

การเตรียมแก๊สลิแกนด์จากขยะพอลิโพรพิลีน โดยใช้ซีโอไลต์เอ็มซีเอ็ม-22 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

นางสาวนฤมล เกิดสา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมี และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GASOLINE PREPARATION FROM POLYPROPYLENE WASTE USING
MCM-22 ZEOLITES AS CATALYST

Miss Narumol Kerdsa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Petrochemistry and Polymer Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University


Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University

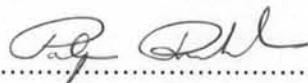
501185

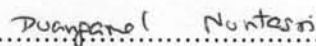
Thesis Title GASOLINE PREPARATION FROM POLYPROPYLENE WASTE
 USING MCM-22 ZEOLITES AS CATALYST
By Miss Narumol Kerdsa
Field of Study Petrochemistry and Polymer Science
Thesis Advisor Duangamol Nuntasri, Ph.D.

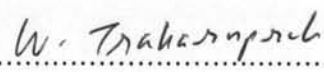
Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment
of the Requirements for the Master's Degree



.....Dean of the Faculty of Science
(Professor Supot Hannongbua, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE


.....Chairman
(Professor Pattarapan Prasassarakich, Ph.D.)


.....Thesis Advisor
(Duangamol Nuntasri, Ph.D.)


.....Member
(Associate Professor Wimonrat Trakarnpruk, Ph.D.)


.....Member
(Aticha Chaisuwan, Ph.D.)

นฤมล เกิดสา : การเตรียมแกโซลีนจากขยะพอลิโพรพิลีนโดยใช้ซีโอไลต์เอ็มซีเอ็ม-22 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (GASOLINE PREPARATION FROM POLYPROPYLENE WASTE USING MCM-22 ZEOLITES AS CATALYST) อ.ที่ปรึกษา: ดร.ดวงกมล นันทศรี, 121 หน้า

สามารถสังเคราะห์เอ็มซีเอ็ม-22 แบบวิธีไฮโดรเทอร์มัลด้วยการตกผลึกแบบหมุนได้ และใช้เฮกซะเมทิลีนอิมมีนหรือ เอชเอ็มไอ เป็นสารต้นแบบโครงสร้าง องค์ประกอบของเจลคือ 1.00 SiO_2 ; $0.15 \text{ Na}_2\text{O}$; $0.033 \text{ Al}_2\text{O}_3$; 0.9 HMI ; $40 \text{ H}_2\text{O}$ นำเจลไปตกผลึกที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน สามารถสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเอ็มซีเอ็ม-22 ที่มีค่าอัตราส่วนโดยโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาต่าง ๆ และกำจัดสารต้นแบบอินทรีย์จากตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้โดยการเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 540 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ได้เตรียม ดีลามีเนท-เอ็มซีเอ็ม-22 โดยการทำให้พรีเคอร์เซอร์บวมตัวและแยกชั้น ดีลามีเนท-เอ็มซีเอ็ม-22 เป็นแผ่นซีทบาง ๆ ที่มีพื้นที่ผิวด้านนอกสูงมาก สามารถปรับสภาพเอ็มซีเอ็ม-22 และ ดีลามีเนท-เอ็มซีเอ็ม-22 ได้ด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ภายใต้รีฟลักซ์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 5 ครั้ง และตรวจสอบลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ไอซีพี-เออีเอส อะลูมิเนียมนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สำหรับสถานะของแข็ง การดูดซับไนโตรเจน และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ได้ทดสอบความว่องไวของตัวเร่งปฏิกิริยาเอ็มซีเอ็ม-22 ที่ยังไม่ปรับสภาพและที่ปรับสภาพแล้วในการแตกย่อยขยะชนิดพอลิโพรพิลีนที่ภาวะต่าง ๆ ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแตกย่อยของพอลิโพรพิลีนคือ อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียส 10% โดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อใช้ไฮโดรเจน-เอ็มซีเอ็ม-22 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าการเปลี่ยนของพลาสติกสูงชันอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ การแตกย่อยแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าการเปลี่ยนและปริมาณของผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นแก๊สและส่วนที่เป็นของเหลวขึ้นกับอัตราส่วนซิลิกาต่ออะลูมินาและ อุณหภูมิของปฏิกิริยา ความเลือกจำเพาะต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับมีผลเล็กน้อย ส่วนที่เป็นแก๊สที่ได้จากการแตกย่อยขยะพอลิโพรพิลีนประกอบด้วย นอร์มอลบิวเทน C_5^+ และ โพรพีนเป็นส่วนใหญ่ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ได้จากการแตกย่อยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง C_7 ถึง C_9 ซึ่งมีจุดเดือดช่วงเดียวกับแกโซลีนมาตรฐาน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนโดยโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาต่าง ๆ หลังจากปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์แล้ว ให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวมากกว่า และปริมาณ ใค้กน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาก่อนปรับสภาพ ยกเว้นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮโดรเจน-เอ็มซีเอ็ม-22 ที่มีอัตราส่วนโดยโมลของซิลิกาต่ออะลูมินาเท่ากับ 30 สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้แล้ว สามารถทำให้คืนสภาพเดิมได้ด้วยการเผา แต่มีความว่องไว้น้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ได้ใช้งาน และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบใกล้เคียงกับที่ได้รับจากตัวเร่งปฏิกิริยาใหม่ ในกรณีที่ใช้ ดีลามีเนท-เอ็มซีเอ็ม-22 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้ค่าการเปลี่ยนพอลิโพรพิลีนในช่วง 82% ถึง 92% ผลิตภัณฑ์แก๊สส่วนใหญ่ คือ นอร์มอลบิวเทน และ C_5^+ ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวส่วนใหญ่อยู่ในช่วง C_6 ถึง C_8

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์..... ลายมือชื่อนิติต นฤมล เกิดสา
ปีการศึกษา 2550 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดวงกมล นันทศรี

4872327023: MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEY WORD: MCM-22/ DELAMINATION MCM-22/ CRACKING

NARUMOL KERDSA: GASOLINE PREPARATION FROM POLYPROPYLENE WASTE USING MCM-22 ZEOLITES AS CATALYST. THESIS ADVISOR: DUANGAMOL NUNTASRI, Ph.D., 121 p.p.

MCM-22 was able to be hydrothermally synthesized by rotating crystallization and using hexamethylenimine (HMI) as a structure directing agent with the gel composition 1.00 SiO₂: 0.15 Na₂O: 0.033 Al₂O₃: 0.9 HMI: 40 H₂O. The gel was crystallized at 140°C for 7 days. The MCM-22 catalysts with various SiO₂/Al₂O₃ molar ratios were synthesized and the organic template was removed from as-synthesized samples by calcination in a muffle furnace at 540°C. The del-MCM-22 was prepared by swelling and exfoliating the MCM-22 precursor. The del-MCM-22 consists of thin sheet with an extremely high external surface area. The proton form of MCM-22 and del-MCM-22 catalysts could be obtained by treatment with 1.0 M NH₄Cl solution under reflux at 80°C for 2 h, 5 times. The synthesized catalysts were characterized using X-ray diffraction, inductive coupled plasma atomic emission, solid state ²⁷Al-NMR, nitrogen adsorption and scanning electron microscopy. Catalytic cracking of PP waste over Na-MCM-22 and H-MCM-22 catalysts are studied under different conditions. The optimum polypropylene cracking condition was set to reaction temperature of 380°C, 10 wt% of catalyst and under N₂ flow of 20 cm³/min. Using H-MCM-22 as catalyst, the conversions of PP waste greatly increase compared to that in the absence of catalyst. The conversions, gas and liquid fractions depend on the SiO₂/Al₂O₃ ratio in catalyst and the reaction temperature. The product selectivity is affected slightly. The gas fraction obtained by PP waste cracking mainly consists of n-butane, C₅⁺ and propene and in the range from C₇ to C₈ for the liquid fraction with the same boiling point range compared to that of standard gasoline. The catalysts with various SiO₂/Al₂O₃ ratios after the treatment with ammonium chloride provide higher yield of liquid fraction and lower yield of coke than that before the treatment except H-MCM-22(30) catalyst. The used H-MCM-22 catalysts can be regenerated by calcination, the obtained product composition close to the fresh catalyst but the activity is lower. In case of del-H-MCM-22 catalyst, it shows the polypropylene conversion slightly higher than non-delaminated one in the range of 82 % - 92 %. The obtained gas product is mainly n-butane and C₅⁺ and the liquid fraction is mainly in the range from C₆ to C₈.

Field of Study: Petrochemistry and Polymer Science Student's Signature: Narumol Kerdsa

Academic year: 2007 Advisor's Signature: Duangamol Nuntasri

ACKNOWLEDGEMENTS

The success of this thesis can be attributed to the extensive support and assistance from Dr. Duangamol Nuntasri. I deeply thank her for valuable advice and guidance in this research and kindness throughout this study.

I would like to gratitude to Professor Dr. Pattarapan Prasassarakitch, Associate Professor Dr. Wimonrat Trakarnpruk and Dr. Aticha Chaisuwan as the chairman and member of this thesis committee, respectively, for all of their kindness and useful advice in the research.

I would like to gratefully thank PTT Chemical Public Company Limited for supporting the standard mixtures for GC analysis. Moreover, I would like to thank Department of Chemistry and Program of Petrochemistry and Polymer Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University for the valuable knowledge and experience. I would like to thank the Graduate School, Chulalongkorn University for supporting a research fund. I would like to thank the Rachadapisek Sompoch Endowment of Chulalongkorn University, for supporting me as a research assistant. In addition, Thailand Japan Technology Transfer Project supported a loan by Japan Banks for International Cooperation (JTTP-JBIC) for instrument support. Furthermore, I would like to thank the members of Materials Chemistry and Catalysis Research Unit for consideration and generosity.

For all of my friends, I greatly appreciate their help and encouragement throughout the course of my research and study.

Finally, I would like to express my deepest gratitude to my family for their entirely care and support. The usefulness of this thesis, I dedicate to my family and all teachers who have taught me since my childhood.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT (THAI).....	iv
ABSTRACT (ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENETS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xi
LIST OF FIGURES.....	xii
LIST OF SHEMES.....	xvi
LIST OF ABBREVIATIONS.....	xvii
CHAPTER	
I INTRODUCTION	1
1.1 Background.....	1
1.2 Literature reviews.....	7
1.3 Objective.....	12
1.4 Scope of work.....	12
II THEORY	13
2.1 Properties and characteristics of industrial catalysts.....	13
2.2 Types of catalysts.....	14
2.3 Zeolite molecular sieves.....	15
2.3.1 Zeolite structures.....	16
2.3.2 Properties of zeolites.....	18
2.3.2.1 Acid sites of zeolites.....	18
2.3.2.2 Shape selectivity.....	20
2.4 MCM-22 zeolite.....	21
2.4.1 Synthesis of MCM-22 zeolite.....	22
2.4.2 Preparation of del-MCM-22.....	23
2.4.3 Powder X-ray diffraction (XRD).....	25
2.4.4 Scanning electron microscopy (SEM).....	26

CHAPTER	Page
2.4.5 Nitrogen adsorption-desorption isotherm	27
2.4.6 Inductively coupled plasma – atomic emission spectroscopy (ICP-AES).....	30
2.4.7 Temperature-programmed desorption (TPD) of ammonia ..	30
2.4.8 ²⁷ Al-MAS-NMR.....	31
2.5 Cracking reaction	31
2.5.1 Thermal cracking.....	31
2.5.2. Catalytic cracking.....	33
2.6 Catalytic cracking mechanisms.....	33
2.6.1 Reactions occurring during catalytic cracking.....	34
2.6.2 General cracking mechanisms.....	34
2.6.3 Reactions of olefins.....	35
2.6.4 Proposed cracking mechanisms of polymer.....	37
2.6.5 Other reactions of olefins.....	41
2.7 Catalyst deactivation and regeneration.....	43
III EXPERIMENTS	45
3.1 Equipment and apparatus.....	45
3.1.1 Pressure reactors and furnaces.....	45
3.1.2 X-ray powder diffractometer.....	45
3.1.3 Surface area analyzer.....	45
3.1.4 Scanning electron microscope.....	45
3.1.5 ICP-AES spectrometer.....	45
3.1.6 AAS spectrometer.....	46
3.1.7 ²⁷ Al-NMR spectrometer.....	46
3.1.8 Gas chromatograph.....	46
3.2 Chemicals and gases.....	47
3.3 Synthesis of MCM-22.....	47
3.3.1 Preparation of MCM-22 with various SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios	49
3.4 Organic template removal.....	49
3.5 Preparation of delaminated MCM-22.....	50
3.6 Ion exchange of MCM-22.....	51

CHAPTER	Page
3.7 Sample preparation for ICP-AES analysis.....	51
3.8 Catalytic cracking of polypropylene waste over MCM-22.....	52
3.8.1 General procedure in catalytic cracking of PP waste.....	52
3.8.1.1 Effect of SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios in catalyst.....	54
3.8.1.2 Thermal cracking and catalytic cracking over MCM-22.....	54
3.8.1.3 Study on the effect of reaction temperature.....	54
3.8.1.4 Study on the effect of polypropylene waste to catalyst ratio.....	55
3.9 Catalyst regeneration.....	55
 IV RESULTS AND DISCUSSIONS	 56
4.1 The physico-chemical properties of MCM-22.....	56
4.1.1 XRD results.....	56
4.1.2 Elemental analysis.....	59
4.1.3 SEM images of MCM-22.....	59
4.1.4 ²⁷ Al-MAS-NMR spectra.....	60
4.1.5 Acidity of MCM-22.....	62
4.1.6 Sorption properties of MCM-22.....	63
4.2 Activity of various catalytic in PP waste cracking.....	65
4.2.1 Effect of sodium ion in catalyst.....	65
4.2.2 Effect of aluminum content in catalyst.....	69
4.2.3 Effect of reaction temperature.....	74
4.2.4 Effect of PP waste to catalyst ratios.....	78
4.3 Characterization and catalytic activity of del-H-MCM-22 catalysts.....	82
4.3.1 Characterization of del-H-MCM-22 catalysts.....	82
4.4.1.1 XRD results.....	82
4.4.1.2 SEM images of del-MCM-22 catalysts.....	84
4.4.1.3 ²⁷ Al-MAS-NMR spectra.....	85
4.4.1.4 Sorption properties of del-MCM-22 catalysts.....	86
4.4.1.5 Acidity of del-MCM-22 catalysts.....	88
4.3.2 Activity of del-H-MCM-22 catalysts.....	89

CHAPTER	Page
4.4 Recycle of catalysts.....	93
4.4.1 Characterization of regenerated type I and type II catalysts.....	93
4.4.1.1 XRD results.....	93
4.4.1.2 SEM images of regenerated catalysts.....	94
4.4.1.3 Sorption properties of regenerated catalysts.....	95
4.4.2 Activity of regenerated catalysts.....	96
4.5 Catalytic activity of H-MCM-22 in HDPE waste cracking.....	99
4.5.1 Effect of reaction temperature and SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios.....	99
4.6 Comparison of catalytic activity in PP waste cracking over H-MCM-22 with other catalysts.....	103
V CONCLUSION	104
REFERENCES	106
APPENDICES	113
VITAE	121

LIST OF TABLES

Table	Page
1.1 Types of plastic and their uses	2
2.1 Comparison of homogeneous and heterogeneous catalyst	15
2.2 IUPAC classification of porous materials	16
2.3 Type and characteristics of sorption isotherms	29
2.4 Demonstration of shape-selective cracking of paraffins by zeolite A	43
3.1 Required amounts of sodium aluminate in the preparation of MCM-22 samples with various SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios	49
3.2 Conditions of del-MCM-22 preparation	51
4.1 SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios in gel composition and in product of H-MCM-22 catalysts	59
4.2 Textural properties of calcined H-MCM-22 catalysts	64
4.3 Value of % conversion and product yield from PP waste cracking over Na-MCM-22 and H-MCM-22 at 380°C	66
4.4 Value of % conversion and product yield from PP waste cracking over H-MCM-22 with various SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios at 380°C	70
4.5 Value of % conversion and product yield from PP waste cracking over H-MCM-22(60) with various temperatures	75
4.6 Value of % conversion and product yield from PP waste cracking over H-MCM-22(120) with various catalyst amounts at 380°C	79
4.7 Textural properties of del- MCM-22 samples with various conditions	83
4.8 Textural properties of calcined del-H-MCM-22 compared with H-MCM-22 catalysts	87
4.9 Value of % conversion and product yield from PP waste cracking over H-MCM-22 and del-H-MCM-22 catalysts at 380°C	90
4.10 Textural properties of calcined regenerated MCM-22 catalysts	95
4.11 Value of % conversion and product yield from PP waste cracking over fresh, regenerated MCM-22(120) type I and type II catalysts at 380°C	96
4.12 Value of % conversion and product yield from catalytic cracking of PE waste over H-MCM-22 catalysts with various temperatures and SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios	100

LIST OF FIGURES

Figure	Page
1.1 Plastic applications.....	1
2.1 Primary Building Unit (PBU) of zeolites.....	16
2.2 Secondary Building Units (SBU's) in zeolite.....	17
2.3 The structure of zeolites.....	18
2.4 The generation of Brönsted and Lewis acid sites in zeolite.....	19
2.5 Three types of selectivity in zeolites: reactant, product and transition-state shape selectivity.....	20
2.6 MWW frameworks.....	21
2.7 Structural schematic representation of MWW-type zeolites and del-MCM-22.....	23
2.8 Proposed structure for the del-MCM-22 layer.....	24
2.9 Diffraction of X-ray by regular planes of atoms.....	26
2.10 Types of sorption isotherms.....	28
2.11 Cracking mechanisms illustrated by the reaction of <i>n</i> -heptene; adsorption at a Brönsted acid site leads to formation of an adsorbed carbenium ion that can be cracked. Both the β -scission mechanism and the protonated cyclopropane mechanism are shown.....	35
2.12 Monomolecular cracking mechanisms (only mechanism possible with ZSM-5).....	37
2.13 Bimolecular cracking mechanism that can occur on zeolite Y in addition to the monomolecular mechanism.....	38
2.14 Schematic representation of some of the reactions occurring during catalytic cracking.....	41
3.1 Apparatus for synthesis of MCM-22.....	48
3.2 Apparatus for vacuum distillation.....	53
4.1 XRD patterns of (a) as-synthesized and (b) calcined MCM-22(30) zeolite.....	57
4.2 XRD patterns of (A) as-synthesized and (B) calcined MCM-22 zeolite with different crystallization time.....	57

Figure	Page
4.3 XRD patterns of calcined MCM-22 with various SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios.....	58
4.4 SEM images of calcined sample (A) Na-MCM-22(30), (B) H-MCM-22(30), (c) H-MCM-22(60) and (d) H-MCM-22(120) catalys.....	60
4.5 The ²⁷ Al-MAS-NMR spectra of (a) Na-MCM-22(30) and (b) H-MCM-22(30) catalysts.....	61
4.6 The ²⁷ Al-MAS-NMR spectra of (a) H-MCM-22(30), (b) H-MCM-22(60) and (c) H-MCM-22(120) catalysts.....	62
4.7 NH ₃ -TPD profiles of samples (a) H-MCM-22(30) (b) H-MCM-22(60), (c) H-MCM-22(120), (d) H-MCM-22(250) (e) H-MCM-22(400).....	63
4.8 N ₂ adsorption-desorption isotherm of (a) H-MCM-22(400), (b) H-MCM-22(250), (c) H-MCM-22(120), (d) H-MCM-22(30) and (e) H-MCM-22(60).....	64
4.9 Accumulative volume of liquid fractions from catalytic cracking of PP waste over Na-MCM-22 and H-MCM-22 at 380°C.....	67
4.10 Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of PP waste over Na-MCM-22 and H-MCM-22 at 380°C.....	68
4.11 Carbon number distribution of distilled oil obtained by catalytic cracking of PP waste over Na-MCM-22 and H-MCM-22 at 380°C.....	69
4.12 Accumulative volume of liquid fractions from catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22 with various SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios at 380°C.....	71
4.13 Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22 with various SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios at 380°C.....	72
4.14 Carbon number distribution of distilled oil obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22 with various SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ratios at 380°C.....	73
4.15 Carbon number distribution of commercial SUPELCO GC standard gasoline.....	74
4.16 Accumulative volume of liquid fractions from catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22(60) with various temperatures.....	76

Figure	Page
4.17 Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22(60) with various temperatures.....	77
4.18 Carbon number distribution of distilled oil obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22(60) with various temperatures.....	78
4.19 Accumulative volume of liquid fractions from from PP waste cracking over H-MCM-22(120) with various catalyst amounts at 380°C.....	80
4.20 Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22(120) with various catalyst amounts at 380°C.....	80
4.21 Carbon number distribution of distilled oil obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22(120) with various catalyst amounts at 380°C.....	81
4.22 XRD patterns of (a) calcined MCM-22, (b) MCM-22(P), (c) swollen MCM-22(P) and (c) del-H-MCM-22.....	82
4.23 XRD patterns of del-MCM-22 samples with various conditions; (a) MCM-22(P), (b) D1, (c) D2, (d) D3, (e) D4 and (f) D5.....	83
4.24 XRD patterns of (a) as-synthesized MCM-22(30), (b) del-H-MCM-(30), (c) as-synthesized MCM-22(60) and (d) del-H-MCM-22(60) catalysts.....	84
4.25 SEM images of calcined sample (A) H-MCM-22(30), (b) H-MCM-22(60), (c) del-H-MCM-22(30) and (e) del-H-MCM-22(60) catalysts.....	84
4.26 The ²⁷ Al-MAS-NMR spectra of H-MCM-22(30) and del-H-MCM-22(30) catalysts.....	85
4.27 The ²⁷ Al-MAS-NMR spectra of H-MCM-22(60) and del-H-MCM-22(60) catalysts.....	86
4.28 N ₂ adsorption-desorption isotherms of (A) del-H-MCM-22(30) compared with H-MCM-22(30) and (B) del-H-MCM-22(60) compared with H-MCM-22(60) catalysts.....	87
4.29 Ammonia TPD profile of (a) Na-MCM-22(30), (b) H-MCM-22(30) and (c) del-H-MCM-22(30).....	88

Figure	Page
4.30 Ammonia TPD profile of (d) Na-MCM-22(60), (e) H-MCM-22(60) and (f) del-H-MCM-22(60).....	88
4.31 Accumulative volume of liquid fractions from PP waste cracking over H-MCM-22 and del-H-MCM-22 catalysts at 380°C.....	91
4.32 Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22(30) and del-H-MCM-22(30) at 380°C.....	92
4.33 Carbon number distribution of distilled oil obtained by catalytic cracking of PP waste over H-MCM-22(30) and del-H-MCM-22(30) at 380°C.....	93
4.34 XRD patterns of (a) fresh H-MCM-22(120), (b) regenerated type I and (c) regenerated type II.....	94
4.35 SEM images of calcined (a) fresh H-MCM-22(120), (b) regenerated MCM-22(120) type I and (c) regenerated MCM-22(120) type II.....	94
4.36 N ₂ adsorption-desorption isotherms of (a) fresh H-MCM-22(120), (b) regenerated type I and (c) regenerated type II.....	95
4.37 Accumulative volume of liquid fractions from PP waste cracking over fresh and the regenerated MCM-22(120) catalysts at 380°C.....	97
4.38 Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of PP using the fresh and the regenerated MCM-22(120) catalysts at 380°C.....	98
4.39 Carbon number distributions of liquid fraction obtained by catalytic cracking of PP waste using the fresh and the regenerated MCM-22(120) catalysts at 380°C.....	99
4.40 Accumulative volume of liquid fractions from HDPE waste cracking over H-MCM-22(60) with various temperatures.....	101
4.41 Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of HDPE waste cracking over H-MCM-22(60) with various temperatures.....	102
4.42 Carbon number distributions of liquid fraction obtained by catalytic cracking of HDPE waste cracking over H-MCM-22(60) with various temperatures.....	103

LIST OF SCHEMES

Scheme	Page
2.1 Parallel and sequential reactions.....	13
3.1 The GC heating program for gas analysis.....	46
3.2 The GC heating program for liquid analysis.....	46
3.3 Preparation diagram for MCM-22.....	48
3.4 A heating program for removal of organic template from the pores of MCM-22.....	49
3.5 Preparation diagram for del-MCM-22.....	50
3.6 Apparatus for plastic cracking.....	52
3.7 Catalytic cracking of PP waste using MCM-22 as catalyst.....	54

LIST OF ABBREVIATIONS

CTMABr	Cetyltrimethylammoniumbromide or Hexadecyltrimethyl ammonium bromide
HMI	Hexamethyleneimine
MCM-22	Mobil's Composite of Matters-22
BET	Brunauer- Emmett-Teller
XRD	X-ray diffraction
SEM	Scanning electron microscopy
TPD	Temperature-programmed desorption
GC	Gas chromatography
ICP-AES	Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer
MAS-NMR	Magic-angle-spinning-nuclear magnetic resonance
PP	Polypropylene
HDPE	High density polyethylene
°C	degree Celsius
g	gram (s)
h	hour (s)
min	minute (s)
ppm	part per million or mg/l
M	molar
cps	counts per second
%	percent