

การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียม-เอ็มซีเอ็ม-41 สำหรับการแตกย่อยของ  
ขยะพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิโพรพิลีน

นางสาวจินดา ทรงนิลรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาปิโตรเคมี และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2549  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DEVELOPMENT OF Al-MCM-41 CATALYST FOR  
CRACKING OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE  
AND POLYPROPYLENE WASTES**

**Miss Jinda Songninluck**

**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 2006  
Copyright of Chulalongkorn University**

**490489**

**Thesis Title**                    **DEVELOPMENT OF Al-MCM-41 CATALYST FOR  
CRACKING OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE  
AND POLYPROPYLENE WASTES**

**By**                                    **Miss Jinda Songninluck**


**Field of Study**                **Petrochemistry and Polymer Science**

**Thesis Advisor**               **Oravan Sanguanruang, Ph.D.**


**Thesis Co-Advisor**        **Aticha Chaisuwan, Ph.D.**


---

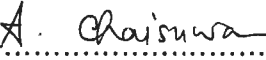
Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment  
of the Requirements for the Master's Degree


  
.....Dean of the Faculty of Science  
(Professor Piamsak Menasveta, Ph.D.)


**THESIS COMMITTEE**

  
.....Chairman  
(Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D.)

  
.....Thesis Advisor  
(Oravan Sanguanruang, Ph.D.)

  
.....Thesis Co-Advisor  
(Aticha Chaisuwan, Ph.D.)

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

  
.....Member  
(Duangamol Nuntasri, Ph.D.)

จินดา ทรงนิลรักษ์ : การพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียม-เอ็มซีเอ็ม-41 สำหรับการแตก  
ย่อยของขยะพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและพอลิโพรพิลีน (DEVELOPMENT  
OF Al-MCM-41 CATALYST FOR CRACKING OF HIGH DENSITY  
POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE WASTES) อาจารย์ที่ปรึกษา:  
ดร. อรวรรณ สงวนเรือง, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม: ดร. อริษา ฉายสุวรรณ, 113 หน้า

อะลูมิเนียม-เอ็มซีเอ็ม-41ถูกเตรียมโดยใช้สารตั้งต้นซิลิกาต่างชนิด คือ โซเดียมเมตาซิลิเกต  
เพนทระไฮเดรต, ซิลิกาในรูปคอลลอยด์และของผสมของซิลิกาคอลลอยด์และสารละลาย  
โซเดียมไฮดรอกไซด์ เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการตกผลึกแบบไฮโดรเทอร์มัล 2 ชั้นที่ 100 องศา  
เซลเซียส และ 125 องศาเซลเซียส กำจัดสารต้นแบบอินทรีย์จากตัวอย่างชนิดที่สังเคราะห์ได้โดย  
การเผาในเตาเผาที่ 540 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ของแข็งที่เผาแล้วไปปรับสภาพด้วยสารละลาย  
แอมโมเนียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ก่อนนำไปเผาอีก ตรวจสอบตัวอย่างที่ยังไม่ปรับสภาพ  
และที่ปรับสภาพแล้วด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด ไอซีพี-  
เออีเอส อะลูมิเนียมนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ชนิดสปินนัมเฉพาะ การดูดซับไนโตรเจนและ  
การคายแอมโมเนียโดยใช้อุณหภูมิที่ตั้งโปรแกรม ความเข้มข้นแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ  
0.03 โมลาร์ ได้ศึกษาการแตกย่อยแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ  
พอลิโพรพิลีนบนตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียม-เอ็มซีเอ็ม-41ชนิดต่างๆ ภายใต้ภาวะที่แตกต่าง การแตก  
ย่อยของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเกิดยากกว่าการแตกย่อยของพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้  
อะลูมิเนียม-เอ็มซีเอ็ม-41เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาค่าการเปลี่ยนของพลาสติกทั้งสองชนิดสูงขึ้นอย่างมาก  
เมื่อเทียบกับการแตกย่อยแบบไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ค่าการเปลี่ยนและปริมาณของผลิตภัณฑ์ส่วนที่  
เป็นแก๊สและส่วนที่เป็นของเหลวขึ้นกับอุณหภูมิของปฏิกิริยาและอัตราส่วนของซิลิกอนต่อ  
อะลูมิเนียมในตัวเร่งปฏิกิริยา ความเลือกจำเพาะต่อชนิดผลิตภัณฑ์ได้รับผลเพียงเล็กน้อย ส่วนที่  
เป็นแก๊สที่ได้จากการแตกย่อยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ประกอบด้วย โพรพินและนอร์  
มอลบิวเทนเป็นส่วนใหญ่และที่ได้จากการแตกย่อยพอลิโพรพิลีนคือ โพรพินเป็นส่วนใหญ่  
ผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของเหลวที่ได้จากการแตกย่อยพลาสติกทั้งสองชนิดส่วนใหญ่อยู่ในช่วง C<sub>3</sub> ถึง  
C<sub>8</sub> ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนของซิลิกอนต่ออะลูมิเนียมต่างๆ หลังจาก ปรับสภาพด้วย  
แอมโมเนียมคลอไรด์แล้วให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ส่วนที่เป็นของเหลวมากกว่าและปริมาณได้น้อย  
กว่าก่อนปรับสภาพ ตัวเร่งปฏิกิริยาอะลูมิเนียม-เอ็มซีเอ็ม-41ที่ใช้งานแล้วสามารถทำให้กลับคืน  
สภาพเดิมได้ด้วยการเผาธรรมชาติและมีความไวเกือบเท่ากับตัวเร่งปฏิกิริยาที่ยังไม่ใช้งาน

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....จินดา ทรงนิลรักษ์  
ปีการศึกษา.....2549.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....อรวรรณ สงวนเรือง  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....อริษา ฉายสุวรรณ

# # 4772239323: MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE  
 KEY WORD: MESOPOROUS MATERIAL / Al-MCM-41 / CATALYTIC  
 CRACKING / HDPE / PP

JINDA SONGNINLUCK: DEVELOPMENT OF Al-MCM-41 CATALYST  
 FOR CRACKING OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE AND  
 POLYPROPYLENE WASTES.

THESIS ADVISOR: ORAVAN SANGUANRUANG, Ph.D.

THESIS CO-ADVISOR: ATICHA CHAISUWAN, Ph.D., 113 pp.

Al-MCM-41 was prepared using different silica sources: sodium metasilicate pentahydrate, colloidal silica and a mixture of colloidal silica and sodium hydroxide solution. The catalysts were prepared by two-step hydrothermal crystallization at 100°C and 125°C. The organic template was removed from the as-synthesized samples by calcination in a muffle furnace at 540°C. The calcined solid products were treated with a solution of ammonium chloride at various concentrations prior to calcination again. The untreated and treated samples were characterized by X-ray power diffraction, scanning electron microscope, ICP-AES, <sup>27</sup>Al-MAS-NMR, nitrogen adsorption and ammonia-temperature programmed desorption techniques. The optimal concentration for ammonium chloride solution is 0.03 M. Catalytic cracking of HDPE and PP over various Al-MCM-41 catalysts were studied under different conditions. The cracking of HDPE is more difficult than that of PP. When Al-MCM-41 was used as catalyst, the conversions of both plastics greatly increase compared to that in the absence of catalyst. The conversions and yields of gas fraction and liquid fraction depend on the reaction temperature and the Si/Al ratios in catalyst. The product selectivity is affected only slightly. The gas fraction obtained by HDPE cracking composes mainly propene and n-butane and by PP cracking is mainly propene. The liquid fraction obtained by cracking of both types of plastic composes mainly in the range from C<sub>7</sub> to C<sub>8</sub>. The catalysts with various Si/Al ratios after the treatment with ammonium chloride provides higher yield of liquid fraction and lower yield of coke than that before the treatment. The used Al-MCM-41 catalyst can be regenerated by simple calcination and has activity almost the same as the fresh catalyst.

Field of Study Petrochemistry and Polymer Science Student's Signature Jinda Songnintuck  
 Academic year 2006 Advisor's Signature Oravan Sanguanruang  
 Co-advisor's Signature A. Chaisuwan

## ACKNOWLEDGEMENTS

The success of this thesis can be attributed to the extensive support and assistance from Dr. Oravan Sanguanruang and Dr. Aticha Chaisuwan, my thesis advisor and thesis co-advisor. I deeply thank them for their valuable advice and guidance in this research and their kindness throughout this study.

I would like to gratitude to Associate Professor Supawan Tantayanon, Associate Professor Wimonrat Trakarnpruk and Dr. Duangamol Nuntasri 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 Endowment of Chulalongkorn University, for supporting my as a research assistant. In addition, Thailand Japan Technology Transfer Project supported a loan by Japan Banks for International Cooperation (TJTTP-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.

# CONTENTS

	Page
<b>ABSTRACT IN THAI</b> .....	iv
<b>ABSTRACT IN ENGLISH</b> .....	v
<b>ACKNOWLEDGEMENT</b> .....	vi
<b>CONTENETS</b> .....	vii
<b>LIST OF FIGURES</b> .....	x
<b>LIST OF SCHEMES</b> .....	xiv
<b>LIST OF TABLES</b> .....	xv
<b>LIST OF ABBREVIATIONS</b> .....	xvi
<b>CHAPTER I INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CHAPTER II THEORY</b> .....	12
2.1 Zeolites .....	12
2.1.1 Zeolites Structures .....	13
2.1.2 Acid Sites of Zeolites .....	15
2.1.3 Shape Selectivity .....	16
2.2 Mesoporous Materials .....	17
2.2.1 MCM-41 .....	20
2.2.1.1 Power X-ray Diffraction (XRD) .....	20
2.2.1.2 Transmission Electron Microscopy (TEM) .....	21
2.2.1.3 Nitrogen Adsorption-Desorption Isotherm .....	22
2.2.1.4 Temperature-Programmed Desorption (TPD) of Ammonia .....	24
2.2.1.5 <sup>27</sup> Al-MAS-NMR .....	26
2.3 Mechanism for Formation of MCM-41 Structure .....	26
2.3.1 Surfactant Templating .....	26
2.3.2 Charge Density Matching .....	28
2.3.3 Folding Sheets .....	29
2.3.4 Silicate Layer Puckering .....	30
2.3.5 Generalized Liquid Crystal Templating Mechanism: Electrostatic Interaction .....	31

	Page
2.3.6 Effect of Parameters on the Crystal MCM-41 Synthesis .....	33
2.3.6.1 Effect of Surfactant .....	33
2.3.6.2 Effect of pH Adjustment .....	34
2.4 The Refining Process .....	35
2.5 Catalytic Cracking Mechanisms .....	37
2.5.1 General Cracking Mechanisms .....	37
2.5.2 Reactions of Olefins .....	38
2.5.3 Proposed Cracking Mechanisms of Polymer .....	40
2.5.4 Reactions of Paraffins .....	44
<b>CHAPTER III EXPERIMENTS .....</b>	<b>46</b>
3.1 Instruments and Apparatus .....	46
3.2 Chemicals and Gases .....	48
3.3 Preparation Methods of Al-MCM-41 .....	48
3.4 Preparation of Al-MCM-41 with Various Si/Al Ratios .....	52
3.5 Removal of Organic Template from the Al-MCM-41 Catalysts .....	52
3.6 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -Exchange Treatment .....	53
3.7 Elemental Analysis .....	53
3.8 Activity of Various Al-MCM-41 Catalytic in HDPE Cracking .....	53
3.8.1 Effect of Temperature .....	53
3.8.2 Effect of Si/Al Ratio in Catalyst .....	54
3.9 Activity of Various Al-MCM-41 Catalytic in PP Cracking .....	55
3.9.1 Effect of Temperature .....	55
3.9.2 Effect of Si/Al Ratio in Catalyst .....	55
3.10 Catalyst Regeneration .....	57
<b>CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSIONS .....</b>	<b>58</b>
4.1 Parameters Affecting Formation of Al-MCM-41 .....	58
4.1.1 Effect of Silica Source on Formation of Al-MCM-41 .....	58
4.1.2 Effect of Crystallization Time on Formation of Al-MCM-41 .....	59
4.2 Effect of the Si/Al Ratio on Formation of Al-MCM-41 .....	62
4.2.1 Elemental Analysis .....	62
4.2.2 XRD Results .....	62
4.2.3 SEM Images .....	64
4.2.4 <sup>27</sup> Al-MAS-NMR Spectra .....	65
4.2.5 Nitrogen Adsorption-Desorption .....	67
4.2.6 NH <sub>3</sub> -TPD Profiles .....	70



	Page
4.3 The Optimal Condition for Ammonium Chloride Treatment of Sample CS-Na-20 .....	71
4.3.1 Effect of Concentration of NH <sub>4</sub> Cl Solution .....	71
4.3.2 Effect of Reflux Duration .....	73
4.4 Activity of Various Al-MCM-41 Catalytic in HDPE Cracking .....	75
4.4.1 Effect of Temperature .....	75
4.4.2 Effect of Si/Al Ratios in Catalyst .....	78
4.5 Activity of Various Al-MCM-41 Catalytic in PP Cracking .....	83
4.5.1 Effect of Temperature .....	83
4.5.3 Effect of Si/Al Ratios in Catalyst .....	87
4.6 Catalyst Regeneration .....	93
4.6.1 XRD Results .....	93
4.6.2 SEM Images .....	93
4.6.3 Catalytic Activity of Al-MCM-41 in PP Cracking .....	94
<b>CHAPTER V CONCLUSION</b> .....	98
<b>REFERENCES</b> .....	100
<b>APPENDICES</b> .....	107
<b>VITAE</b> .....	112

## LIST OF FIGURES

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
1.1 Plastic applications.....	1
1.2 World major commodity plastics 2004 demand by polymers type .....	4
2.1 The structure of zeolites.....	12
2.2 A primary building unit of zeolites.....	13
2.3 Secondary building units found in zeolite structures.....	14
2.4 The structure of zeolite A and faujasite-type zeolites.....	14
2.5 The generation of Brønsted and Lewis acid sites in zeolite.....	15
2.6 Three types of selectivity in zeolites: reactant, product and transition-state shape selectivity.....	17
2.7 A schematic presentation of three inorganic-surfactant mesostructures: (a) the hexagonal phase, (b) the cubic phase, and (c) the lamellar phase.....	18
2.8 Hexagonal packing of unidimensional cylindrical pores.....	20
2.9 Diffraction of X-ray by regular planes of atoms.....	21
2.10 Transmission electron micrograph of MCM-41.....	22
2.11 Scanning electron micrograph of a MCM-41 sample.....	22
2.12 The IUPAC classification of adsorption isotherm.....	23
2.13 Possible synthesis pathways for the synthesis of MCM-41, by the liquid crystal templating mechanism.....	27
2.14 Proposed mechanism for the formation of MCM-41.....	27
2.15 Illustration of the charge density matching process.....	29
2.16 Model schematically representing “folding sheets” mechanism.....	30
2.17 Puckering of silicate layers in the direction shown.....	30
2.18 The comparison of the formation processes of the mesoporous materials in basic and acidic conditions.....	32
2.19 X-ray powder diffraction patterns of calcined products obtained using different surfactants at (A) 100, (B) 150, and (C) 200 °C.....	34
2.20 Distilling crude and product disposition.....	35
2.21 Cracking mechanisms illustrated by the reaction of n-heptene.....	38
2.22 Monomolecular cracking mechanisms.....	40

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>2.23</b> Bimolecular cracking mechanism that can occur on zeolite Y in addition to the monomolecular mechanism.....	41
<b>3.1</b> Apparatus for synthesis of Al-MCM-41.....	51
<b>3.2</b> Apparatus for catalytic cracking.....	55
<b>3.3</b> Apparatus for vacuum distillation.....	56
<b>4.1</b> XRD patterns of the calcined samples prepared from different silica sources: (A) Sample CS-20; (B) Sample SS-20; (C) Sample CS-Na-20 and (D) Si-MCM-41.....	60
<b>4.2</b> XRD patterns of the calcined SS-20 samples crystallized at the second step for various periods: (A) 6 days; (B) 7 days; (C) 8 days; (D) 9 days; (E) 10 days.....	61
<b>4.3</b> XRD patterns of calcined Sample CS-Na with different Si/Al ratios in catalyst: (A) 22.5; (B) 42.0; (C) 76.8.....	63
<b>4.4</b> XRD patterns of CS-Na-20 of (A) as synthesized and (B) calcined sample.....	64
<b>4.5</b> SEM images of calcined sample Al-MCM-41 with different SiO <sub>2</sub> sources: (A) Sample SS-20 and (B) Sample CS-Na-20.....	65
<b>4.6</b> <sup>27</sup> Al-MAS-NMR spectra of as-synthesized Sample CS-Na with different Si/Al ratios in catalyst (A) 22.5; (B) 42.0; (C) 76.8.....	66
<b>4.7</b> <sup>27</sup> Al-MAS-NMR spectra of Sample CS-Na with different Si/Al ratios in catalyst (A) 22.5; (B) 42.0; (C) 76.8.....	67
<b>4.8</b> N <sub>2</sub> adsorption-desorption isotherms of Sample CS-Na with various Si/Al ratios in catalyst of (A) 22.5; (B) 40.0 and (C) 76.8.....	68
<b>4.9</b> BJH pore-size distribution of Sample CS-Na with various Si/Al ratios in catalyst.....	69
<b>4.10</b> Schematic representation of the pore array of MCM-41.....	70
<b>4.11</b> NH <sub>3</sub> -TPD profiles of Sample CS-Na-T with various Si/Al ratios in catalyst (A) 22.5; (B) 40.0 and (C) 76.8.....	71
<b>4.12</b> <sup>27</sup> Al-MAS-NMR spectra of (A) untreated Sample CS-Na-20 and Sample CS-Na-T-20 obtained by treating sample in NH <sub>4</sub> Cl at different concentrations for 3 h: (B) 0.01 M; (C) 0.03 M; (D) 0.05 M; (E) 0.1 M; (F) 1 M.....	72
<b>4.13</b> <sup>27</sup> Al-MAS-NMR spectra of Sample CS-Na-20 treated with 0.03M NH <sub>4</sub> Cl for (A) 1 h; (B) 3 h; (C) 6 h.....	74

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>4.14</b> Accumulative volume of liquid fractions obtained by thermal cracking and catalytic cracking of HDPE over Sample CS-Na-T-20 at 380°C and 400°C.....	76
<b>4.15</b> Distribution of gas fraction obtained by the thermal cracking and catalytic cracking of HDPE over Sample CS-Na-T-20 at 380°C and 400°C.....	77
<b>4.16</b> Carbon number distribution of liquid fractions from catalytic cracking of HDPE over Sample CS-Na-T-20 at 380°C and 400°C.....	78
<b>4.17</b> Accumulative volume of liquid fractions from catalytic cracking of HDPE over various Al-MCM-41 catalysts at 400°C.....	80
<b>4.18</b> Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of HDPE over various Al-MCM-41 catalysts at 400°C.....	81
<b>4.19</b> Carbon number distribution of distilled oil obtained by catalytic cracking of HDPE over various Al-MCM-41 catalysts at 400°C.....	82
<b>4.20</b> Carbon number distribution of commercial SUPELCO standard gasoline fraction .....	83
<b>4.21</b> Accumulative volume of liquid fraction from thermal cracking and catalytic cracking of PP over Sample CS-Na-T-20 at 380°C and 400°C.....	85
<b>4.22</b> Distribution of gas fraction obtained by the thermal cracking and catalytic cracking of PP over Sample CS-Na-T-20 at 380°C and 400°C.....	86
<b>4.23</b> Carbon number distribution of liquid fraction obtained by catalytic cracking of PP over Sample CS-Na-T-20 at 380°C and 400°C.....	86
<b>4.24</b> Accumulative volume of liquid fraction obtained by thermal cracking and catalytic cracking of PP over Sample CS-Na-T-20 with various Si/Al ratios at 380°C .....	89
<b>4.25</b> Accumulative volume of liquid fraction obtained by thermal cracking with and without non-acidic Si-MCM-41 and catalytic cracking of PP over Sample CS-Na-T-20 with various Si/Al ratios.....	89
<b>4.26</b> Distribution of gas fraction obtained by the thermal cracking and catalytic cracking of PP at 380°C.....	90
<b>4.27</b> Distribution of gas fraction obtained by the thermal cracking and catalytic cracking of PP 400°C.....	91
<b>4.28</b> Carbon number distribution of liquid fraction from catalytic cracking of PP at 380°C.....	92

<b>Figure</b>	<b>Page</b>
<b>4.29</b> Carbon number distribution of liquid fraction from catalytic cracking of PP at 400°C.....	92
<b>4.30</b> XRD patterns of (A) the calcined unused and (B) the regenerated Sample CS-Na-20 catalysts.....	93
<b>4.31</b> Images of regenerated Sample CS-Na-T-20 prepared for SEM analysis by (A) dry powder method and (B) ethanolic dispersion.....	94
<b>4.32</b> Accumulative volume of liquid fraction obtained by catalytic cracking of PP using the fresh and the regenerated Sample CS-Na-T-20 catalyst.....	96
<b>4.33</b> Distribution of gas fraction obtained by catalytic cracking of PP using the fresh and the regenerated Sample CS-Na-T-20 catalyst.....	97
<b>4.34</b> Carbon number distributions of liquid fraction obtained by catalytic cracking of PP using the fresh and the regenerated Sample CS-Na-T-20 catalyst.....	97
<b>A-1</b> Gas chromatogram of standard mixture gas.....	109
<b>A-2</b> Gas chromatogram of gas product obtained from catalytic cracking of PP over (Si/Al ratio = 20) at 400°C.....	110
<b>A-3</b> Gas chromatogram of standard gasoline (SUPELCO).....	111
<b>A-4</b> XRD pattern of plastic waste. Insert shows the XRD patterns for HDPE.....	112
<b>A-5</b> XRD pattern of plastic waste. Insert shows the XRD patterns for PP.....	112

## LIST OF SCHEMES

<b>Scheme</b>	<b>Page</b>
<b>1.1</b> The interaction of hydrocarbon fragment and silanol group.....	<b>8</b>
<b>3.1</b> The GC heating program for gas analysis.....	<b>47</b>
<b>3.2</b> The GC heating program for liquid analysis.....	<b>48</b>
<b>3.3</b> Diagram of the synthesis procedure of Al-MCM-41 with different silica sources .....	<b>50</b>
<b>3.4</b> A heating program for removal of organic template from the pores of Al-MCM-41 .....	<b>52</b>
<b>3.5</b> Catalytic cracking of HDPE and PP using Al-MCM-41 as catalyst.....	<b>56</b>

## LIST OF TABLES

<b>Table</b>	<b>Page</b>
<b>1.1 Commodity Plastics and Their Uses</b> .....	3
<b>2.1 Various synthesis conditions of hexagonal mesoporous materials and the type of interaction between template and inorganic species</b> .....	19
<b>2.2 Properties of some hexagonal mesoporous materials</b> .....	19
<b>2.3 Features of adsorption isotherms</b> .....	23
<b>2.4 IUPAC classification of pores</b> .....	24
<b>3.1 Required amounts of sodium aluminate in the preparation of Al-MCM-41 with various Si/Al ratios in gel of 20, 40 and 80</b> .....	52
<b>4.1 Si/Al ratios in gel and in catalyst of calcined Sample CS-Na with different Si/Al ratios</b> .....	62
<b>4.2 Textural properties of calcined Al-MCM-41 samples</b> .....	68
<b>4.3 Values of %conversion and %yield obtained by thermal cracking and catalytic cracking of HDPE over Sample CS-Na-T-20 at 380°C and 400°C</b> .....	75
<b>4.4 Values of %conversion and %yield obtained by catalytic cracking of HDPE over Sample CS-Na and Sample CS-Na-T catalysts with various Si/Al ratios</b> ....	79
<b>4.5 Values of %conversion and %yield obtained by thermal cracking and catalytic cracking of PP at 380°C and 400°C</b> .....	84
<b>4.6 Values of %conversion and %yield obtained by thermal cracking and catalytic cracking of PP over Sample CS-Na-T-20 with various Si/Al ratios at 380°C</b> .....	87
<b>4.7 Values of %conversion and %yield obtained by thermal cracking and catalytic cracking of PP over Sample CS-Na-T-20 with various Si/Al ratios at 400°C</b> .....	88
<b>4.8 Values of %conversion and %yield obtained by catalytic cracking of PP using the fresh and the regenerated Sample CS-Na-T-20 catalyst</b> .....	95

## LIST OF ABBREVIATIONS

CTMABr	Cetyltrimethylammoniumbromide or Hexadecyltrimethyl ammonium bromide
BET	Brunauer- Emmett-Teller
BJH	Barret, Joyner, and Halenda
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	Polyethylene
HDPE	High density polyethylene
°C	degree Celsius
g	gram (s)
h	hour (s)
mg	milligram (s)
min	minute (s)
ppm	part per million or mg/l
M	molar
cps	counts per second
%	percent