

การปรับปรุงความสม่ำเสมอของกระบวนการกวดโดยใช้
เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก



นายพิรพล บุญยืน

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

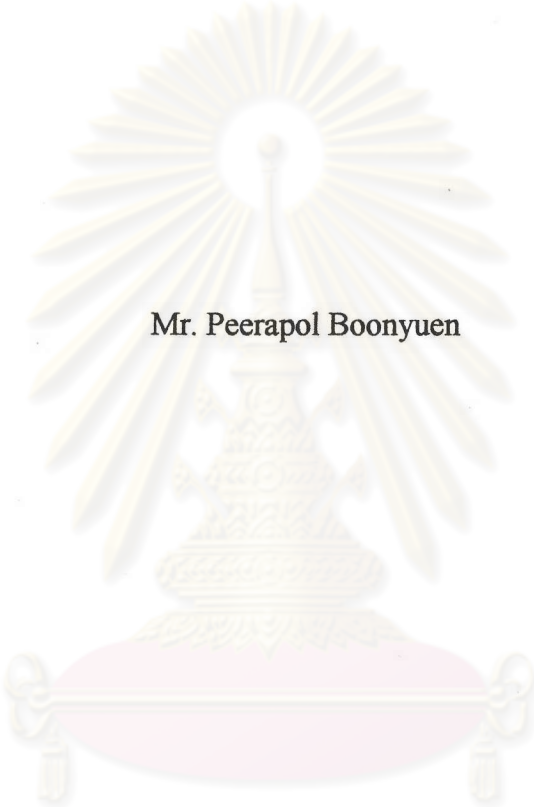
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4707-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**UNIFORMITY IMPROVEMENT OF ETCHING PROCESS USING
PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS TECHNIQUE**



Mr. Peerapol Boonyuen

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering**

Department of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

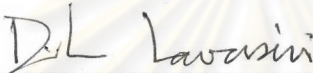
Chulalongkorn University

Academic Year 2003

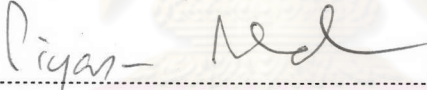
ISBN 974-17-4707-1

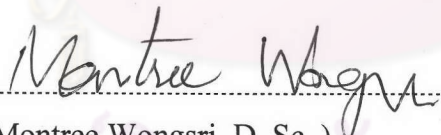
Thesis Title UNIFORMITY IMPROVEMENT OF ETCHING PROCESS
 USING PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS
 TECHNIQUE
By Mr. Peerapol Boonyuen
Field of Study Chemical Engineering
Thesis Advisor Montree Wongsri, D. Sc.


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



..... Dean of Faculty of Engineering
(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)


THESIS COMMITTEE


..... Chairman
(Professor Piyasarn Praserttham, Dr.Eng.)


..... Thesis Advisor
(Montree Wongsri, D. Sc.)


..... Thesis Co-Advisor
(Mr. Pakawat Suaysuwan)


..... Member
(Associate Professor Paisan Kittisupakorn, Ph. D.)


..... Member
(Suphot Phatanasri, D. Eng.)

MAJOR: CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD: PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS/ MULTIVARIATE ANALYSIS/ COVARIANCE MATRIX/ EIGENVALUE/ EIGENVECTOR

PEERAPOL BOONYUEN: UNIFORMITY IMPROVEMENT OF ETCHING PROCESS USING MULTIVARIATE STATICAL PROCESS CONTROL: PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

THESIS ADVISOR: MONTREE WONGSRI, D.Sc., THESIS COADVISOR: MR. PAKAWAT SUAY SUWAN pp. 81 ISBN 974-17-4707-1

The purpose of this study is generated principal component models in order to detect fault in Reactive Ion Etching (RIE) process. The normal data of twenty batches, eleven significant process input variables and six hundred and twenty eight interval time from one machine are selected as database. These data is used for principal component analysis calculation. The result of this study reveals that four principal component models which is fit by data and all principal component models can explain the variance up to 80 percent.

The model validation is made on two additional batches; normal and abnormal batch with six hundred and twenty eight time intervals. All the principal component models can detect fault of abnormal batch, while normal batch is under the principal component control limit. The advantage of using principal component models to monitor process input variables of reactive ion etching is etched depth uniformity improvement. Once four models are tested in production line for almost four weeks, etched depth uniformity has decrease from 1.830 to 1.795 percent.

Department Chemical Engineering Student's signature *Peerapol Boonyuen*

Field of study Chemical Engineering Advisor's signature *Montree Wongsri*

Academic year 2003 Co-advisor's signature *Pakawat Suay Suwan*

พีรพล บุญยืน: การปรับปรุงความสม่ำเสมอของกระบวนการกัดโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (UNIFORMITY IMPROVEMENT OF ETCHING PROCESS USING PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS TECHNIQUE)
อ.ที่ปรึกษา : อ. ดร.มนตรี วงศ์ศรี, อ.ที่ปรึกษาร่วม : นาย ภควัต สรวัยสุวรรณ 81 หน้า
ISBN 974-17-4707-1

จุดประสงค์ของการศึกษานี้คือ การหาแบบจำลองขององค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) เพื่อใช้ในการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการกัดด้วยปฏิกิริยาไอออน (Reactive Ion Etching) โดยข้อมูล 20 ชุดที่นำมาใช้เป็นข้อมูลที่เป็นปกติและตัวแปรกระบวนการ 11 ตัว ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยในแต่ละชุดข้อมูลจะใช้เวลาประมาณ 628 ช่วงเวลาและนำมาจากเครื่องเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น พบว่า เมื่อสร้างแบบจำลองขององค์ประกอบหลักจะสามารถอธิบายความแปรปรวนในกระบวนการได้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ จากองค์ประกอบหลัก 4 ตัว

เมื่อนำแบบจำลองที่ได้ไปทดสอบกับข้อมูลที่เป็นปกติและไม่เป็นปกติพบว่า แบบจำลองสามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดกับข้อมูลที่ไม่เป็นปกติได้และพบว่า เกิดปัญหาเกี่ยวกับการแกว่งของไบแอสในเครื่องทำให้ค่าที่ได้จากองค์ประกอบหลักออกนอกจากเขตควบคุมที่กำหนดไว้ โดยจุดเด่นของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักคือ การลดจำนวนตัวแปรลงและการประมวลผลของตัวแปรใหม่(แบบจำลอง)ที่ได้ เมื่อนำวิธีการนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตพบว่า ความสม่ำเสมอในกระบวนการผลิตดีขึ้น โดยลดลงจาก 1.830 เปอร์เซ็นต์ เป็น 1.795 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2546.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to express his profound gratitude to his advisor, Dr. Montree Wongsri, Prof. Dr. Piyasarn Presertthum, Asso. Dr. Paisarn Kittisupakorn, Dr. Supoj Pattanasri for their continuous guidance, suggestions and encouragement throughout the thesis study. Their constant moral support and new ideas enable the author to finish the work in time.

The author would like to thank you my family, who encourage and helped him during the thesis study.

Grateful appreciate is also conveyed to Mr. Pakawat Suaysuwan, Ms. Pranithi Kavaree and their staffs for support the case study.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS

	Page
Abstract(Thai).....	iv
Abstract(English).....	v
Acknowledgement.....	vi
Contents.....	vii
List of Tables.....	ix
List of Figures.....	x
Chapter 1 Introduction.....	1
1.1. Problem statement.....	1
1.2. Objective of the study.....	6
1.3. Scope of the study.....	6
1.4. Methodology of the study.....	6
Chapter 2 Theory on Principal Component.....	7
2.1. Introduction.....	7
2.2. Principal Component Analysis.....	8
2.3. Standardizing the Sample Principal Component.....	14
2.4. Principal Component Scores.....	18
2.5. Component Loading Vector.....	18
2.6. The Number of Principal Components.....	19
2.7. Residual Analysis.....	20
2.8. Monitoring Quality with Principal Component.....	22
2.8.1. X-Bar Chart.....	23
2.8.2. Ellipse Chart.....	25
2.8.3. T^2 – Hotelling Chart.....	26
2.9. Interpreting Principal Components.....	32

CONTENTS (continued)

	Page
Chapter 3 Literature Review.....	33
3.1. Introduction.....	33
3.2. Literature Review.....	33
Chapter 4 Methodology and Experiment Result.....	37
4.1. Introduction.....	37
4.2. Process Description.....	38
4.3. Experiment Procedure.....	38
4.4. Experiment Result.....	41
Chapter 5 Conclusion and Recommendation.....	59
5.1. Introduction.....	59
5.2. The Solid Principal Component Model Generation.....	60
5.3. The Model Validation on Actual Processing Data.....	64
5.4. The Constraint of this Study.....	71
5.5. The Recommendation.....	71
References.....	72
Appendices	
Appendix A Chi-Square Distribution Table.....	74
Appendix B Normal Distribution Table.....	77
Appendix C Example for Principal Component Calculation.....	79
Biography.....	81

LIST OF TABLES

	Page
Table 4.1 Process variable.....	38
Table A.1 Chi-Square distribution table.....	74
Table B.1 Normal distribution table.....	77
Table C.1 Observation data.....	79
Table C.2 Standardized (Scaling) data.....	79
Table C.3 Covariance matrix.....	80
Table C.4 Eigenvalue and %Explained Variance.....	80
Table C.5 Eigenvector.....	80



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

	Page
Figure 1.1 Hard disk drive.....	2
Figure 1.2 Fly height vs aerial density.....	2
Figure 1.3 Read-Write head in hard disk drive.....	3
Figure 1.4 Percentage of yield of etching operation.....	4
Figure 1.5 Percentage of fault detection.....	4
Figure 2.1 Principal axes of trivariate observation.....	13
Figure 2.2 Scree plot.....	20
Figure 2.3 X-bar chart: original and principal component.....	24
Figure 2.4 Quality control ellipse chart.....	25
Figure 2.5 Principal component model plot.....	26
Figure 2.6 Region of same distance.....	28
Figure 2.7 Region of same statistical distance.....	29
Figure 2.8 Scatter plot of correlated variables.....	30
Figure 2.9 Encompassing statistical distance.....	31
Figure 4.1 A schematic diagram of Reactive Ion Etching(RIE) equipment.....	38
Figure 4.2 Scree plot.....	42
Figure 4.3 %Explained variance.....	42
Figure 4.4 Pprincipal component#1.....	43
Figure 4.5 Principal component#2.....	44
Figure 4.6 Principal component#3.....	44
Figure 4.7 Principal component#4.....	45
Figure 4.8 Residual plot of 4 principal component model.....	46
Figure 4.9 Hotelling statistical (T^2) chart.....	47
Figure 4.10 Principal component#1 of normal batch.....	50
Figure 4.11 Principal component#2 of normal batch.....	51
Figure 4.12 Principal component#3 of normal batch.....	51
Figure 4.13 Principal component#4 of normal batch.....	52

LIST OF FIGURES (continued)

	Page
Figure 4.14 Principal component#1 of abnormal batch.....	52
Figure 4.15 Principal component#2 of abnormal batch.....	53
Figure 4.16 Principal component#3 of abnormal batch.....	53
Figure 4.17 Principal component#4 of abnormal batch.....	54
Figure 4.18 Residual plot of normal batch.....	55
Figure 4.19 Residual plot of abnormal batch.....	55
Figure 4.20 T^2 – Hotelling of normal batch.....	56
Figure 4.21 T^2 – Hotelling of abnormal batch.....	57
Figure 5.1 Solid model of principal component#1.....	60
Figure 5.2 Solid model of principal component#2.....	61
Figure 5.3 Solid model of principal component#3.....	61
Figure 5.4 Solid model of principal component#4.....	62
Figure 5.5 Percentage of explained variance of all PCs.....	62
Figure 5.6 Hotelling statistical (T^2) chart.....	63
Figure 5.7 Residual analysis (Q-statistical) chart.....	63
Figure 5.8 Principal component#1 of abnormal batch.....	64
Figure 5.9 Principal component#2 of abnormal batch.....	65
Figure 5.10 Principal component#3 of abnormal batch.....	65
Figure 5.11 Principal component#4 of abnormal batch.....	66
Figure 5.12 Principal component#1 of normal batch.....	66
Figure 5.13 Principal component#2 of normal batch.....	67
Figure 5.14 Principal component#3 of normal batch.....	67
Figure 5.15 Principal component#4 of normal batch.....	68
Figure 5.16 Hotelling statistical (T^2) chart of abnormal batch.....	68
Figure 5.17 Hotelling statistical (T^2) chart of normal batch.....	69
Figure 5.18 Residual analysis (Q-statistical) chart of abnormal batch.....	69
Figure 5.19 Residual analysis (Q-statistical) chart of normal batch.....	70
Figure 5.20 Etched depth uniformity trend chart.....	70