

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



E46925



**COLUMN INTENSIFICATION VIA EXTERNALLY  
HEAT-INTEGRATED DIABATIC SECTION**

**MISS NOPPARAT ATIFO**

**A SPECIAL RESEARCH PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING (CHEMICAL ENGINEERING)  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI**

**2016**

600246546



E46925

# Column Intensification via Externally Heat-Integrated Diabatic Section

Ms. Nopparat Atipo B.Eng. (Chemical Engineering)

A Special Research Project Submitted in Partial Fulfillment  
of the Requirements for  
The Degree of Master of Engineering (Chemical Engineering)  
Faculty of Engineering  
King Mongkut's University of Technology Thonburi

2010



Special Research Project Committee

*Suwit Tia*

.....  
(Assoc. Prof. Suwit Tia, Ph.D.)

Chairman of Special Research  
Project Committee

*Bunyaphat Suphanit*

.....  
(Lect. Bunyaphat Suphanit, Ph.D.)

Member and Special  
Research Project Advisor

*Hong-ming Ku*

.....  
(Lect. Hong-ming Ku, Ph.D.)

Member

Special Research Project Title	Column Intensification via Externally Heat-Integrated Diabatic Section
Special Research Project Credits	6
Candidate	Ms. Nopparat Atipo
Special Research Project Advisor	Dr. Bunyaphat Suphanit
Program	Master of Engineering
Field of Study	Chemical Engineering
Department	Chemical Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

**E46925**

## Abstract

Because of the preeminent energy efficiency of the internally heat-integrated distillation column (HIDiC) over the conventional column, its concept is applied to the multi-component separation. This developed configuration is named as the externally heat-integrated distillation column (EHIDiC). The EHIDiC is a sequence of distillation columns that have heat integration between two diabatic sections from different columns. The purposes of this work are to explore the possibility of applying the concept of HIDiC to the EHIDiC and to explore the energy saving potential of EHIDiC when compared to the multi-pressure distillation. The improvement in energy efficiency of EHIDiC is mainly due to the heat integration between column sections at different pressures; therefore it becomes of interest whether the improvement from heat integration is greater than that from high efficiency configuration, such as Petlyuk column, or not. This study is demonstrated by investigating the separation of light reformat, xylene and C<sub>9</sub><sup>+</sup> in a mixed-xylene process as case study. In this work, two typical distribution schemes, i.e. uniform heat transfer area and uniform heat distribution, are studied by applying a novel approach to solve the simulation problem in Aspen Plus V7.1.

**Keywords:** Internally Heat-integrated Distillation column/ Externally Heat-integrated Distillation Column

หัวข้อโครงการศึกษาวิจัย	การปรับปรุงประสิทธิภาพและรูปแบบของหอกลั่น โดยให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างส่วนของหอกลั่นจากหอที่ต่างกัน
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นางสาวนพรัตน์ อติโพธิ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.บุญยพัต สุภานิช
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2553

**E 46925**

#### บทคัดย่อ

จากประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่โดดเด่นของหอกลั่นที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหอกลั่น (HIDIc) ที่เหนือกว่าหอกลั่นแบบดั้งเดิม แนวความคิดของการถ่ายเทความร้อนระหว่างหอสองส่วน (ส่วน rectifying และ ส่วน stripping) ของ HIDIc จึงเป็นที่สนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับหอกลั่นที่ใช้กลั่นแยกหลายองค์ประกอบ (multi-component distillation column) โดยชื่อของรูปแบบหอกลั่นที่สนใจศึกษานี้คือ หอกลั่นที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนภายนอกหอกลั่น (EHIDIc) ทั้งนี้รูปแบบของ EHIDIc นั้นเป็นหอกลั่นที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสองส่วนจากสองหอกลั่น วัตถุประสงค์ของงานนี้คือ เพื่อสำรวจความเป็นไปได้ในการนำแนวคิดของ HIDIc มาประยุกต์ใช้กับ EHIDIc และเพื่อสำรวจศักยภาพในการประหยัดพลังงานของ EHIDIc เมื่อเทียบกับหอกลั่นแบบ multi-pressure สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์เบื้องต้นนั้น เนื่องจาก EHIDIc เป็นรูปแบบหอกลั่นที่มีการพัฒนาในด้านของการแลกเปลี่ยนความร้อน ดังนั้น EHIDIc จึงควรถูกศึกษาเฉพาะต่อเมื่อการปฏิบัติงานของหอกลั่นที่มีการพัฒนาการแลกเปลี่ยนความร้อนมีข้อดีเหนือการใช้หอกลั่นที่มีการจัดเรียงเป็นพิเศษซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการใช้พลังงาน เช่น หอกลั่นแบบ Petlyuk เป็นต้น กระบวนการกลั่นที่นำมาใช้เป็นกรณีศึกษา คือ กระบวนการกลั่นแยก mixed xylene สำหรับรูปแบบการกระจายความร้อนภายในหอกลั่นที่ศึกษาในงานชิ้นนี้แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ แบบกระจายความร้อนเท่ากันตลอด และ แบบมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนเท่ากันตลอด โปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ในงานนี้คือ Aspen Plus V7.1

คำสำคัญ: การแลกเปลี่ยนความร้อนภายในหอกลั่น/ การแลกเปลี่ยนความร้อนภายนอกหอกลั่น

## ACKNOWLEDGEMENTS

This project would not have been possible without direct and indirect assistance from many people. Foremost, the author would like to express her gratitude to the advisor of this project, Dr. Bunyaphat Suphanit for the technical support, valuable guidance and encouragement. The author also appreciates the committee members of this project, Assoc. Prof. Dr. Suvit Tia and Dr. Hong-ming Ku for technical suggestions and comments.

Also, the author would like to particularly express special thanks to the staff of Chemical Engineering Practice School (ChEPS), Mrs. Chadaporn, who helped the author with communication and any important information used to finish the master degree. Lastly, this project would not have been completed without lots of support from the author's family and friends.

# CONTENTS

<b>PAGE</b>	
ENGLISH ABSTRACT	ii
THAI ABSTRACT	iii
ACKNOWLEDGEMENTS	iv
CONTENTS	v
LIST OF TABLES	vi
LIST OF FIGURES	viii
NOMENCLATURES	ix
<b>CHAPTER</b>	
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
1.1 Background	1
1.2 Objectives	5
1.3 Scope of work	5
1.4 Literature review	5
<b>2. METHODOLOGY</b>	<b>8</b>
2.1 Methodology	8
2.1.1 Defining flowsheet	8
2.1.2 Developing model algorithm	10
2.1.3 Economic evaluation and optimization	12
2.1.4 Comparison with other alternative configurations	12
<b>3. RESULTS AND DISCUSSION</b>	<b>14</b>
3.1 Sequence of simple columns	14
3.2 Multi-pressure distillation column	15
3.3 Petlyuk column	17
3.4 Externally heat-integrated distillation column	21
<b>4. CONCLUSION AND RECOMMENDATION</b>	<b>29</b>
4.1 Conclusion	29
4.2 Recommendation	30
<b>REFERENCES</b>	<b>31</b>
<b>APPENDIX</b>	<b>32</b>
A The results of the sequence of simple columns	32
B The results of the multi-pressure distillation column	39
C The results of the Petlyuk column	46
D The results of the EHIDiC	53
E The cost estimation information	63
<b>CURRICULUM VITAE</b>	<b>66</b>

## LIST OF TABLES

<b>TABLE</b>	<b>PAGE</b>
3.1 Estimated cost of the sequence of simple columns	15
3.2 Comparison of heat loads and the estimated costs between the sequence of simple columns and the multi-pressure distillation column	16
3.3 Comparison of heat loads and the estimated costs between the multi-pressure distillation column and the Petlyuk column	20
3.4 The estimated costs of EHIDiC with heat distributing schemes	21
3.5 Comparison of the estimated costs between base case and optimized case of the EHIDiC with uniform heat transfer area scheme	24
3.6 Comparison of the estimated costs between base case and optimized case of the EHIDiC with uniform heat distribution scheme	24
3.7 Comparison of the annualized capital costs between the different constructions of the EHIDiC with uniform heat distribution scheme	26
3.8 Comparison of the estimated costs and utility requirement between the multi-pressure distillation column and the optimum EHIDiC	27
3.9 The comparison between the optimum EHIDiC and the final optimum EHIDiC	28
3.10 The final optimum EHIDiC result	28
A.1 Stream table of Mixed Xylene separation from the existing process	33
A.2 Stream table of Mixed Xylene separation using the sequence of simple	35
A.3 Inputs and results of Design Specs and Vary block inside column	36
A.4 Detailed results of distillation column	36
A.5 Detailed results of condenser and reboiler	37
A.6 Operating cost details	38
A.7 Capital cost details	38
B.1 Stream table of Mixed Xylene separation using the multi-pressure distillation column	41
B.2 Inputs and results of Design Specs and Vary block inside column	42
B.3 Simulation results of Pump	42
B.4 Detailed results of distillation column	43
B.5 Detailed results of condenser and reboiler	44
B.6 Operating cost details	44
B.7 Capital cost details	45
C.1 Stream table of Mixed Xylene separation using the Petlyuk column	48
C.2 Fortran in Calculator block and input in Design Spec block for short-cut step	49
C.3 Inputs and results of Design Spec block for the second rigorous step Prefractionator column:	49

C.4	Inputs and results of Design Spec block for the last rigorous step Main column:	49
C.5	Simulation results of Pump	49
C.6	Detailed results of distillation column	50
C.7	Detailed results of condenser and reboiler	51
C.8	Operating cost details	51
C.9	Capital cost details	52
D.1	Stream table of Mixed Xylene separation using the EHIDiC with uniform heat transfer area (uniform A)	54
D.2	Stream table of Mixed Xylene separation using the EHIDiC with uniform heat distribution (uniform Q)	55
D.3	Stream table of Mixed Xylene separation using the EHIDiC (final optimum)	56
D.4	Inputs and results of Design Specs and Vary block inside column	57
D.5	Simulation results of Pump	57
D.6	Detailed results of concentric column	58
D.7	Detailed results of heat load at any stage ( $Q_i$ ) for uniform A scheme ( $A = 23.46 \text{ m}^2$ per stage)	59
D.8	Operating cost details for EHIDiC with uniform A	59
D.9	Capital cost details for EHIDiC with uniform A	59
D.10	Detailed results of heat transfer area at any stage ( $A_i$ ) for uniform Q scheme ( $Q = 696,481 \text{ Watt}$ per stage)	60
D.11	Operating cost details for EHIDiC with uniform Q	60
D.12	Capital cost details for EHIDiC with uniform Q	61
D.13	Detailed results of heat transfer area and heat load at any stage ( $Q_i$ and $A_i$ ) for final optimum EHIDiC	61
D.14	Operating cost details for EHIDiC (final optimum)	62
D.15	Capital cost details for EHIDiC (final optimum)	62
E.1	Cost coefficient for column pressure in equation (1)	64
E.2	Overall heat transfer coefficient	64
E.3	Correction coefficient for heat exchanger cost in equation (4)	65
E.4	Utility costs	65

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
1.1 The internally heat-integrated distillation column (HIDiC)	2
1.2 Schematics of multi-component distillation	3
1.2 (a) Sequence of simple columns	3
1.2 (b) Multi-pressure distillation column	3
1.2 (c) Dividing-wall column	4
2.1 Schematics of several possible EHIDiCs	8
2.1 (a) Direct sequence of forward EHIDiC	9
2.1 (b) Direct sequence of backward EHIDiC	9
2.1 (c) Indirect sequence of forward EHIDiC	9
2.1 (d) Indirect sequence of backward EHIDiC	10
2.2 Simulation algorithm for EHIDiC (backward heat-integrated) with either uniform heat transfer area or uniform heat distribution scheme	11
3.1 The Simulation result of Mixed Xylene separation using the sequence of simple columns	15
3.2 The simulation result of Mixed Xylene separation using the multi-pressure distillation column	16
3.3 The equivalent three-column model of the prefractionator arrangement	18
3.4 The RADFRAC model of the prefractionator arrangement	19
3.5 The Simulation result of Mixed Xylene separation using the Petlyuk column	20
3.6 Effect of condenser pressure of column 2 ( $P_2$ ) on the TAC of EHIDiC with uniform heat transfer area for Mixed Xylene separation	22
3.7 Effect of condenser pressure of column 2 ( $P_2$ ) on the TAC of EHIDiC with uniform heat distribution for Mixed Xylene separation	22
3.8 The Simulation result of Mixed Xylene separation using the EHIDiC with uniform heat transfer area scheme	23
3.9 The Simulation result of Mixed Xylene separation using the EHIDiC with uniform heat distribution scheme	24
3.10 Two different structures for EHIDiC construction	25
3.10 (a) Two-separated columns	25
3.10 (b) Concentric column	26
A.1 Flowsheet of Mixed Xylene separation using the sequence of simple columns	34
B.1 Flowsheet of Mixed Xylene separation using the multi-pressure distillation column	40
C.1 Flowsheet of Mixed Xylene separation using the Petlyuk column	47

## NOMENCLATURES

HIDiC	Heat-integrated distillation column
VRC	vapor recompression
EHIDiC	Externally heat-integrated distillation column
TAC	Total annualized cost
A	Heat transfer area
Q	Heat load
P	Pressure
Opt.	Optimum
MW	Mega watt
$Q_i$	Heat loads at any stage
$Q_T$	Total amount of heat transfer between different column sections
$\Delta T_i$	Temperature driving force at any stage
U	Overall heat transfer coefficient
n	Number of heat transfer stages
$Q_{con}$	calculated condensing load
$Q_{reb}$	calculated reboiling load