สมบัติกายภาพของขยะพลาสติกในประเทศสำหรับศักยภาพการเวียนใช้ใหม่

นางสาวณัฐกานต์ จินตพยุงกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปิโตรเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-342-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 15227376

PHYSICAL PROPERTIES OF LOCAL PLASTIC WASTE FOR RECYCLING POTENTIAL

Miss Natthakan Jintapayungkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Science
Program of Petrochemistry
Graduate School
Chulalongkorn University
1994

ISBN 974-584-342-3

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

Thesis Title	Physical Properties of Local Plastic Waste for Recycling Potential
By	Miss Natthakan Jintapayungkul
Department	Petrochemistry
Thesis Asvisor	Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

..... Dean of Graduate School

(Professor Thavorn Vajrabhaya, Ph.D.)

Thesis Commitee

..... Chairman

(Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D.)

..... Thesis Advisor

(Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee, Ph.D.)

..... Member

(Sujitra Dhumrongvaraporn, Ph.D.)

..... Member

(Nuanphun Chantarasiri, Ph.D.)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ฉัฐกานต์ จินตพุฒกุล : สมบัติกายภาพของขยะพลาสติกในประเทศสำหรับศักยภาพการเวียนใช้ใหม่ (PHYSICAL PROPERTIES OF LOCAL PLASTIC WASTE FOR RECYCLING POTENTIAL) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร. เกริกชัย สุภาญจนัจที 215 หน้า. ISBN 974-584-342-3

การศึกษาสมบัติทางกล และ การเปลี่ยนแปลงสมบัติของเม็ดพลาสติกจากขยะพลาสติก โครงสร้างของกิจกรรมอุตสาหกรรมพลาสติกรีไซคลิ่ง ปริมาณและชนิดของขยะพลาสติกจากผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้อง 48 แห่ง ขยะพลาสติกประเภทภาชนะบรรจุที่สำคัญคือ โพลิเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีการเวียนใช้ใหม่อย่างน้อยที่สุดประมาณ 66,150 ตันต่อปี รองลงมาคือโพลิโพรพิลีน ประมาณ 13,950 ตันต่อปี พลาสติกที่ผลิตเป็นเม็ดเก่า เป็นพลาสติกประเภทโพลิเอทธิลีน โพลิโพรพิลีน และ โพลิสไตรีนเท่านั้น

การทดสอบคุณภาพการคัดเลือกขยะประเภทต่างๆ โดยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิมเคลอรีมตรี พบว่าอยู่ในเกณฑ์ดี การทดสอบการหาค่าความต้านแรงดึงและระยะยืดของพลาสติก พบว่าความต้านแรงดึงน้อยที่สุดของเม็ดพลาสติกเก่าจากขวดน้ำดื่ม โพลิเอทธิลีนต่าง ๆ โพลิสไตรีนต่าง ๆ และโพลิโพรพิลีนต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 94.6 %, 82.9 %, 70.9 %, และ 81.3 % ของคุณสมบัติเริ่มต้น และความต้านแรงกระแทกน้อยที่สุดของเม็ดพลาสติกเก่าจากขวดน้ำดื่ม โพลิเอทธิลีนต่าง ๆ และ โพลิสไตรีนต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 35.3 %, 27.4 %, และ 65.4 % ของคุณสมบัติเริ่มต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สหสาขาวิชา ปิโตรเคมี - โพลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต ฉัฐกานต์ จินตพุฒกุล

สาขาวิชา ปิโตรเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

##C485016 :MAJOR PETROCHEMISTRY
KEY WORD: PLASTIC RECYCLING / PLASTIC WASTE

NATTHAKAN JINTAPAYUNGKUL : PHYSICAL PROPERTIES OF LOCAL PLASTIC WASTE FOR RECYCLING POTENTIAL. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. KROEKCHAI SUKANJANAJTEE, Ph.D. 215 pp. ISBN 974-584-342-3

Mechanical properties and the change of properties of recycled plastic pellets, quantity and types of plastic waste, and structure of plastic recycling industries were studied. Data were obtained from a total of 48 dealers and plants. The majority of post-consumer plastic waste is of HDPE. A minimum of 66,150 tons of HDPE is recycled annually. The second important plastic waste is of PP of which 13,950 tons minimum is recycled annually. Only PE, PP,and PS are repelleted.

Quality of sorting was good as investigated by Differential Scanning Calorimetry. Tensile stress and impact strength of recycled pellets were determined. The minimum values for tensile stress of those made from PE (drinking water bottles), mixed PE, mixed PS, and mixed PP are 94.6%, 82.9%, 70.9%, and 81.3% of the original properties, respectively. The minimum values for impact strength of those made from PE (drinking water bottles), mixed PE, and mixed PS are 35.3 %, 27.4 %, and 65.4 % of the original properties, respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สหสาขาวิชาปิโตรเคมี - โพลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต ณัฐกานต์ จินตพยุงกุล

สาขาวิชา ปิโตรเคมี ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ACKNOWLEDGEMENTS

I wish to express gratitude to my advisor, Associate Professor Kroekchai Sukanjanajtee for hishelpful advice and encouragement throughout the research. Especial gratitude are offered to Associate Professor Supawan Tantayanon, Dr.Sujitra Dhumrongvaraporn, and Dr.Nuanphun Chantarasiri for their help and suggestion.

I am so grateful to Department of Material Science, Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Departmentof Chemistry, Faculty of Science , Mahidol University, and Departmaent of Industrial Chemistry, King Mongkut's Institute of Technology, North Bangkok for the use of equipment and instrument. I also thank the Bangkok Metropolitan Administration (BMA), plastic product fabricators, plastic waste processing factories and waste dealers for their data and samplesand everyone who has given encouragement and assistance throughout the research.

Finally, I would like to express my greatest application to my family for their support and encouragement througout the course.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

Page

ABSTRACT IN THAI IV

ABSTRACT IN ENGLISH V

ACKNOWLEDGEMENTS VI

CONTENTS VII

LIST OF TABLES XII

LIST OF FIGURES XVI

CHAPTER

1. INTRODUCTION 1

1.1 Local Plastic Industry 1

1.2 State of Problem 14

1.3 Purpose of the Research 15

1.4 Scope of the Research 15

2. OVERVIEW OF WASTE AND PLASTIC RECYCLING 16

2.1 Waste 16

2.1.1 Municipal Waste 16

2.1.2 Integrated Waste Management 17

2.1.3 Separation of Waste 23

2.2 Local Waste 26

2.2.1 Solid Waste Generation and Disposal Rates 26

2.2.2 Solid Waste Characteristics 26

2.2.3 Treatment and Disposal 37

2.3 Management of Plastic Waste 42

2.3.1 Types of Plastic Waste 44

2.3.2 Plastic Cycle 45

Page

2.4 Waste Separation Processes.....47
2.4.1 Separation of Components of Municipal Refuse.....47
2.4.2 Separation Processes Specific to Plastics 57
2.4.3 Separation of Mixtures of Plastics 63
2.5 Plastic Recycling 69
3. RESEARCH METHODOLOGY 81
3.1 Interview of Parties Directly Involved in Plastic Recycling Industry 81
3.2 Experimental 81
3.2.1 Materials 81
3.2.2 Equipment 82
3.2.2.1 Differential Scanning Calorimetry 82
3.2.2.2 Equipment for Making Test Specimen 82
3.2.2.3 Mechanical Properties Testing machine.....82
3.2.3 Experiment Procedure 87
3.2.3.1 Differential Scanning Calorimetry 87
3.2.3.2 Hydraulic Compression Molding Machine 87
3.2.3.3 Mechanical Properties Testing 87
4. RESULT AND DISCUSSION 89
4.1 Plant Search 89
4.2 Waste Collection 90
4.2.1 Source of Plastic Waste 90
4.2.1.1 Municipal Disposal Sites 90
4.2.1.2 Street Collectors 90
4.2.1.3 Plastic Fabricating Plants 91

Page

4.2.2 Types of Plastic Waste 91
4.2.3 Percentage of Each Plastic Type in Waste 96
4.2.4 Price of Plastic Waste 97
4.3 Processing of Plastic Waste 97
4.3.1 Separation 97
4.3.2 Grinding 97
4.3.3 Washing 99
4.3.4 Drying 99
4.3.5 Pelletizing 99
4.4 Structure of Plastic Recycling Industry 100
4.5 Estimation of Quantity of Plastic Waste 102
4.5.1 Plastic Waste from Plastic Factories 102
4.5.2 Plastic Waste from BMA Collection Truck Crew and Open Dump Scavengers 104
4.5.3 Plastic Waste from Street Collectors 104
4.5.4 Quantity of Colorless Bottles in Plastic Waste 105
4.5.5 Plastic Waste at Municipal Waste Disposal Sites 105
4.6 Quality of Waste Sorting 108
4.7 Mechanical Properties 125
4.7.1 Mechanical Properties of Virgin Resin 125
4.7.2 Mechanical Properties of Recycled Resin 127
4.8 Minimum Value of Mechanical Properties of Recycled Resin 130
4.8.1 Development of Model 131
4.8.2 Determination of Parameter Values 135
4.8.2.1 p - Value in the Process of Making Drinking Water Bottles 135

Page

4.8.2.2 p - Value in the Process of Making Recycled Plastic Pellet from Drinking Water Bottles 136
4.8.2.3 p - Value for Combine Process 137
4.8.2.4 p - Value in the Process of Making Recycled Plastic Pellet from Mixed Bottles 138
4.8.2.5 p - Value in the Process of Making Recycled Plastic Pellet PP 139
4.8.2.6 p - Value in the Process of Making Recycled Plastic Pellet PS 140
4.8.3 Prediction of Minimum Properties 141
4.8.3.1 Recycled Pellets from Drinking Water Bottles 142
4.8.3.2 Recycled Pellets from Mixed PE 142
4.8.3.3 Recycled Pellets from Mixed PS 145
4.8.3.4 Recycled Pellets from Mixed PP 145
4.9 Uses of Recyclement of Plastic Waste 146
4.9.1 Presented Uses 146
4.9.1.1 Local 146
4.9.1.2 Abroad 146
4.9.2 Recommended Uses 153
5. CONCLUSION 155
REFERENCE 157

Page

APPENDIX 164
Appendix A 164
Appendix B 166
Appendix C 178
Appendix D 204
Appendix E 206
Appendix F 208
VITA 215

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table Page

1.1 NPC 1 Complex capacities 7

1.2 The second petrochemical complex (NPC) and capacity 8

1.3 Consumption of plastic pellets or resin in Thailand (1982-1987) 10

1.4 Projected rate of increase in resin demand (1988-1996) 10

1.5 Imported - Exported plastic pellets or resins in 1991 11

1.6 Imported - Exported plastic pellets or resins in 1992 12

2.1 Typical municipal refuse 18

2.2 Solid waste characteristics from previous studies physical composition , as reported by JICA 1982 30

2.3 Solid waste characteristics at On-Nooch disposal site as sampled and analyzed by ONEB[1] 31

2.4 Pattern of municipal refuse quantities and characteristics for low, middle, and upper income countries 32

2.5 Projected level of collection service and service population, by district 33

2.6 Median projections of solid waste quantities 35

2.7 Projected physical composition of waste stream 36

2.8 Distribution of waste stream to disposal sites 39

2.9 Analysis of fractions obtained from the Hydraulic separation of upgraded plastic concentrate from the Black-Clawson process 65

2.10 Experimental results of solvent separation 67

2.11 Some plastics pyrolysis system 79

Table Page

3.1 Virgin resin 's code number, source, description, and date of collection 83
3.2 Recycled plastic pellet 's code number, source, description, and date of collection 84
3.3 Ground waste plastic 's code number, source, description, and date of collection 86
3.4 Operating condition of Hydraulic Compression Molding Machine for each type plastic 88
4.1 Plastic goods 92
4.2 The composition of plastic waste from On-Nooch and Nong - Khaem 96
4.3 Characteristic of some local plastic plant 103
4.4 Percentage of various plastic waste of from waste dealers and grinders 106
4.5 Quantities of HDPE and PP waste from plastic fabricating plant, municipal waste sites , and street collectors (Tons per year) 106
4.6 Virgin resin in DSC tests 109
4.7 Recycled plastic pellets in DSC tests 110
4.8 Summary of DSC run results of virgin resin 123
4.9 Summary of DSC run results of recycled plastic pellets 124
4.10 Mean tensile stress and mean impact strength of virgin resin 126
4.11 Mean tensile stress and mean impact strength of recycled plastic pellets 128
4.12 Simulated values of recycled plastic pellets property 133

Table Page

4.13 Tensile stress of a pair of feed and product in a drinking water bottle plant. (Feed being virgin resin) 136

4.14 Impact strength of a pair of feed and product in a drinking water bottle plant. (Feed being virgin resin) 136

4.15 Tensile stress of a pair of feed and product in a repellet plant. (Feed being ground post -consumer drinking water bottle HDPE) 137

4.16 Impact strength of a pair of feed and product in a repellet plant. (Feed being ground post -consumer drinking water bottle HDPE) 137

4.17 Tensile stress of a pair of feed and product in a repellet plant. (Feed being mixture of ground post - consumer bottle PE)..... 138

4.18 Impact strength of a pair of feed and product in a repellet plant. (Feed being mixture of ground post - consumer bottle PE) 139

4.19 Tensile stress of a pair of feed and product in a repellet plant. (Feed being mixture of ground PP) 139

4.20 Impact strength of a pair of feed and product in a repellet plant. (Feed being mixture of ground PP) 140

4.21 Tensile stress of a pair of feed and product in a repellet plant (Feed being mixture of ground PS) 140

4.22 Impact strength of a pair of feed and product in a repellet plant. (Feed being mixture of ground PS) 141

4.23 p-value for P_1/P_o 141

Table Page

4.24 $P_{mixture}/P_o$ of tensile stress for recycled pellets from drinking water bottles 143

4.25 $P_{mixture}/P_o$ of impact strength for recycled pellets from drinking water bottles 143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure Page

1.1 Thailand polyethylene demand VS. local supply (1982-1990).....3

1.2 Thailand PVC demand VS. local supply (1982-1990).....3

1.3 Thailand polypropylene demand VS. local supply (1982-1990) 4

1.4 Thailand polyolefins demand growth (1970-1990) 4

1.5 Thailand ethylene demand VS. supply capacity 5

1.6 Thailand propylene demand VS. supply capacity 5

1.7 NPC petrochemical complex 6

1.8 NPC2 petrochemical complex 6

2.1 An idealized viewed of total reclamation possibilities in domestic and commercial wastes.....19

2.2 Basic operation of a modern refuse incinerator 20

2.3 Municipal solid waste composition by material 22

2.4 Plastics share of packaging 22

2.5 Uses of plastics in packaging - 1987 23

2.6 Collection vehicle for recyclables 24

2.7 Flow diagram of typical multi - material Material Recovery Facility 25

2.8 Average daily solid waste quantities delivered to disposal sites.....27

2.9 Waste quantity projection 34

2.10 Disposal site at three locations; Nong-Khaem, On-Nooch, and Ram-Intra 38

2.11 Nong-Khaem compost plant 41

2.12 On-Nooch and Ram-Intra compost plant 43

Figure Page

2.13 Flow of plastics products and plastics waste 46
2.14 Three basic arrangements for air classificatiion 50
2.15 Flow Sheet for Black Clawson Hydrasposal / Fibreclaim System 52
2.16 Flakt dry separation system 54
2.17 Arrangement of vertical air classifier 55
2.18 Paper dryer 56
2.19 Hot "cylinder" separation method 58
2.20 Schematic diagram of electrodynamic separator 59
2.21 Fiber process, Inc. PVC recovery system 61
2.22 Riverside recovery system 62
2.23 A method for isolating the five thermoplastics commonly found in packaging wastes by sink - float separations in four liquids with different densities 64
2.24 Hydraulic separator 64
2.25 An example of the relationship between concentration of wetting agent and contact angle 66
2.26 Diagram of recycling process 70
2.27 Schematic of Japan Steel Works ' Nikko waste plastics reclamation line 75
2.28 Major products of thermal decomposition of PE, PS, and PVC 77
2.29 Union Carbide 's apparatus for the continuous pyrolysis of plastics 77
2.30 Floor - burning multistage - type incinerator 80

Figure Page

4.1 Processing of plastic waste 98
4.2 Structure of local plastic recycling industry 101
4.3 Diagram of quantities of HDPE and PP waste 107
4.4 Thermogram of virgin HDPE (PE15-001) 111
4.5 Thermogram of virgin HDPE (PE25-001) 111
4.6 Thermogram of virgin HDPE (PE35-001) 112
4.7 Thermogram of virgin HDPE (PE45-001) 112
4.8 Thermogram of virgin HDPE (PE55-001) 113
4.9 Thermogram of virgin LDPE (LPE15-001) 113
4.10 Thermogram of virgin LDPE (LPE25-001) 114
4.11 Thermogram of virgin PP (PP25-001) 114
4.12 Thermogram of virgin PP (PP15-001) 115
4.13 Thermogram of recycled HDPE (PE12-001) 115
4.14 Thermogram of recycled HDPE (PE22-001) 116
4.15 Thermogram of recycled HDPE (PE13-001) 116
4.16 Thermogram of recycled HDPE (PE23-001) 117
4.17 Thermogram of recycled HDPE (PE33-001) 117
4.18 Thermogram of recycled HDPE (PE43-001) 118
4.19 Thermogram of recycled HDPE (PE53-001) 118
4.20 Thermogram of recycled HDPE (PE63-001) 119
4.21 Thermogram of recycled HDPE (PE73-001) 119
4.22 Thermogram of recycled HDPE (PE14-001) 120
4.23 Thermogram of recycled PP (PP13-001) 120
4.24 (a) Thermogram of recycled PS (PS11-001) 121
4.24 (b) Thermogram (Tg) of recycled PS (PS11-001) 121
4.25 (a) Thermogram of recycled PS (PS21-001) 122

Figure Page

4.25 (b) Thermogram (Tg) of recycled PS (PS21-001) 122
4.26 Property generated by the model for p = 0.9 134
4.27 Property generated by the model for p = 0.8 134
4.28 Property generated by the model for p = 0.7 135
4.29 Tensile stress for drinking water bottle and recycled pellets process generated by the model for p = 0.97 144
4.30 Impact strength for drinking water bottle and recycled pellets process generated by the model for p = 0.51 144

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย