

การลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตกระดาษ



นาย วรพงศ์ นาวารกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

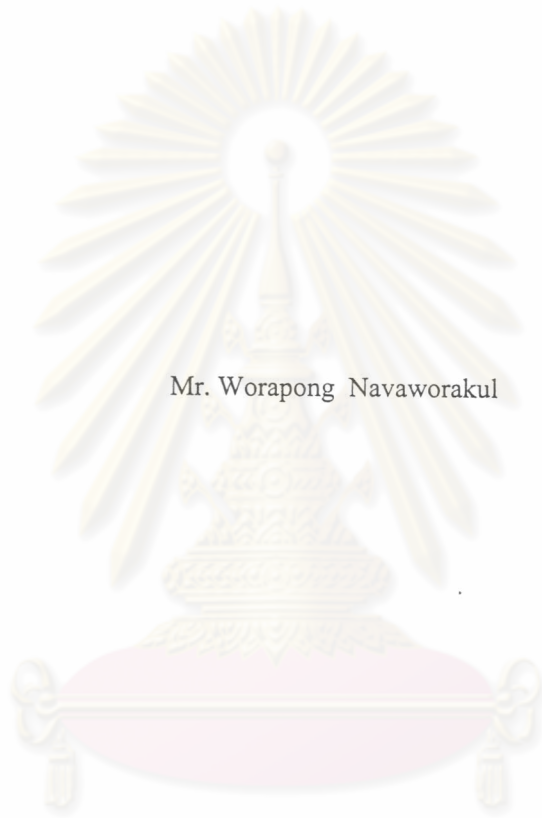
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-3801-3

ลิขสิทธิ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROCESS VARIATION REDUCTION OF PAPER MANUFACTURING PROCESS



Mr. Worapong Navaworakul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-3801-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตกระดาษ

โดย

นาย วรพงศ์ นาวารกุล


สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.นภัตสวงศ์ โอสถศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.นภัตสวงศ์ โอสถศิลป์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

วรพงศ์ นาวาวรกุล : การลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตกระดาษ (Process Variation Reduction of Paper Manufacturing Process) อ. ที่ปรึกษา : ดร. นภัตสวงค์ โอสถศิลป์. 146 หน้า. ISBN 974-17-3801-3

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานที่เป็นแบบคาบเวลาคงที่ (Periodic) และหาสาเหตุของความแปรปรวน พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไข และเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของน้ำหนักมาตรฐานและดัชนีสมรรถนะของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง

งานวิจัยนี้ได้เสนอการลดความแปรปรวนของน้ำหนักกระดาษเกรด 75 g/m² โดยก่อนการปรับปรุงความแปรปรวนรวมของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษคือ 1.98 g/m² และดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการคือ 0.71 โดยการวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย 2 ปัจจัย (Two Factor Analysis of Variance) ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่องและในแนวตามขวางเครื่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยผลของปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่องมีผลกระทบต่อน้ำหนักมาตรฐานมากกว่า และไม่พบหลักฐานที่แสดงว่ามีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยในแนวตามยาวเครื่องและแนวตามขวางเครื่อง

ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนในแนวตามยาวเครื่องอาจเกิดจาก Fan Pump แต่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง ขณะที่ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนในแนวตามขวางเครื่องเกิดจากปากสไลด์ด้านบน (Top slice) เสียรูป ปากสไลด์ด้านบน (Top slice) สกปรกมีเยื่อติดสะสม ตะแกรงอุดตัน การปรับตัวสกรูปรับปากสไลด์ (slice adjusting screw) ต่างกัน ตะแกรงเป็นลอน ลูกโรลแอปพลิเคชันที่ 1 (Applicator roll no.1) ผิวไม่เรียบ และความเร็วของรีคตีไฟเออร์โรล (Rectifier roll speed) ไม่เหมาะสม ซึ่งหลังจากการปรับปรุงแล้ว ทำให้ความแปรปรวนรวมของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษลดลงเหลือ 0.64 g/m² คิดเป็น 67.7% และดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการเพิ่มขึ้นเป็น 1.25 คิดเป็น 76.1% ซึ่งอยู่ในระดับที่น่าพอใจมาก

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อ _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4471472721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD : BASIS WEIGHT / VARIANCE / MD VARIATION / CD VARIATION / ANOVA

WORAPONG NAWAWORAKUL : PROCESS VARIATION REDUCTION IN PAPERMAKING

PROCESS. THESIS ADVISOR : DR. NAPASSAVONG OSOTHSILP , 146 PP. ISBN 974-17-

3801-3

The study was to decrease the basis weight variation which was periodic type, and to determine the causes of the basis weight variation and improve them. The standard deviation and the process capability were compared between before and after the improvement.

This study was directed to reduce basis weight variation of the 75-g/m² paper produced on a paper machine. Before the improvement, the variance of basis weight was 1.98 g/m² and the process capability was 0.71. Two-Factor Analysis of Variance Technique was used to analyze the cause of the basis weight variation. It was shown that the basis weight variation in machine direction (MD) and cross-machine direction (CD) was significantly different. Yet the variation in CD had more effect to the basis weight. In addition, the result showed that there was no interaction between the MD and CD factors.

The cause of the MD basis weight variation was from the pulsation of Fan pump. Due to the high cost, it was impossible to fix it presently. The causes of the CD basis weight variation were focused. They included deformation of top slice lip, pulp deposits on the top slice lip, inappropriate adjustment of the slice adjusting screw, plugged and rippled wire, irregular surface of Applicator roll no.1, and unsuitable rectifier roll speed. These factors were improved.

After the improvement, the variance of basis weight decreased to 0.64 g/m² or 67.7% and the process capability increased to 1.25 or 76.1%.

Department of Industrial Engineering

Field of study Industrial Engineering

Academic year 2003

Student's signature _____

Advisor's signature _____

Co-advisor's signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ. ดร. นภัตตวงษ์ โอสถลศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และกราบขอบพระคุณ รศ. ดำรง ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการ รศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา และ รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ กรรมการที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ สมชาติ รุ่งอินทร์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานจากศูนย์พัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยี และจากโรงงาน ที่ช่วยให้ข้อมูล และเสนอแนะข้อคิดเห็น

ท้ายนี้ หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจที่จะนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการผลิตกระดาษ	4
2.2 ความแปรปรวนในกระบวนการผลิตกระดาษ.....	6
2.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด	10
2.4 การแจกแจงปกติ (Normal Distribution).....	12
2.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	14
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance).....	18
2.6.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย 2 ปัจจัย (Two Factor ANOVA).....	19
2.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองสองปัจจัยแบบไม่มีอันตรกิริยา.....	21
2.7 ดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการ (Overall Process Capability, Pp).....	22
2.8 ผังแสดงเหตุและผล หรือผังก้างปลา (Cause and Effect Diagrams).....	23
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 การหาความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษก่อนการปรับปรุง.....	27
3.1.1 การชักตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน.....	27
3.1.2 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน.....	28

สารบัญ (ต่อ)

3.1.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R).....	31
3.1.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมและดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการ.....	31
3.2 การหาสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ.....	31
3.2.1 การหาสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่องและหรือด้านแนวตามยาวเครื่อง.....	31
3.2.2 การหาปัจจัยที่เป็นสาเหตุความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่องและแนวตามขวางเครื่อง.....	34
3.3 การลดความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษ.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลองก่อนการปรับปรุงและการวิเคราะห์สาเหตุ.....	36
4.1 ผลการตรวจวัดความดันของน้ำเยื่อก่อนเข้าตัวปล่อยเยื่อ (Headbox).....	36
4.2 การหาความถี่ในการชักตัวอย่างในแนวตามยาวเครื่อง (Machine Direction).....	37
4.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R).....	37
4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมและดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการก่อนการปรับปรุง..	39
4.5 การหาสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษก่อนการปรับปรุง.....	40
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลหลังการปรับปรุง.....	99
5.1 การแก้ไขสาเหตุของความแปรปรวนในแนวตามยาวเครื่อง.....	99
5.2 การแก้ไขสาเหตุของความแปรปรวนในแนวตามขวางเครื่อง.....	99
5.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์หลังการแก้ไข.....	102
5.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนรวมและดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการหลังการปรับปรุง.....	106
บทที่ 6 การควบคุมกระบวนการผลิต.....	107
บทที่ 7 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	109
7.1 สรุปผลงานวิจัย.....	109
7.2 ข้อจำกัดในงานวิจัย.....	111
7.3 ข้อเสนอแนะ.....	112
รายการเอกสารอ้างอิง.....	113
ภาคผนวก.....	115
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	146

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 ข้อมูลผลการวัดตามแนว MD และ CD	9
ตารางที่ 2-2 ตารางแสดงข้อมูล 2 ปัจจัย	19
ตารางที่ 2-3 สรุปรูปการวิเคราะห์ความแปรปรวน	20
ตารางที่ 2-4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลองสองปัจจัยที่มี 1 การสังเกตต่อเซลล์	22
ตารางที่ 2-5 Tukey's nonadditivity test	22
ตารางที่ 3-1 แสดงบันทึกน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษทั้ง 2 แนว	30
ตารางที่ 3-2 Tukey's nonadditivity test	32
ตารางที่ 3-3 Two Factor Analysis of Variance	33
ตารางที่ 4-1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดน้ำหนักมาตรฐาน	37
ตารางที่ 4-2 Tukey's nonadditivity test ก่อนการปรับปรุง	42
ตารางที่ 4-3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานก่อนการปรับปรุง	43
ตารางที่ 4-4 Tukey's nonadditivity test หลังลด random error	47
ตารางที่ 4-5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐาน	48
ตารางที่ 4-6 แสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล	51
ตารางที่ 4-7 สรุปรูปผลการตรวจสอบปัจจัยหลักที่อาจเป็นสาเหตุของความแปรปรวนในแนว ตามขวางเครื่อง	61
ตารางที่ 4-8 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก rectifier roll speed 10 rpm	64
ตารางที่ 4-9 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจาก rectifier roll speed 10 rpm	65
ตารางที่ 4-10 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก rectifier roll speed 11 rpm	67
ตารางที่ 4-11 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจาก rectifier roll speed 11 rpm	68
ตารางที่ 4-12 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก rectifier roll speed 12 rpm	71
ตารางที่ 4-13 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจาก rectifier roll speed 12 rpm	72
ตารางที่ 4-14 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก top slice เสียรูป	75
ตารางที่ 4-15 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจาก top slice เสียรูป	76
ตารางที่ 4-16 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก top slice สกปรกมีเชื้อสะสม	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 4-17 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจาก top slice สกปรกมีเชื้อสะสม.....	80
ตารางที่ 4-18 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตะแกรงอุดตัน.....	83
ตารางที่ 4-19 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากตะแกรงอุดตัน.....	84
ตารางที่ 4-20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการปรับ slice adjusting screw ที่ระดับ 0.150 mm.....	87
ตารางที่ 4-21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการปรับ slice adjusting screw ที่ระดับ 0.150 mm.....	88
ตารางที่ 4-22 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตะแกรงเป็นลอน.....	91
ตารางที่ 4-23 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากตะแกรงเป็นลอน.....	92
ตารางที่ 4-24 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากผิว Applicator roll no.1 มีรอยสีก.....	95
ตารางที่ 4-25 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากผิว Applicator roll no.1 มีรอยสีก.....	96
ตารางที่ 4-26 สรุปการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักมาตรฐาน.....	98
ตารางที่ 5-1 Tukey's nonadditivity test.....	104
ตารางที่ 5-2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐาน.....	105

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2-1 แสดงขั้นตอนการเตรียมเชื้อ (Stock Preparation)	4
รูปที่ 2-2 แสดงขั้นตอน Stock Approach	5
รูปที่ 2-3 แสดงขั้นตอนการผลิตกระดาษที่เครื่องผลิตกระดาษ.	6
รูปที่ 2-4 แสดงทิศทางของแนวกระดาษ.	6
รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะของ periodic variation.	7
รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะของ random variation.	7
รูปที่ 2-7 รูปร่างของเส้นโค้งปกติ (Normal Curve)	12
รูปที่ 2-8 แสดงความสัมพันธ์ของค่าความน่าจะเป็นของเส้นโค้งปกติที่มีค่า μ และ σ	13
รูปที่ 2-9 แสดงกราฟของส่วนตกค้างกับเวลาที่เก็บข้อมูล.	17
รูปที่ 2-10 แสดงกราฟของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกผิด.	18
รูปที่ 2-11 แสดงโครงสร้างฟังก้างปลา.	24
รูปที่ 3-1 แสดงตำแหน่งของ slice lip และ adjusting screw.	28
รูปที่ 3-2 แสดงทิศทางแนวตามยาวเครื่อง (MD) และแนวตามขวางเครื่อง (CD).	29
รูปที่ 3-3 แสดงการตัดตัวอย่างกระดาษ.	30
รูปที่ 3-4 แสดงตำแหน่งวัดความดันน้ำเยื่อก่อนเข้าตัวปล่อยเยื่อ.	35
รูปที่ 4-1 แสดงผลการวัดความดันของน้ำเยื่อก่อนเข้าตัวปล่อยเยื่อ (Headbox)	36
รูปที่ 4-2 แสดงกราฟผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ระบบการวัด (Gage R&R).	38
รูปที่ 4-3 แสดงการวิเคราะห์ดัชนีสมรรถนะของกระบวนการก่อนการปรับปรุง.	39
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงการกระจายของ Basis Weight ก่อนการปรับปรุง.	40
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับเวลาที่เก็บข้อมูล.	41
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงความเสถียรของความแปรปรวน.	42
รูปที่ 4-7 แสดงการวิเคราะห์ดัชนีสมรรถนะของกระบวนการก่อนการปรับปรุง.	44
รูปที่ 4-8 กราฟแสดงการกระจายของ Basis Weight ก่อนการปรับปรุง.	45
รูปที่ 4-9 กราฟแสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับเวลาที่เก็บข้อมูล.	46
รูปที่ 4-10 กราฟแสดงความเสถียรของความแปรปรวน.	47
รูปที่ 4-11 แผนผังฟังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐาน ในแนวตามขวางเครื่อง	50
รูปที่ 4-12 แผนผังพาเรโตได้แสดงปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐาน.	52

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4-13 แสดงการเปิดปาก Slice.....	54
รูปที่ 4-14 Top Slice สกปรกมีเชื้อสะสม.....	55
รูปที่ 4-15 แสดงการปรับ Top Slice Lip โดยการปรับ Adjusting Screw.....	56
รูปที่ 4-16 แสดงค่า Scale ของ Slice Adjusting Screw.....	56
รูปที่ 4-17 แสดงส่วนประกอบของตัวปล่อยเชื้อ (Headbox).....	57
รูปที่ 4-18 แสดงรูป Apron หรือ Bottom slice lip.....	58
รูปที่ 4-19 แสดงการปาดน้ำออกจากน้ำเชื้อของ Foil.....	59
รูปที่ 4-20 แสดงภาพ Applicator roll no.1&2 ของ size press.....	60
รูปที่ 4-21 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณตำแหน่งที่ 8.....	62
รูปที่ 4-22 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณตำแหน่งที่ 9.....	63
รูปที่ 4-23 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก rectifier roll speed 10 rpm.....	64
รูปที่ 4-24 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณตำแหน่งที่ 8.....	66
รูปที่ 4-25 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณตำแหน่งที่ 9.....	66
รูปที่ 4-26 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก rectifier roll speed 11 rpm.....	68
รูปที่ 4-27 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณตำแหน่งที่ 8.....	69
รูปที่ 4-28 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณตำแหน่งที่ 9.....	70
รูปที่ 4-29 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก rectifier roll speed 12 rpm.....	71
รูปที่ 4-30 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจาก top slice ตำแหน่งที่ 9 ซึ่งปกติ.....	73
รูปที่ 4-31 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจาก top slice ตำแหน่งที่ 10 ซึ่งเสียรูป.....	74
รูปที่ 4-32 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก top slice เสียรูป.....	75
รูปที่ 4-33 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจาก top slice ตำแหน่งที่ 9 ซึ่งปกติ.....	77
รูปที่ 4-34 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจาก top slice ตำแหน่งที่ 8 ซึ่งสกปรก.....	78

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 4-35 ผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจาก top slice สกรปรกมีเยื่อสะสม.....	79
รูปที่ 4-36 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากตะแกรง ตำแหน่งที่ 9 ซึ่งปกติ.....	81
รูปที่ 4-37 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากตะแกรง ตำแหน่งที่ 12 ซึ่งอุดตัน.....	82
รูปที่ 4-38 ผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตะแกรงอุดตัน.....	83
รูปที่ 4-39 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากการปรับ Adjusting slice screw ตำแหน่งที่ 9 ที่ระดับ 0 mm.....	85
รูปที่ 4-40 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากการปรับ Adjusting slice screw ตำแหน่งที่ 8 ที่ระดับ 0.150 mm.....	86
รูปที่ 4-41 ผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการปรับ slice adjusting screw ที่ระดับ 0.150 mm.....	87
รูปที่ 4-42 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณที่ตะแกรง ตำแหน่งที่ 6 ซึ่งปกติ.....	89
รูปที่ 4-43 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณที่ตะแกรง ตำแหน่งที่ 7 ซึ่งเป็นลอน.....	90
รูปที่ 4-44 ผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากตะแกรงเป็นลอน.....	91
รูปที่ 4-45 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณที่ผิว Applicator roll no.1 บริเวณตำแหน่งที่ 6 ซึ่งปกติ.....	93
รูปที่ 4-46 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าน้ำหนักมาตรฐานจากบริเวณที่ผิว Applicator roll no.1 บริเวณตำแหน่งที่ 4 ซึ่งผิวมีรอยลึก.....	94
รูปที่ 4-47 ผลการทดสอบความมึนยี่สำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากผิว Applicator roll no.1 มีรอยลึก.....	95
รูปที่ 5-1 กราฟแสดงการกระจายของ Basis Weight หลังการปรับปรุง.....	102
รูปที่ 5-2 กราฟแสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับเวลาที่เก็บข้อมูล.....	103
รูปที่ 5-3 กราฟแสดงความเสถียรของความแปรปรวน.....	104
รูปที่ 5-4 แสดงการวิเคราะห์หาค่าดัชนีสมรรถนะของกระบวนการหลังปรับปรุง.....	106