

การเตรียมพอลิเมอร์ไอโซโทนเนอร์ที่มีขนาดอนุภาคระดับไมครอนโดยการเกิดพอลิเมอร์
แบบแขวนลอยสำหรับเครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟฟี



นายพิษณุ ป้อมสนาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-516-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF MICRON-SIZED POLYMERIZED TONER BY SUSPENSION
POLYMERIZATION FOR ELECTROPHOTOGRAPHIC PRINTERS

Mr. Pisnu Pomsanam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Imaging Technology
Department of Photographic Science and Printing Technology

Faculty of Science

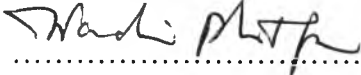
Chulalongkorn University

Academic Year 2000

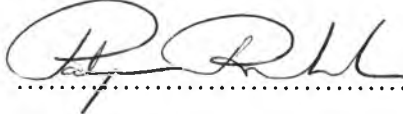
ISBN 974-346-516-2


Thesis Title PREPARATION OF THE MICROMETER-SIZED
POLYMERIZED TONER BY SUSPENSION
POLYMERIZATION FOR ELECTROPHOTOGRAPHIC
PRINTERS
By Mr. Pisnu Pomsanam
Department Photographic Science and Printing Technology
Thesis Advisor Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.
Thesis Co-advisor Mr. Katsuhiko Nishide, M.S.

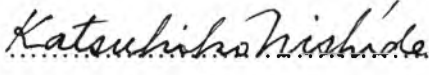
Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

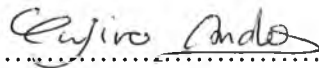

..... Dean of Faculty of Science
(Associate Professor Wanchai Phothiphichitr, Ph.D.)


THESIS COMMITTEE


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


..... Thesis Advisor
(Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.)


..... Thesis Co-advisor
(Mr. Katsuhiko Nishide, M.S.)


..... Member
(Mr. Yujiro Ando, M.S.)


..... Member
(Mr. Motokazu Kobayashi, M.S.)

พิษณุ ป้อมสนาม : การเตรียมพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่มีขนาดอนุภาคระดับไมครอนโดยการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยสำหรับเครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟี. อ. ที่ปรึกษา : ศ. ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นายคัทสึฮิโกะ นิชิเดะ, 165 หน้า. ISBN 974-346-516-2.

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์พอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่มีขนาดอนุภาคระดับไมโครเมตรโดยการเกิดพอลิเมอร์แบบแขวนลอยสำหรับเครื่องพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโฟโตกราฟีในตัวกลางคือน้ำ โดยมีพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเบนซิลเพอร์ออกไซด์ ทำหน้าที่เป็นสารช่วยเกิดการแขวนลอยและตัวริเริ่มปฏิกิริยาตามลำดับ ได้ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อขนาดอนุภาค การกระจายขนาดอนุภาค น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย การกระจายของน้ำหนักโมเลกุล สมบัติเชิงความร้อน สมบัติการก่อประจุ และสมบัติที่สำคัญอื่น ๆ ของพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่สังเคราะห์ได้ ได้แก่ ความเร็วรอบโม่โมจิเนสเซอร์ ความเร็วรอบกวน ความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราส่วนระหว่างสไตรีนและนอร์แมลบิวทิลอะคริเลต ความเข้มข้นของสารช่วยเกิดการแขวนลอย เวลาในการทำปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสารเชื่อมขวาง ปริมาณของคาร์บอนแบล็ก และปริมาณของสารควบคุมประจุ ได้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่สังเคราะห์ได้โดยการหาขนาดอนุภาคจาก SEM น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยจาก GPC หาหมู่ฟังก์ชันของโคพอลิเมอร์ด้วย FTIR อุณหภูมิสภาพแก้ว (T_g) โดย DSC และสมบัติการก่อประจุโดยวิธี blow-off

พอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่สังเคราะห์ได้มีพื้นผิวเรียบและมีอนุภาคเป็นทรงกลม ขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 4-10 ไมโครเมตร และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาค (CV) ร้อยละ 20-30% ในกรณีส่วนใหญ่พบค่าน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยแปรผกผันกับขนาดอนุภาค อุณหภูมิสภาพแก้วของพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์สามารถควบคุมได้จากสัดส่วนของมอนอเมอร์ระหว่างสไตรีนและนอร์แมลบิวทิลอะคริเลต โดยอุณหภูมิสภาพแก้วลดลงเมื่อปริมาณของนอร์แมลบิวทิลอะคริเลตในโคพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากสถานะคล้ายยางของนอร์แมลบิวทิลอะคริเลตมอนอเมอร์ ร่วมกับเมื่อปริมาณของคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้น หมู่ฟังก์ชันที่อยู่ผิวของคาร์บอนแบล็กยับยั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ซึ่งมีผลทำให้พอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่สังเคราะห์ได้มีน้ำหนักโมเลกุลลดลง อุณหภูมิสภาพแก้วที่ได้อยู่ในช่วง 66-70 องศาเซลเซียส สมบัติการก่อประจุมีค่าประจุต่อมวลอยู่ในช่วง 7-20 ไมโครคูลอมบ์ต่อกรัม นำพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์คุณภาพงานพิมพ์ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าประจุต่อมวลพบว่า ภาพพิมพ์ที่ได้มีค่าความดำพื้นหลังสูง ค่าความดำพื้นตายต่ำ และขอบของภาพที่ได้มีความขรุขระน้อย

งานวิจัยนี้อธิบายประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ สมบัติการก่อประจุ และคุณภาพงานพิมพ์ของพอลิเมอร์ไรโซโทนเนอร์ที่สังเคราะห์ได้

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต พิษณุ ป้อมสนาม
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Sud Kiatkamy
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม Katsuhiko Nishida

4072336923 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORD: SUSPENSION POLYMERIZATION / POLYMERIZED TONER / CARBON BLACK / PRINT QUALITY

PISNU POMSANAM : PREPARATION OF MICRON-SIZED POLYMERIZED TONER BY SUSPENSION POLYMERIZATION FOR ELECTROPHOTOGRAPHIC PRINTERS THESIS ADVISOR : PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D., THESIS COADVISOR : MR. KATSUHIKO NISHIDE, M.S., 165 pp. ISBN 974-346-516-2.

Polymerized toners by suspension polymerization for electrophotographic printers were performed in an aqueous medium in the presence of poly(vinyl alcohol) and benzoyl peroxide as a dispersant, and an initiator, respectively. The effects of reaction parameters were the mechanical homogenizing speed, agitation rate, initiator concentration, reaction temperature, monomer feed ratio, dispersant concentration, reaction time, crosslinking agent concentration, carbon black feed level, and charge control agent concentration on the particle size, size distribution, molecular weight, molecular weight distribution, thermal properties, triboelectric properties and other important properties necessary to polymerized toner were investigated. The particle size and size distribution were measured by SEM; the average molecular weight by GPC, the functional groups by FTIR; glass transition temperature (T_g) by DSC; and triboelectric property by blow-off method.

The resulting polymerized toners were found to be smooth on their spherical surface and the particle sizes were in the range of 4-10 μm with a CV of 20-30%. In most cases, the correlation between small particle sizes with high average molecular weights was observed. T_g of the polymerized toner could be controlled by the mole ratio of the comonomer between styrene and nBA. T_g values decreased when the content of nBA in copolymer increase due to its rubbery state along with the increasing of carbon black feed level, the surface functional groups of carbon black pigment inhibited the rate of polymerization and decreased the molecular weight of the resulting polymerized toners. T_g values of the resulting polymerized toners were in the range of 66-70°C. Triboelectricity (q/m) of the resulting polymerized toners were 7-20 $\mu\text{C g}^{-1}$. Analysis of print quality with respect to the q/m values showed the higher background fog, low maximum density, and a small image raggedness. This thesis elucidated the polymerizing efficiency, charging properties, and image qualities.

Department Photographic Science and Printing Technology
Field of study Imaging Technology
Academic year 2000

Student's signature *Pisnu Pomsanam*
Advisor's signature *Suda Kiatkamjornwong*
Co-advisor's signature *Katsuhiko Nishide*

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my sincere gratitude and appreciation to my advisor, Professor Dr. Suda Kiatkamjornwong, and my co-advisor, Mr. Katsuhiko Nishide, for their kind supervision, encouraging guidance, familiar, kindness and financial support throughout this research.

Grateful acknowledgements to the Chula-Canon Technical Research Cooperation for the special financial support to do parts of the research in Japan for one month. I am indebted to Mr. Yujiro Ando, Head of Thai Project of Canon Incorporation for his kind coordination of the project. In addition, I wish to acknowledge my thesis committee for their comments and suggestions.

Many thanks and appreciation are expressed to Mr. Kazumi Tanaka and Mr. Motokazu Kobayashi for their kindness, familiar and helpful suggestions. Thank you so much to all of my friends for cheerful and our good relationship.

Finally, I wish to express my deep gratitude to my family for their love, inspiration, understanding and endless encouragement throughout this entire study.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (IN THAI).....	iv
ABSTRACT (IN ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENT.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xiv
LIST OF FIGURES.....	xvi
ABBREVIATIONS.....	xx
CHAPTER I : INTRODUCTION.....	1
1.1 Scientific Background and Rationale.....	1
1.2 Objectives of the Research Work.....	5
1.3 Scope of the Research work.....	5
1.4 Content of the Thesis.....	8
CHAPTER II : THEORETICAL CONSIDERATIONS AND LITERATURE REVIEW.....	9
2.1 Free-Radical Polymerization.....	9
2.2 Suspension Polymerization.....	11
2.3 History of Electrophotography.....	18
2.4 The Electrophotographic Process.....	18
2.4.1 Charging step.....	19
2.4.2 Exposure step.....	19
2.4.3 Development step.....	19
2.4.4 Transfer step.....	20

CONTENTS (continued)

	PAGE
2.4.5 Fusing step.....	20
2.4.6 Cleaning and erasing step.....	20
2.5 Single- and Two-Component Developers.....	20
2.5.1 Single-component development.....	20
2.5.2 Two-component development.....	22
2.6 Toner Components.....	25
2.6.1 Resin.....	25
2.6.2 Colorants.....	26
2.6.3 Charge control additives.....	26
2.6.4 Surface additives.....	26
2.6.5 Magnetic additives.....	26
2.6.6 Other additives.....	26
2.7 Characterization of Toner.....	27
2.7.1 Rheology.....	27
2.7.2 Colorimetrics.....	28
2.7.3 Particle size.....	28
2.7.4 Charging.....	28
2.8 Toner Fabrication.....	32
2.9 Literature Review.....	33
2.9.1 Micron-sized polymeric microsphere particles.....	33
2.9.2 Polymerized toner.....	35

CONTENTS (continued)

	PAGE
2.9.3 Toner charge properties.....	37
CHAPTER III : EXPERIMENTAL.....	43
3.1 Chemicals.....	43
3.1.1 Monomers.....	43
3.1.2 Initiator.....	43
3.1.3 Dispersant.....	43
3.1.4 Crosslinking agent.....	43
3.1.5 Charge controlling agent.....	44
3.1.6 Coloring agent.....	44
3.1.7 Other chemicals.....	44
3.2 Glassware and Equipment.....	44
3.3 Apparatus.....	45
3.4 Suspension Polymerization.....	47
3.4.1 Synthesis of styrene and normal butyl acrylate copolymer.....	47
3.4.1.1 Effect of the initiator concentration.....	50
3.4.1.2 Effect of the reaction temperature.....	50
3.4.1.3 Effect of the monomer feed ratio.....	50
3.4.1.4 Effect of the dispersant concentration.....	50
3.4.1.5 Effect of the mechanical homogenizing speed.....	50
3.4.1.6 Effect of the agitation rate.....	50

CONTENTS (continued)

	PAGE
3.4.1.7 Effect of the reaction time.....	50
3.4.1.8 Effect of the crosslinking agent concentration.....	50
3.4.2 Determination of the conversion.....	51
3.4.3 Preparation of micron-sized polymerized toner	
by suspension polymerization.....	51
3.4.3.1 The effect of carbon black.....	52
3.4.3.2 The effect of charge control agent.....	52
3.5 Triboelectrification measurements.....	54
3.5.1 Measurement of charging properties of the rotating	
roller mechanism.....	54
3.6 Evaluation of print quality.....	55
3.6.1 Printing experiment.....	55
3.7 Characterization.....	55
3.7.1 Particle characterization.....	55
3.7.2 Determination of average molecular weights and	
molecular weight distribution	57
3.7.3 Determination of the thermal property.....	57
CHAPTER IV : RESULTS AND DISCUSSION.....	58
4.1 Effect of Mechanical Homogenizing Speed on.....	58
4.1.1 The Particle Size and Particle Size Distribution.....	58

CONTENTS (continued)

	PAGE
4.1.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	63
4.2 Effect of the Agitaiton Rate on.....	66
4.2.1 The Particle Size and Particle Size Distribution.....	66
4.2.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	72
4.3 Effect of the Dispersant Concentration on.....	74
4.3.1 The Particle Size and Particle Size Distribution.....	74
4.3.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	81
4.4 Effect of Reaction Time on.....	83
4.4.1 Particle Growth and Conversion.....	83
4.4.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	89
4.5 Effect of Initiator Concentration on.....	91
4.5.1 The Particle Size and Particle Size Distribution.....	91
4.5.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	96
4.6 Effect of Reaction Temperature on.....	98
4.6.1 The Particle Size and Particle Size Distribution.....	98

CONTENTS (continued)

	PAGE
4.6.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	102
4.7 Effect of Monomer Feed Ratio on.....	104
4.7.1 The Particle Size and Particle Size Distribution.....	104
4.7.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	109
4.7.3 Glass Transition Temperature.....	111
4.8 Effect of Crosslinking agent Concentration on.....	113
4.8.1 Particle Morphology.....	113
4.9 Preparation of Micron-sized Polymerized Toner by Suspension polymerization	116
4.9.1 Effect of carbon black on.....	116
4.9.1.1 The Particle Size and Particle Size Distribution.....	116
4.9.1.2 The Average Molecular Weights and Molecular Weight Distribution.....	125
4.9.1.3 Glass Transition Temperature.....	127
4.9.1.4 The Distribution of carbon black on the polymerized toner particles.....	129
4.10 The effect of charge control agent concentration on.....	132
4.10.1 Triboelectric properties.....	132
4.11 Analysis of Print Quality.....	137

CONTENTS (continued)

	PAGE
CHAPTER V : CONCLUSION.....	148
REFERENCES.....	154
APPENDIX.....	164
APPENDIX.....	165
VITA.....	172

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 Materials used in suspension polymerization.....	14
2.2 Polymerization processes in water.....	17
3.1 The reaction parameters investigated in suspension polymerization.....	50
3.2 Properties of carbon blacks.....	52
4.1 Effects of the mechanical homogenizing speed on particle size, size distribution, and molecular weight in suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	59
4.2 Effects of the agitation rate on particle size, size distribution, and molecular weight in suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	67
4.3 Effects of the poly(vinyl alcohol) dispersant concentration on particle size, size distribution, and molecular weight in the suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	77
4.4 Effect of the reaction time on particle growth, conversion, and molecular weight in suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	86
4.5 Effects of the initiator concentration on particle size, size distribution, and molecular weight in suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	92
4.6 Effects of the reaction temperature on particle size, size distribution, and molecular weight in suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	99

LIST OF TABLES(continued)

TABLE	PAGE
4.7 Effects of the monomer feed ratios on particle size, size distribution, molecular weight, and glass transition temperature in suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	105
4.8 Effects of the carbon black feed level on particle size, size distribution, molecular weight, glass transition temperature and conversion in suspension copolymerization of styrene and n-butyl acrylate.....	121
4.9 Physical properties of the copolymers of styrene and normal butyl acrylate in the presence of carbon black.....	129
4.10 The q/m values of developer, PT-702 toner and TSV-200 carrier.....	134
4.11 The q/m values of developer, N-09S toner and TSV-200 carrier.....	135

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 The basic steps in the electrophotographic process.....	19
2.2 Single-component development unit.....	21
2.3 Mechanism of development with the inductive single-component magnetic toner.....	22
2.4 Structure of a typical two component development housing.....	24
2.5 Schematic development, indicating direction of electrostatic and magnetic forces on toner above an image.....	24
2.6 Apparatus of a blow-off measurement.....	30
2.7 Conventional blow-off method.....	30
2.8 Schematic diagram of an E-SPART analyzer.....	31
2.9 Method of an E-SPART analyzer.....	32
3.1 Flowchart for synthesise of the micron-sized polymeric toner particles by suspension polymerization.....	49
3.2 Flowchart for the preparation of micron-sized polymerized toners by suspension polymerization.....	53
4.1 Effect of the mechanical homogenizing speed on particle size of the copolymer.....	61
4.2 SEM photographs of the copolymer prepared at various mechanical homogenizing speeds.....	62
4.3 Effect of the mechanical homogenizing speed on average molecular weights of the copolymer.....	64

LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	PAGE
4.4 Schematic diagram of stated of dispersion in suspension polymerization of divinylbenzene.....	69
4.5 Effect of the agitation rate on particle size of the copolymer.....	70
4.6 SEM photographs of the copolymers prepared at various agitation rates.....	71
4.7 Effect of the agitation rate on average molecular weights of the copolymer.....	73
4.8 Mechanism for stabilizing polymer dispersion (poly(styrene)/ styrene) by poly(vinyl acetate) or poly(vinyl alcohol) with residual acetate groups.....	75
4.9 Effect of the dispersant concentration on particle size of the copolymer.....	78
4.10 SEM photographs of the copolymers prepared at various dispersant concentrations.....	80
4.11 Effect of the dispersant concentration on average molecular weights of the copolymer.....	82
4.12 SEM photographs of the copolymers prepared at various reaction times.....	87
4.13 Reaction time versus conversion during growth of the copolymer particles.....	88
4.14 Effect of the reaction time on average molecular weights of the copolymer.....	90
4.15 Effect of the initiator concentration on particle size of the copolymer.....	93
4.16 SEM photographs of the copolymers prepared at various initiator concentrations.....	95
4.17 Effects of the initiator concentration on average molecular weights of the copolymer.....	97
4.18 Effects of the reaction temperature on particle size of the copolymer.....	100

LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	PAGE
4.19 SEM photographs of the copolymers prepared at various reaction temperatures.....	101
4.20 Effects of the reaction temperature on average molecular weights of the copolymer.....	103
4.21 Effect of the monomer feed ratios on particle size of the copolymer.....	106
4.22 SEM photographs of the copolymers prepared at various monomer feed ratios (St/nBA).....	107
4.23 Effect of the monomer feed ratios on average molecular weights of the copolymer.....	110
4.24 Effect of the monomer feed ratios on glass transition temperature of the copolymer.....	112
4.25 SEM photographs of the copolymers prepared at various crosslinking agent concentrations.....	115
4.26 Mechanism of the free radicals formed on the carbon black surfaces by the addition of initiator radicals.....	119
4.27 Effect of the carbon black feed levels on particle size of the polymerized toner.....	122
4.28 SEM photographs of the polymerized toner prepared at various carbon black feed levels.....	123
4.29 Effect of the carbon black feed levels on average molecular weights of the polymerized toner.....	126

LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	PAGE
4.30 Effect of the carbon black feed levels on glass transition temperature of the polymerized toner.....	128
4.31 TEM photographs of the carbon black distribution on surfaces of the toner particles in the presence of carbon black 3 wt%.....	130
4.32 Molecular structure of boro bis(1,1 diphenyl-1-oxo-acetyl) potassium salt charge control agent.....	130
4.33 Effect of charge control agent concentrations on triboelectric properties of the polymerized toner	136
4.34 Molecular structure of azochromium metal complexes charge control agent.....	140
4.35 (a) A test form printed by N-09S toner.....	141
4.35 (b) A test form printed by PT-702 toner.....	142
4.36 Dependence of solid density on copy number for N-09S and PT-702 toner	143
4.37 Dependence of background density on copy number for N-09S and PT-702 toner.....	144
4.38 The photos of the lines and “a” character by the image analyzer.....	145
4.39 The photos of the “g” and “s” character by the image analyzer.....	146
4.40 The photos of the “E” and “L” character by the image analyzer.....	147

ABBREVIATIONS

St	: styrene
nBA	: normal butyl acrylate
PSt	: polystyrene
PnBA	: poly(normal butyl acrylate)
PVA	: poly(vinyl alcohol)
BPC	: benzoyl peroxide
DVB	: divinylbenzene
CCA	: charge control agent
SDS	: sodium dodecyl benzenesulfonate
CB	: carbon black
SEM	: scanning electron microscopy
DSC	: differential scanning calorimeter
GPC	: gel permeation chromatography
FTIR	: fourier transform infrared spectroscopy
TEM	: transmission electron microscopy
μm	: micrometer
rpm	: round per minute
D_n	: number average diameter
D_w	: weight average diameter
PDI	: polydispersity index
CV	: coefficient of variation
σ	: standard deviation
M_n	: number average molecular weight
M_w	: weight average molecular weight
T_g	: glass transition temperature
PSD	: particle size distribution