

การศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ (ซี 1- ซี 4)
เป็นสารโพลีเมอร์ชนิดเบาบนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์



นายพรชัย วงศ์ลิตาจารย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2533

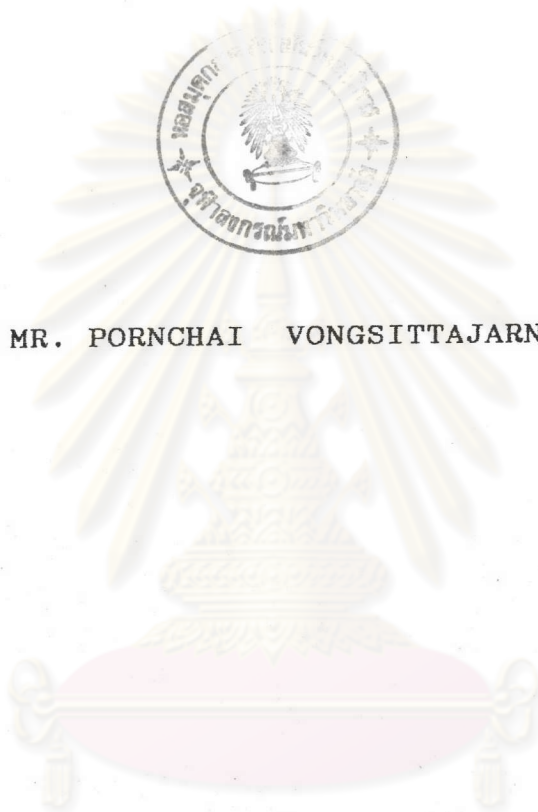
ISBN 974-577-755-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016277

I10308179

COMPARATIVE STUDY OF CONVERSION OF ALCOHOLS (C₁-C₄)
TO LIGHT OLEFINS OVER ZEOLITE CATALYSTS



MR. PORNCHAI VONGSITTAJARN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-755-2

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อ วิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



พรชัย วงศ์สิทธิอาจารย์ : การศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแอลกอฮอล์ (ซี 1 - ซี 4) เป็นสารโอเลฟินส์ชนิดเบา บนตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ (COMPARATIVE STUDY OF CONVERSION OF ALCOHOLS (C₁ - C₄) TO LIGHT OLEFINS OVER ZEOLITE CATALYSTS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ, 224 หน้า.
ISBN 974-577-755-2

จุดมุ่งหมายหลักของงานวิจัยนี้ มุ่งที่จะศึกษาผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแอลกอฮอล์ (ซี 1 - ซี 4) เป็นสารโอเลฟินส์ชนิดเบาโดยใช้ซีโอไลต์ 2 ชนิด คือ มอร์คิไนท์ และวายด์ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลิกซ์เบด ซึ่งเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ในการศึกษาได้ใช้สารตั้งต้นแอลกอฮอล์ต่าง ๆ ดังนี้คือ เมทานอล, เอทานอล, นอร์มัลโพรพานอล, และนอร์มัลบิวทานอล โดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปร : ความเร็วเชิงสเปซ ระหว่าง 1500 ถึง 5000 ต่อชั่วโมง และอุณหภูมิปฏิกิริยา ระหว่าง 200 ถึง 350 องศาเซลเซียส

ผลการวิจัยพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาสองชนิดดังกล่าวข้างต้น ให้ผลในทำนองเดียวกัน กล่าวคือ เปรอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงของแอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้นตามความยาวของโมเลกุลแอลกอฮอล์จากเมทานอลถึงนอร์มัลบิวทานอล ตามลำดับ และการเปลี่ยนแปลงของแอลกอฮอล์ (ซี 1 - ซี 4) เป็นสารโอเลฟินส์ชนิดเบาที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วเชิงสเปซเพิ่มขึ้น สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยามอร์คิไนท์ที่มีคุณสมบัติในการเลือกผลิตภัณฑ์สำหรับปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของแอลกอฮอล์ (ซี 1 - ซี 4) เป็นสารโอเลฟินส์ชนิดเบาได้ดีกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ชนิดวายด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



PORNCHAI VONGSITTAJARN : COMPARATIVE STUDY OF CONVERSION OF ALCOHOLS (C_1-C_4) TO LIGHT OLEFINS OVER ZEOLITE CATALYSTS.

THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. CHAIRIT SATAYAPRASERT, Dr.Ing., 224 PP.

ISBN 974-577-755-2

The main objective of this research is aimed to study the comparative of the conversion of alcohols (methanol to n-butanol) to emphasize at yield of light olefins product. Mordenite and Y-type being the two kinds of catalyst used in a fixed bed reactor having inside diameter of 5 millimeters by varying operating conditions: space velocities between 1500 to 5000 per hour and reaction temperature between 200 to 350°C for each catalyst.

From experimental results, it is illustrated that Mordenite and Y-type give the same results with respect to the percentage conversion of alcohols increase with chain length of molecule that is from methanol to n-butanol respectively, and the conversion of alcohols to light olefins trend is increased when reaction temperature increases. Similarly, the light olefins decrease when space velocity increase. And as shown that Mordenite is more qualified in product selectivity for light olefins than Y-type catalyst.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2532

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม



ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to express his sincere gratitude to Associate Professor Chairit Satayaprasert for his valuable advice and unceasing assistance towards the completion of the thesis and also to Dr.Dhongchai Medhanavyn for his useful suggestions.

The author also wants to thank the thesis committees, Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Associate Professor Suwattana Phuangphuaksook, and Assistant Professor Sasithorn Boon-Long and has heavily relied on friends, sisters and brothers for their assistance and encouragement.

The research was financially supported throughout by the Asahi Glass Foundation for Industrial Technology of Tokyo. Professor Hiroo Niiyama's Laboratory had kindly supplied various samples of the zeolite catalysts, Thai Oil Co.Ltd. kindly donated some blend standard gas, and the Graduate School, Chulalongkorn University provided supplementary financial assistance to the thesis work. Their contributions are gratefully acknowledged.

Most of all the author greatly appreciates his mother for her inspiration and encouragement.



TABLE OF CONTENTS

	page
ABSTRACT IN THAI	iv
ABSTRACT IN ENGLISH	v
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
TABLE OF CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	xi
LIST OF FIGURES	xvi
NOMENCLATURES	xxiv
CHAPTER	
I. INTRODUCTION	1
1.1 Scope of the Present Report	1
1.2 Petrochemical Situation and Use of Olefins	5
1.3 Objective of the Research and Expectantly Get a Benefit	12
II. THEORY OF REACTIVITIES OF ALCOHOLS OVER CATALYSTS	14
2.1 Papers and Publications Related to the Present Work	14
2.2 Reaction Mechanism for Methanol Conversion to Light Olefins	38
2.3 Hydrocarbon Manufacture from Alcohols	48
2.4 Change of Product Distribution	58

III.	ZEOLITE CATALYSTS	70
3.1	General Methods of Catalyst Preparation	70
3.2	Physical Characterization and Examination	90
3.3	Zeolite	97
IV.	EXPERIMENTAL METHODS	115
4.1	Fabrication of Experimental Unit ..	115
4.2	Preparation of the Catalyst for the Reaction Test	120
4.3	Reaction Engineering Tests	122
V.	RESULTS AND DISCUSSION	129
5.1	Reactivity of Alcohols ($C_1^{OH}-C_4^{OH}$).	129
5.2	Effect of Temperature	131
5.3	Effect of Space Velocity	181
5.4	Influence of Type	182
VI.	CONCLUSION	183
REFERENCES	.....	186
APPENDIX A	.....	194
A.1	Periodic Table of the Elements	194
A.2	Vapor Pressure of Alcohols ($C_1^{OH} - C_4^{OH}$)	195
A.3	Constant for Find Heat of Capacity ...	195
A.4	Physical Constant for Light Olefins...	196
APPENDIX B	.....	200
B.1	Sample of Calculation for Volume of Catalyst	200

B.2	Sample of Calculation for Gas Flowrate Velocity	200
B.3	Sample of Calculation for Percentage of MeOH Conversion	202
B.4	Sample of Calculation for Percentage of MeOH Conversion to Light Olefins ..	202
APPENDIX C	.....	204
C.1	Standard Calibration Curve for Alcohols (C ₁ ^{OH} - C ₄ ^{OH})	204
C.2	Standard Calibration Curve for Light Olefins	209
APPENDIX D	.....	212
D.1	Definitions	212
D.2	Condition for GC - 9APF	213
APPENDIX E	.....	215
E.1	Data for Study of Reactivity of Methanol (HM-10 Zeolite)	215
E.2	Data for Study of Reactivity of Ethanol (HM-10 Zeolite)	216
E.3	Data for Study of Reactivity of n-Propanol (HM-10 Zeolite)	217
E.4	Data for Study of Reactivity of n-Butanol (HM-10 Zeolite)	218
E.5	Data for Study of Reactivity of Methanol (HY-5.6 Zeolite)	219

E.6	Data for Study of Reactivity of Ethanol (HY-5.6 Zeolite)	220
E.7	Data for Study of Reactivity of n-Propanol (HY-5.6 Zeolite)	221
E.8	Data for Study of Reactivity of n-Butanol (HY-5.6 Zeolite)	222
E.9	Chemical Equilibrium for the Reaction with the Change in Gibbs Free Energy (G_f, r)	223
VITA	.....	224



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table		Page
1.1	The structure and names of the C ₄ olefins and diolefins.....	9
2.1	Physical properties of methanol.....	18
2.2	Physical properties of ethanol.....	18
2.3	Physical and chemical constants of 1-propanol.....	22
2.4	Physical properties of isopropyl alcohol..	23
2.5	Physical properties of the butyl alcohols.	24
2.6	The chemical reactions for MTHC.....	46
2.7	Zeolite-catalyzed hydrocarbon formation...	49
2.8	Yields from methanol in a 4-bbl/day fluid-bed unit.....	57
2.9	The conversion of O-compounds to hydrocarbon.....	59
2.10	Effect of space velocity on methanol conversion.....	62
3.1	Tyler standard sieve series.....	94
3.2	Properties of selected zeolites and feldspathoids.....	99
3.3	The evolution of zeolite.....	100
3.4	Selected well-characterized Zeolites of interest in catalysis.....	106
4.1	The minimum radius of curvature.....	117
4.2	Catalysts used for comparative study of conversion of alcohols to light olefins.....	120

Table	Page
5.1 The effect of reaction temperature on activity and selectivity of HM-10 zeolite (S.V.=1500 hr ⁻¹).....	134
5.2 The effect of reaction temperature on activity and selectivity of HM-10 zeolite (S.V.=3000 hr ⁻¹).....	135
5.3 The effect of reaction temperature on activity and selectivity of HM-10 zeolite (S.V.=5000 hr ⁻¹).....	136
5.4 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolite (C ₁ ^{OH}).....	137
5.5 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolite (C ₁ ^{OH}).....	137
5.6 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolites (n-C ₃ ^{OH})...	138
5.7 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolite (n-C ₄ ^{OH})....	138
5.8 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolite (C ₁ ^{OH}).....	139
5.9 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolite (C ₂ ^{OH}).....	139
5.10 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolite (n-C ₃ ^{OH})...	140
5.11 The effect of space velocity on activity and selectivity of HM-10 zeolite (n-C ₄ ^{OH})...	140

Table	Page
5.12 The effect of reaction temperature on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (S.V.=1500 hr ⁻¹).....	141
5.13 The effect of reaction temperature on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (S.V.=3000 hr ⁻¹).....	142
5.14 The effect of reaction temperature on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (S.V.=5000 hr ⁻¹).....	143
5.15 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (C ₁ ^{0H})....	144
5.16 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (C ₂ ^{0H})....	144
5.17 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (n-C ₃ ^{0H})..	145
5.18 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (n-C ₄ ^{0H})..	145
5.19 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (C ₁ ^{0H})....	146
5.20 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (C ₂ ^{0H})....	146
5.21 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (n-C ₃ ^{0H})..	147
5.22 The effect of space velocity on activity and selectivity of HY-5.6 zeolite (n-C ₄ ^{0H})..	147
A.1 Periodic table of the elements.....	194
A.2 Constant for Antonie's Equation.....	195

Table	Page
A.3 Constant for find heat of capacity.....	196
B.1 Example of Experimental Data.....	201



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure		Page
1.1	Making gasoline from natural gas via MTG...	3
1.2	Making alcohols from agricultural products..	4
1.3	The demand pattern for ethylene.....	7
1.4	The predicted use pattern of propylene consumption in 1980.....	8
1.5	The chemical utilization of the n-butenes..	10
1.6	The chemical utilization of isobutylene, exclusive of polymer formation.....	11
2.1	The carbene attack on ethene.....	41
2.2	The carbene attack on propene.....	42
2.3	Typical intermediates in the conversion of olefins to naphthenes and aromatics	45
2.4	The dehydration of alcohols mechanism involving both acidic and basic sites.....	50
2.5	The dehydration of a high purity 3-methyl-1-butanol	51
2.6	Process of 3-methyl-1-butene.....	52
2.7	Typical flow diagram of fixed-bed MTG reaction section.....	54
2.8	Fluid-bed MTG process.....	56
2.9	The major products distribution for the pure methanol conversion.....	63
2.10	Zeolite-catalyzed methanol conversion; yield structure VS temperature.....	64
2.11	Effect of pressure on ethanol conversion...	65

Figure		Page
2.12	Effect of pressure on hydrocarbon distribution.....	66
2.13	Variation of formed crystals for Si/Al charged ratios.....	68
2.14	Effect of Si/Al charged ratio.....	68
2.15	Influence of pore aperture on the distribution of hydrocarbon products.....	69
3.1	Precipitated catalysts flow sheet.....	71
3.2	Impregnated catalysts.....	73
3.3	Zeolite (fluid cracking) catalysts.....	74
3.4	Laboratory precipitated catalyst preparation set-up.....	80
3.5	Postulated structure of silica-alumina Bronsted and lewis acidity.....	103
3.6	Formation of carbenium ion.....	103
3.7	Acid amount versus acid strength for a synthetic Y zeolite.....	105
3.8	Pore structure of industrially important zeolites.....	107
3.9	Stereodiagram of framework topology of mordenite.....	111
3.10	The line drawing of faujasite structure....	114
4.1	The procedure connects a tube to the fittings.....	117
4.2	Improperly adjusted wrenches will damage nuts.....	119

Figure	Page	
4.3	The observed axial temperature distribution of the pulsed microcatalytic reaction furnace under no-flow conditions.....	121
4.4	Schematic diagram of the reaction experimental unit.....	123
4.5	Shimadzu FID Gas Chromatograph (Model GC-9APF).....	125
4.6	Shimadzu Area Integrator Recorder (Model C-R6A chromatopac).....	126
4.7	The Reaction Experimental Unit for Comparative Study of Conversion of Alcohols to Light Olefins.....	128
5.1	Effect of Temperature (200-350°C) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at S.V.=1500 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	148
5.2	Effect of Temperature (200-350°C) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at S.V.3000 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	149
5.3	Effect of Temperature (200-350°C) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at S.V.5000 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	150
5.4	Effect of Temperature (200-350°C) on Product Distribution (Wt.%) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V. = 1500 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	151

Figure	Page	
5.5	Effect of Temperature (200-350°C) on Product Distribution (wt.%) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 3000 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	152
5.6	Effect of Temperature (200-350°C) on Product Distribution (Wt.%) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 5000 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	153
5.7	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Ethylene from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.=1500 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	154
5.8	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Ethylene from Alcohols (C ₁ ^{OH}) at S.V.= 5000 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	155
5.9	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Propylene from Alcohols (C ₁ ^{OH}) at S.V.= 1500 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	156
5.10	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Propylene from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 5000 hr ⁻¹ for HM-10 Zeolite.....	157
5.11	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=200°C for HM-10 Zeolite.....	158

Figure	Page	
5.12	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=250°C for HM-10 Zeolite.....	159
5.13	Effect on Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=300°C for HM-10 Zeolite.....	160
5.14	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=350°C for HM-10 Zeolite.....	161
5.15	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Percent Yield of Light Olefins (C ₂ -3 ⁼) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at T=250°C for HM-10 Zeolite.....	162
5.16	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Percent Yield of Light Olefins (C ₂ -3 ⁼) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at T=350°C for HM-10 Zeolite.....	163
5.17	Effect of Temperature (200-350°C) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at S.V.= 1500 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	164
5.18	Effect of Temperature (200-350°C) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at S.V.= 3000 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	165
5.19	Effect of Temperature (200-350°C) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at S.V. = 5000 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite....	166

Figure	Page	
5.20	Effect of Temperature (200-350°C) on Product Distribution (Wt.%) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 1500 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	167
5.21	Effect of Temperature (200-350°C) on Product Distribution (Wt.%) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 3000 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	168
5.22	Effect of Temperature (200-350°C) on Product Distribution (Wt.%) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 5000 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	169
5.23	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Ethylene from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 1500 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	170
5.24	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Ethylene from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 5000 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	171
5.25	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Propylene from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.=1500 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	172

Figure	Page	
5.26	Effect of Temperature (200-350°C) on Selectivity of Propylene from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V. 5000 hr ⁻¹ for HY-5.6 Zeolite.....	173
5.27	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=200°C for HY-5.6 Zeolite.....	174
5.28	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=250°C for HY-5.6 Zeolite.....	175
5.29	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=300°C for HY-5.6 Zeolite.....	176
5.30	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) Conversion at T=350°C for HY-5.6 Zeolite.....	177
5.31	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Percent Yield of Light Olefins (C ₂₋₃) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at T=250°C for HY-5.6 Zeolite.....	178
5.32	Effect of Space Velocity (1500-5000 hr ⁻¹) on Percent Yield of Light Olefins (C ₂₋₃) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at T=350°C for HY-5.6 Zeolite.....	179

Figure	page	
5.33	Influence of type of Zeolite on Product Distribution (Wt.%) from Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}) at S.V.= 1500 hr ⁻¹ and T=200-300°C.....	180
A.1	Standard Free Energies of Formation of Hydrocarbons.....	197
A.2	Specific Heat of Light Olefin Vapors.....	198
A.3	Viscosity of Light Olefin Vapors.....	199
C.1	Standard GC-Analysis Peak of Alcohols (C ₁ ^{OH} -C ₄ ^{OH}).....	204
C.2	Calibration Curve for Methanol.....	205
C.3	Calibration Curve for Ethanol.....	206
C.4	Calibration Curve for n-Propanol.....	207
C.5	Calibration Curve for n-Butanol.....	208
C.6	Standard GC-Analysis Peak of Light Olefins.....	209
C.7	Calibration Curve for Ethylene.....	210
C.8	Calibration Curve for Propylene.....	211



NOMENCLATURES

MeOH, C ₁ ^{OH}	Methanol
EtOH, C ₂ ^{OH}	Ethanol
n-PrOH, C ₃ ^{OH}	n-Propanol
n-BuOH, C ₄ ^{OH}	n-Butanol
C ₂ H ₄	Ethylene
C ₃ H ₆	Propylene
light olefins	Ethylene+Propylene
Δ G _f	Gibbs Free Energy
C ₂₋₃	Ethylene+Propylene
°C	Degree Celcius
hr ⁻¹	Per Hour
kJ/g-mol	Kilojoule per Gram-mole

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย