

การตรวจลักษณะจำเพาะของสารสร้างภาพที่สัมพันธ์กับคุณภาพของภาพพิมพ์

นาง สุชปา เนตรประดิษฐ์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางภาพ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2640

ISBN 974-637-956-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CHARACTERIZATION OF DEVELOPER IN RELATION TO PRINT QUALITY**



**Mrs. Suchapa Netpradit**

**สถาบันวิทยบริการ**  
**จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**  
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**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1997**

**ISBN 974-637-956-9**

Thesis Title            Characterization of Developer in Relation to Print  
Quality  
By                         Mrs. Suchapa Netpradit  
Department            Photographic Science and Printing Technology  
Thesis Advisor        Associate Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.  
Thesis Co-advisor    Mr. Takeshi Ikeda, M.S.

---

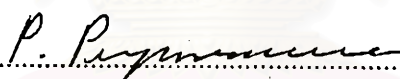
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial  
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree




Dean of Graduate School

(Professor Supawat Chutivongse, M.D.)

THESIS COMMITTEE

 Chairman

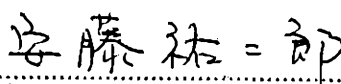
(Associate Professor Pontawee Pongrassamee, M.S.)

 Thesis Advisor

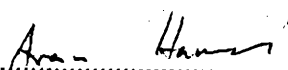
(Associate Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.)

 Thesis Co-advisor

(Mr. Takeshi Ikeda, M.S.)

 Member

(Mr. Yujiro Ando, M.S.)

 Member

(Assistant Professor Aran Hanseubsai, Ph.D.)

สุชปา เนตรประดิษฐ์ : การตรวจลักษณะจำเพาะของสารสร้างภาพที่สัมพันธ์กับคุณภาพ  
ของภาพพิมพ์ (CHARACTERIZATION OF DEVELOPER IN RELATION TO PRINT  
QUALITY) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สูดา เกียรติกำจรวงศ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : นาย ทาเคชิ  
อิเคดะ ; 178 หน้า. ISBN 974-637-956-9.

อิทธิพลที่มีผลต่อค่าประจុต่อมวลของโทนเนอร์ในสารสร้างภาพชนิดสององค์ประกอบของระบบอิเล็กทรอนิกส์โฟโตกราฟี ได้รับการตรวจสอบด้วยระยะเวลาการเขย่า ความเข้มข้นของโทนเนอร์ ขนาดของตัวพา สารเคลือบผิวตัวพา และแกนนอนภาคของตัวพา เพื่อหาความสัมพันธ์กับคุณภาพของภาพพิมพ์ ในส่วนของค่าความดำของภาพ ค่าความดำของสีพื้นหลัง การผลิตน้ำหมึกสี และรายละเอียดของภาพ ตัวพาที่ใช้เป็นสารประกอบเหล็กออกไซด์รูปร่างทรงกลมเคลือบด้วยสารฟลูออรีนกับอะคริเลต มีขนาดต่างกันสี่ขนาดคือ 100 70 60 และ 50 ไมโครเมตร เคลือบสารอื่นต่างกันอีกสี่ชนิดคือ อะคริเลต ซิลิโคน ฟลูออรีนกับซิลิโคน และไม่เคลือบผิว และตัวพาผงเหล็กที่มีรูปร่างไม่แน่นอนเคลือบด้วยสารฟลูออรีนกับอะคริเลตอีกหนึ่งชนิด โดยใช้ร่วมกับโทนเนอร์ที่มีเรซินสองแบบคือ โทเนอร์สีแดงที่มีสไตรีนกับอะคริเลตเป็นเรซิน มีขนาด 14 ไมโครเมตร และโทนเนอร์สีฟ้าที่มีพอลิเอสเทอร์เป็นเรซิน มีขนาด 8 ไมโครเมตร การวัดค่าประจុต่อมวลของโทนเนอร์โดยใช้วิธีเป่าลมได้ผลคือ โทเนอร์สีแดงมีค่าประจुเป็นบวก ส่วนโทนเนอร์สีฟ้ามีค่าประจुเป็นลบเมื่อผสมกับตัวพาเหล่านี้ ค่าประจुต่อมวลของโทนเนอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงโดยระยะเวลาการเขย่าและมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโทนเนอร์ มีผลอย่างมากกับตัวพาขนาดใหญ่ซึ่งมีพื้นที่ผิวต่อมวลน้อยกว่าตัวพาขนาดเล็ก ตัวพาที่เคลือบด้วยสารฟลูออรีนกับอะคริเลตได้ให้ช่วงของค่าประจुต่อมวลที่เป็นประโยชน์กับโทนเนอร์ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม ด้วยการผลิตภาพพิมพ์ที่มีค่าความดำสูงโดยปราศจากความดำของสีพื้นหลัง ตัวพาที่ให้ค่าประจुต่อมวลกับโทนเนอร์ต่ำเกินไปทำให้มีความดำของสีพื้นหลัง และตัวพาที่ให้ค่าประจुต่อมวลสูงเกินไปทำให้ภาพพิมพ์มีค่าความดำต่ำ ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมของโทนเนอร์สอดคล้องกับช่วงค่าประจुต่อมวลของโทนเนอร์สีแดงเท่ากับ 15-20 ไมโครกรัมต่อกรัม และช่วงค่าประจुต่อมวลของโทนเนอร์สีฟ้าเท่ากับ 15-25 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่ากว้างขึ้นเมื่อใช้ตัวพาที่มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมของโทนเนอร์ที่มีขนาดใหญ่ยังกว้างกว่าช่วงของโทนเนอร์ที่มีขนาดเล็กอีกด้วย

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์  
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ  
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิติต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 池田武志 .....

# # 3972101223 : MAJOR IMAGING TECHNOLOGY

KEY WORD: ELECTROPHOTOGRAPHY / TWO-COMPONENT DEVELOPER / TONER / CARRIER /  
CHARGE-TO-MASS RATIO / PRINT QUALITY

SUCHAPA NETPRADIT : CHARACTERIZATION OF DEVELOPER IN RELATION TO PRINT QUALITY.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D.

THESIS CO-ADVISOR : MR. TAKESHI IKEDA, M.S. 178 pp. ISBN 974-637-956-9.

The dependence of the toner charge-to-mass ratio ( $q/m$ ) in the two-component developer of electrophotography was investigated on shaking time, toner concentration (T/C), carrier sizes, carrier coated materials, and carrier core particles to acquire relationship to the print qualities in terms of image density, background density, tone reproduction, and resolution. Four different sizes of the fluorine/acrylate coated spherical ferrite carriers of 100, 70, 60 and 50  $\mu\text{m}$ , other four different coated materials: acrylate, silicone, fluorine/silicone, and un-coated, and the fluorine/acrylate coated irregular iron carrier were used with two types of toner resin: 14  $\mu\text{m}$  red toner containing styrene/acrylate resin and 8  $\mu\text{m}$  cyan toner containing polyester resin. The  $q/m$  measurement by a blow-off method showed that the red toner was of positive charge while the cyan toner was of negative charge with these carriers. The toner  $q/m$  values changing by the shaking time and decreasing by the increasing T/C were more affected by the larger carrier which has less surface area per mass than does the smaller carrier. The fluorine/acrylate coated ferrite carriers gave an useful range of  $q/m$  to these toners in a latitude of T/C by producing high print density without background fog. The carrier giving too low  $q/m$  to the toner produced fog on the background, and the carrier giving too high  $q/m$  produced low print density. The T/C latitude corresponding to the red toner  $q/m$  range of 15-20  $\mu\text{C/g}$  and the cyan toner  $q/m$  range of 15-25  $\mu\text{C/g}$  was wider when a carrier size was smaller. Additionally, the T/C latitude of the larger toner was wider than that of the smaller toner.

ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ ..... ลายมือชื่อนิสิต .....  
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางภาพ ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... Suda Kiatkamjornwong  
ปีการศึกษา 2540 ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม 池田武志

## ACKNOWLEDGEMENTS



The author would like to express her gratitude to her advisors, Associate Professor Dr. Suda Kiatkamjornwong and Mr. Takeshi Ikeda for their tireless guidance, suggestions and assistance in the thesis writing. Sincere appreciations are due to her thesis committee: to Associate Professor Porntawee Punggrassamee for serving as the thesis Defend Chair Lady, to Mr. Yujiro Ando and Assistant Professor Dr. Aran Hanseubsai for serving as thesis committee.

Many thanks are due to Canon Inc. (Tokyo) for providing one-month training program in Japan including the allowance to use their research facilities and materials for toner and carrier experiments. Appreciations are also due to Mr. Yuzo Tokunaga, Mr. Kenichi Takeda, Mr. Yoshinobu Baba and Miss Nagao Yayoi for their help in training and experimental work.

Appreciation and gratitude are due to the Imaging Science and Printing technology, Chulalongkorn University for research facilities, information source and materials; to King Mongkut's University of Technology, Thonburi and National Metal and Materials Technology Center for thermal property measurement.

Finally, she would like to express her deep gratitude to her parents for their love and moral support throughout the Masters degree study. She also would like to thank her husband for his care and understanding during the research period.

# CONTENT

	page
ABSTRACT (in Thai) .....	iv
ABSTRACT (in English) .....	v
ACKNOWLEDGEMENTS .....	vi
CONTENT .....	vii
TABLE CONTENT .....	xii
FIGURE CONTENT .....	xiii
CHAPTER	
1    INTRODUCTION .....	1
1.1 Scientific Rationale .....	1
1.2 Objectives .....	1
1.3 Scope of the Research .....	2
1.4 Content of the Thesis .....	3
2    THEORY AND LITERATURE REVIEW .....	4
2.1 History of Electrophotography .....	4
2.2 The Electrophotographic Process .....	4
2.3 Single- and Two-component Developers .....	6
2.3.1 Single-component development .....	6
2.3.2 Two-component development .....	8
2.4 Toner Components .....	10
2.4.1 Resin .....	10
2.4.2 Colorants .....	11
2.4.3 Charge control additives .....	11

## CONTENT (continued)

CHAPTER	page
2.4.4 Surface additives .....	12
2.4.5 Magnetic additives .....	12
2.4.6 Other additives .....	12
2.5 Characterization of Toner .....	12
2.5.1 Rheology .....	12
2.5.2 Colorimetrics .....	13
2.5.3 Particle size .....	14
2.5.4 Charging .....	15
2.6 Toner Fabrication .....	17
2.7 Carrier Materials .....	17
2.8 Literature Review .....	19
2.8.1 Toner particle size .....	19
2.8.2 Toner charge properties .....	21
2.8.3 Rheology and fixing properties of toner .....	31
2.8.4 New invention of developers .....	34
3 EXPERIMENTAL .....	37
3.1 Materials .....	37
3.2 Apparatus .....	38
3.3 Procedure .....	39
3.3.1 Determination of toner and carrier particle morphology	39
3.3.2 Determination of developer charge properties and the effective parameters .....	39
3.3.3 Analysis of copy print quality .....	42



## CONTENT (continued)

CHAPTER	page
3.3.4 Analysis of thermal behavior of the toners .....	45
4 RESULTS AND DISCUSSION .....	46
4.1 Morphology of the Toner and the Carrier Particles .....	46
4.2 Determination of Developer Charge Properties and the Effective Parameters .....	54
4.2.1 The dependence of the red toner charge on the shaking time .....	54
4.2.2 The dependence of the red toner charge on the toner concentration .....	64
4.2.3 The dependence of the red toner charge on the carrier size .....	64
4.2.4 The dependence of the red toner charge on the carrier surface coating .....	66
4.2.5 The dependence of the red toner charge on the core carrier particle .....	68
4.2.6 The dependence of the cyan toner charge on the shaking time .....	71
4.2.7 The dependence of the cyan toner charge on the toner concentration .....	80
4.2.8 The dependence of the cyan toner charge on the carrier size .....	80
4.2.9 The dependence of the cyan toner charge on the carrier surface coating .....	82

## CONTENT (continued)

CHAPTER	page
4.2.10 The dependence of the cyan toner charge on the core carrier particle .....	84
4.3 Analysis of Quality of the Copy Print .....	86
4.3.1 Dependence of the maximum copy density and the background density on the red toner concentration and the carrier size .....	86
4.3.2 Dependence of the maximum copy density and the background density of the red toner on the carrier surface coating .....	89
4.3.3 Dependence of the tone reproduction of the red toner on the toner concentration and the carrier size .....	92
4.3.4 Dependence of the tone reproduction of the red toner on the carrier surface coating .....	97
4.3.5 Dependence of the resolution and dot gain of the red toner on the carrier size .....	97
4.3.6 Dependence of the maximum copy density and the background density on the cyan toner concentration and the carrier size .....	103
4.3.7 Dependence of the tone reproduction of the cyan toner on the toner concentration and the carrier size .....	106
4.3.8 Dependence of the resolution and dot gain of the cyan toner on the carrier size .....	106
4.3.9 Consideration on covering ratio .....	113

## CONTENT (continued)

CHAPTER	page
4.3.10 Comparing the red toner and the cyan toner .....	132
4.3.11 Analysis of the thermal behavior of the toners .....	134
5 CONCLUSION AND SUGGESTIONS .....	135
REFERENCES .....	138
APPENDIXES .....	141
Appendix A The Charge and Particle Measurement by E-SPART Analyzer of the Cyan Toner Mixed with the Carriers B and D .....	142
Appendix B Triboelectric Series of Copolymers .....	153
Appendix C Irregular Carrier .....	154
Appendix D Thermal Properties of the Red and Cyan Toners .....	155
VITA .....	160

  
 สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## TABLE CONTENT

	page
Table 4-1 Particle size and distribution of the toner and carrier particle sizes	52
Table 4-2 Analysis of a developer particle .....	124
Table 4-3 Maximum number of the red and the cyan toner particles covering on a carrier (A - D) .....	125
Table 4-4 The amount of red toner-to-carrier A-D ratio .....	126
Table 4-5 The amount of cyan toner-to-carrier A-D ratio .....	126
Table 4-6 Coverage percentage of the red toner on a carrier .....	127
Table 4-7 Coverage percentage of the cyan toner on a carrier .....	127
Table 4-8 The optimum range of toner concentrations and q/m values of the red toner and the cyan toner mixed with the carriers A to D .....	131
Table A-1 The cyan toner q/m values evaluated by an E-SPART analyzer and measured by a blow-off method .....	142

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## FIGURE CONTENT

		page
Figure 1-1	Trend of printing processes in the year 2004 .....	3
Figure 2-1	The basic steps in the electrophotographic process .....	5
Figure 2-2	Single-component development unit .....	7
Figure 2-3	Mechanism of development with inductive single-component magnetic toner .....	8
Figure 2-4	Structure of typical two-component development housing .....	9
Figure 2-5	Schematic development, indicating direction of electrostatic and magnetic force on toner above an image .....	10
Figure 2-6	Apparatus of a blow-off measurement .....	15
Figure 2-7	Conventional blow-off method .....	15
Figure 2-8	Schematic diagram of an E-SPART analyzer .....	16
Figure 2-9	Method of an E-SPART analyzer .....	16
Figure 2-10	Particle size distribution .....	19
Figure 2-11	Relation of graininess and optical density .....	20
Figure 2-12	Time history of developer mixing .....	22
Figure 2-13	Triboelectrification by n particles of toners on a carrier in the two-component development .....	24
Figure 2-14	Measurements of the charge-to-mass ratio of the carrier as a function of roll-mill mixing time for several values of the toner concentration .....	25
Figure 2-15	Energy level diagram for the contact charging model .....	26

## FIGURE CONTENT (continued)

	page
Figure 2-16 Diagrammatic representation of the deflection unit of the q/d meter .....	27
Figure 2-17 Schematic model of dependence of one particle toner charge on T/C .....	29
Figure 2-18 Geometry of the physical model, locations of toner particles	31
Figure 2-19 Fusing stages .....	32
Figure 2-20 Correspondence between temperature and fusing rate .....	32
Figure 2-21 Amount of carrier pull versus carrier diameter .....	35
Figure 2-22 Effects of toner concentration on optical density and gamma	35
Figure 2-23 Scanning electron micrographs of polymerized toner and melt-mixed/crushed toner .....	36
Figure 4-1 Scanning electron micrographs of the red toner and cyan toner particle shape .....	47
Figure 4-2 Scanning electron micrographs of the the red toner and cyan toner particle surface .....	48
Figure 4-3 Scanning electron micrographs of the different carrier sizes .....	49
Figure 4-4 Scanning electron micrographs of the different carrier surfaces	50
Figure 4-5 Scanning electron micrographs of the carrier H .....	51
Figure 4-6 Surface area/mass versus mean diameter of four carriers .....	53
Figure 4-7 Red toner q/m versus shaking time of carrier A .....	55
Figure 4-8 Red toner q/m versus shaking time of carrier B .....	56
Figure 4-9 Red toner q/m versus shaking time of carrier C .....	57
Figure 4-10 Red toner q/m versus shaking time of carrier D .....	58

## FIGURE CONTENT (continued)

	page
Figure 4-11 Red toner $q/m$ versus shaking time of carrier E .....	60
Figure 4-12 Red toner $q/m$ versus shaking time of carrier F .....	61
Figure 4-13 Red toner $q/m$ versus shaking time of carrier G .....	62
Figure 4-14 Red toner $q/m$ versus shaking time of carrier H .....	63
Figure 4-15 Red toner $q/m$ versus T/C of carriers A - D .....	65
Figure 4-16 Red toner $q/m$ versus T/C of carriers B, E, F, G and K .....	67
Figure 4-17 Red toner $q/m$ versus T/C of carriers B and H .....	69
Figure 4-18 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier A .....	72
Figure 4-19 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier B .....	73
Figure 4-20 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier C .....	74
Figure 4-21 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier D .....	75
Figure 4-22 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier E .....	76
Figure 4-23 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier F .....	77
Figure 4-24 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier G .....	78
Figure 4-25 Cyan toner $q/m$ versus shaking time of carrier H .....	79
Figure 4-26 Cyan toner $q/m$ versus T/C of carriers A - D .....	81
Figure 4-27 Cyan toner $q/m$ versus T/C of carriers B, E, F and G .....	83
Figure 4-28 Cyan toner $q/m$ versus T/C of carriers B and H .....	85
Figure 4-29 Maximum density versus T/C of red developers A - D .....	87
Figure 4-30 Background density versus T/C of red developers A - D .....	88
Figure 4-31 Maximum density versus T/C of red developers B, E, F, G and K	90
Figure 4-32 Background density versus T/C of red developers B, E, F, G and K	91

## FIGURE CONTENT (continued)

	page
Figure 4-33 Copy density versus original density of red copy produced by the red developer A .....	93
Figure 4-34 Copy density versus original density of red copy produced by the red developer B .....	94
Figure 4-35 Copy density versus original density of red copy produced by the red developer C .....	95
Figure 4-36 Copy density versus original density of red copy produced by the red developer D .....	96
Figure 4-37 Copy density versus original density of red copy produced by the red developer E .....	98
Figure 4-38 Copy density versus original density of red copy produced by the red developer F .....	99
Figure 4-39 Copy density versus original density of red copy produced by the red developer G .....	100
Figure 4-40 Line width versus T/C of red copies A - D .....	101
Figure 4-41 Dot gain of halftone copies produced by the red developers A to D with 5% toner concentration .....	102
Figure 4-42 Maximum density versus T/C of cyan developers A - D .....	104
Figure 4-43 Background density versus T/C of cyan developers A - D .....	105
Figure 4-44 Copy density versus original density of cyan copy produced by the cyan developer A .....	107
Figure 4-45 Copy density versus original density of cyan copy produced by the cyan developer B .....	108



## FIGURE CONTENT (continued)

	page
Figure 4-46 Copy density versus original density of cyan copy produced by the cyan developer C .....	109
Figure 4-47 Copy density versus original density of cyan copy produced by the cyan developer D .....	110
Figure 4-48 Line width versus T/C of cyan copies A - D .....	111
Figure 4-49 Dot gain of line copies produced by the cyan developers A to D with 5% toner concentration .....	112
Figure 4-50 Scanning electron micrographs of the the red developer B .....	114
Figure 4-51 Scanning electron micrographs of the the cyan developer B .....	115
Figure 4-52 Color optical micrographs of the the red developer A .....	116
Figure 4-53 Color optical micrographs of the the red developer B .....	117
Figure 4-54 Color optical micrographs of the the red developer C .....	118
Figure 4-55 Color optical micrographs of the the red developer D .....	119
Figure 4-56 Color optical micrographs of the the cyan developer A .....	120
Figure 4-57 Color optical micrographs of the the cyan developer B .....	121
Figure 4-58 Color optical micrographs of the the cyan developer C .....	122
Figure 4-59 Color optical micrographs of the the cyan developer D .....	123
Figure 4-60 Schematic of a toner effective cross area .....	124
Figure 4-61 Toner coverage percentage versus T/C of red developers A - D	128
Figure 4-62 Toner coverage percentage versus T/C of cyan developers A - D	129
Figure A-1 Cyan toner q/d and size distributions of 1% in developer B .....	143
Figure A-2 Cyan toner q/d and size distributions of 3% in developer B .....	144
Figure A-3 Cyan toner q/d and size distributions of 5% in developer B .....	145

## FIGURE CONTENT (continued)

	page
Figure A-4 Cyan toner q/d and size distributions of 8% in developer B .....	146
Figure A-5 Cyan toner q/d and size distributions of 15% in developer B .....	147
Figure A-6 Cyan toner q/d and size distributions of 3% in developer D .....	148
Figure A-7 Cyan toner q/d and size distributions of 5% in developer D .....	149
Figure A-8 Cyan toner q/d and size distributions of 8% in developer D .....	150
Figure A-9 Cyan toner q/d and size distributions of 10% in developer D .....	151
Figure A-10 Cyan toner q/d and size distributions of 15% in developer D .....	152
Figure C-1 The micrograph of red toners 5% covering on a carrier H .....	154
Figure C-2 The micrograph of cyan toners 5% covering on a carrier H .....	154