1 Column Rigorous Simulation and Feed Stage Correction 25

4.3.2 Column Sizing 25

4.4 Column Cost and Profitability Estimation 26

CHAPTER		PAGE
	4.4.1 Capital Investment	26
	4.4.2 Return on Investment and Net Present Value	26
V	**CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**	39
	REFERENCES	40
	APPENDICES	42
	CURRICULUM VITAE	122

LIST OF TABLES

TABLE		PAGE
2.1	Ratio factors for estimating capital investment items based on delivered-equipment cost	15
3.1	Feed stream compositions and properties summary	17
4.1	Bubble point pressure of distillate product temperature at 110°F	28
4.2	Column operating pressure and condenser type of feed 1	30
4.3	Column operating pressure and condenser type of feed 2	30
4.4	Column operating pressure and condenser type of feed 3	31
4.5	Column operating pressure and condenser type of feed 4	31
4.6	Column operating pressure and condenser type of feed 5	32
4.7	Column operating pressure and condenser type of feed 6	32
4.8	Shortcut design summary of feed 1	33
4.9	Shortcut design summary of feed 2	33
4.10	Shortcut design summary of feed 3	34
4.11	Shortcut design summary of feed 4	34
4.12	Shortcut design summary of feed 5	35
4.13	Shortcut design summary of feed 6	35
4.14	Column rigorous simulation with feed stage correction	36
4.15	Column sizing summary of the selected schemes	37
4.16	Total purchased equipment and capital investment cost of all selected schemes	38
4.17	Rate of return on investment and net present value of all selected schemes	38

LIST OF FIGURES

FIGURE		PAGE
3.1	Algorithm for multi-component distillation by shortcut distillation method	18
3.2	Algorithm for establishing distillation column pressure and type condenser	19
4.1	Possible column sequences for separating three-main-component mixture into its pure products	22
4.2	Overall capacity variable, K_{ov}, for the designed column sequences	24