

การลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษที่ชุบประเภทกระดาษชำระม้วนใหญ่



นายศิริเวทย์ อัสวไชยวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

VARIATION REDUCTION OF JUMBO ROLL TISSUE PROPERTIES

Mr. Siraveht Asavachaivong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชู
ประเภทกระดาษชำระม้วนใหญ่

โดย

นายศิรเวทย์ อัสวไชยวงศ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โจรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดร.อังศุมาลิน แสนจันทร์ดีไชย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โจรจนโรวรรณ)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิสาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

ศิริเวทย์ อัสวไชยวงศ์ : การลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชูประเภทกระดาษชำระม้วนใหญ่. (VARIATION REDUCTION OF JUMBO ROLL TISSUE PROPERTIES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.นภัสสวงศ์ โจรจนโรวรรณ, 4 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดความแปรปรวนของคุณสมบัติ 4 เรื่องของกระดาษทิชชูประเภทกระดาษชำระม้วนใหญ่ได้แก่ คุณสมบัติต้านทานต่อแรงดึงในทิศทางขนาน เครื่องจักร (MDT), ความต้านทานต่อแรงดึงในทิศทางขวางเครื่องจักร (CDT), ความเหนียว (MDS) และความหนา (Bulk) งานวิจัยนี้ได้ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมาในการระบุปัญหา การวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนรวมไปถึงแนวทางการแก้ไข ซึ่งพบว่าสามารถลดความแปรปรวนของคุณสมบัติทั้งสี่ได้โดยการปรับปรุงเครื่องจักร การจัดทำมาตรฐานในการทำงาน นอกจากนั้น ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design ในการศึกษาผลกระทบของปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย ได้แก่ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งที่มีต่อค่า TI ของคุณสมบัติทั้งสี่ และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยในการหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรนำเข้ากับค่า TI ของคุณสมบัติแต่ละตัวก่อนที่จะผ่านขั้นตอนการหาค่าของตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Desirability function ซึ่งผลจากการปรับปรุงพบว่าค่า TI ของคุณสมบัติ MDT ปรับปรุงจาก 0.08 เป็น 0.04 คุณสมบัตินี้ MDS ปรับปรุงจาก 0.40 เป็น 0.02 คุณสมบัติ Bulk ปรับปรุงจาก 0.59 เป็น 0.23 ส่วนคุณสมบัตินี้ CDT มีค่า TI ภายหลังจากปรับปรุงสูงขึ้นจาก 0.13 เป็น 0.15 เมื่อพิจารณาเทียบกับขอบเขตที่กำหนด ($TI < 0.15$) พบว่าคุณสมบัติ Bulk ยังมีค่าไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด เนื่องมาจากการเปลี่ยนของเครื่องจักรภายในกระบวนการผลิต ขณะที่ค่า CI ของทุกคุณสมบัตินี้ อยู่ภายในขอบเขตที่ควบคุมทั้งหมด ($CI < 0.85$) โดย MDT มีค่าปรับปรุงจาก 1.27 เป็น 0.56 คุณสมบัตินี้ CDT ปรับปรุงจาก 1.17 เป็น 0.32 คุณสมบัตินี้ MDS เปลี่ยนแปลงจาก 0.92 เป็น 0.73 และคุณสมบัตินี้ Bulk ดีขึ้นจาก 0.90 เป็น 0.68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5471012021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: TENSILE STRENGTH / STRETCH / BULK / JUMBO ROLL TISSUE /
VARIATION REDUCTION / EXPERIMENTAL DESIGN

SIRAVEHT ASAVACHAIVONG: VARIATION REDUCTION OF JUMBO ROLL
TISSUE PROPERTIES. ADVISOR: ASST. PROF. NAPASSAVONG ROJANAROWAN,
Ph.D., 4 pp.

The purpose of this study is to reduce the variation of four characteristics of Jumbo roll tissue, which are the machine direction tensile strength (MDT), the cross machine direction tensile strength (CDT), the stretch (MDS) and the bulk. The Six-Sigma approach was applied to define the problem, analyze for the causes and determine the improvement methods. It was found that the variation could be reduced by improving the machine capability and revise the work instruction. In addition, this research used the Central Composite Design method to generate the experimental runs to study the effects of two factors, which were the refiner load and the dry strength chemical addition rate. Then, the Stepwise regression was utilized to determine the relationship equation between the significant terms and the responses. The Desirability function was then used to find the optimal setting. The improvement results showed that the Target index (TI) of the MDT was reduced from 0.08 to 0.04, the TI of MDS was improved from 0.40 to 0.02. The TI of Bulk was decreased from 0.59 to 0.23 while the TI of CDT increased from 0.13 to 0.15. Based on the controlled target (TI < 0.15), the TI of the Bulk was still over the target. Regarding the Capability index (CI), after improvement, all characteristics had the CI in the controlled target (CI < 0.85). The CI of MDT was reduced from 1.27 to 0.56. The CI of CDT was reduced from 1.17 to 0.32. The CI of MDS was improved from 0.92 to 0.73 and The CI of the Bulk was improved from 0.90 to 0.68.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จได้โดยความช่วยเหลือทั้งในด้านการให้คำแนะนำในการทำวิจัย การแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดจนการเสียสละเวลาในการตรวจสอบรายละเอียดความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โจนโรวรรณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำโดยดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉิมไชย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิสาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำรวมทั้งตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาสำหรับความกรุณาในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งขอขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับความร่วมมือในการระดมสมองและการทดลองต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา	2
1.2.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท	2
1.2.2 ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา	2
1.3 สภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหาในปัจจุบัน	4
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	14
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	14
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	14
1.7 ผลที่ได้รับ	15
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ	15
บทที่ 2	16
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับ ชิکش ชิคม่า	16
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติ	21
บทที่ 3	24
3.1 การศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis, MSA).....	24
3.2 การศึกษาความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll A 1ply.....	25
3.3 การวิเคราะห์สาเหตุความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll A 1ply	25
บทที่ 4	32
4.1 แนวทางการปรับปรุงที่สามารถดำเนินการได้เลยและได้ผลทันที.....	32

4.1.1 แนวทางการปรับปรุงด้านเอกสาร	32
4.1.2 แนวทางการปรับปรุงที่เครื่องจักรหรือเครื่องมือ	35
4.2 แนวทางการปรับปรุงที่ต้องมีการวางแผนกำหนดแนวทางอย่างเป็นระบบ (Design of Experiment, D.O.E.).....	38
บทที่ 5	61
5.1 การติดตามการปรับปรุงโดยการจัดทำแผนการควบคุม (Control plan) ทั้งในรูปแบบของมาตรฐานการทำงาน (WI) และแผนการตรวจสอบค่าของแต่ละปัจจัยนำเข้า (Log sheet).....	61
5.2 การติดตามค่าของคุณสมบัติแต่ละคุณสมบัติที่ทำการศึกษา หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยตั้งค่าในส่วนของ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (Refiner load) และปริมาณการใช้เคมี Dry strength.....	64
บทที่ 6	68
6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย.....	68
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ	69
6.3 อุปสรรคในการทำงานวิจัย.....	69
6.4 ข้อจำกัดในงานทำงานวิจัย.....	69
6.5 ข้อเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง	70
ภาคผนวก ก.....	73
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง.....	83
ภาคผนวก จ.....	85
ภาคผนวก ฉ.....	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	90

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1. 1 ปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม 2554 – เดือนมิถุนายน 2555 โดยแยกตาม เกรดกระดาษ	4
ตารางที่ 2. 1 สมรรถนะที่ระดับค่าซิกม่าต่างๆ.....	17
ตารางที่ 2. 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในแต่ละขั้นตอนการผลิตกับคุณสมบัติของกระดาษทิชชู..	23
ตารางที่ 3. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ ผลกระทบต่อแต่ละปัญหาของแต่ละคุณสมบัติและแนว ทางการแก้ไข.....	28
ตารางที่ 4. 1 ความแปรปรวน (CI) ของแต่ละคุณสมบัติที่ทำการศึกษาที่ระยะเวลาการใช้ Creping blade แตกต่างกัน	37
ตารางที่ 4. 2 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธี Central composite design สำหรับ 2 ปัจจัย นำเข้า.....	39
ตารางที่ 4. 3 ลำดับและรายละเอียดการทดลอง	40
ตารางที่ 4. 4 ผลการทดลองโดยวิธีการ Central Composite Design (CCD).....	41
ตารางที่ 4. 5 ค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการ Central Composite Design (CCD).....	42
ตารางที่ 4. 6 พจน์ที่มีผลต่อแต่ละตัวแปรตอบสนอง	51
ตารางที่ 4. 7 ค่าการเปรียบเทียบ TI ของแต่ละคุณสมบัติก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงทั้ง 3 วิธี.....	59
ตารางที่ 5. 1 แผน Control plan สำหรับกิจกรรมที่ได้ทำการปรับปรุงในบทที่ 4	62
ตารางที่ 5. 2 การเปรียบเทียบค่า TI ก่อนและหลังการปรับปรุงของแต่ละคุณสมบัติ	66
ตารางที่ 5. 3 การเปรียบเทียบค่า CI ก่อนและหลังการปรับปรุงของแต่ละคุณสมบัติ	66

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. 1 กระบวนการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์.....	3
รูปที่ 1. 2 กราฟพาเรโตแสดงปริมาณการผลิตรวมแต่ละเกรดกระดาษตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555.....	4
รูปที่ 1. 3 กราฟค่า TI, CI รวมของทุกเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555.....	6
รูปที่ 1. 4 กราฟค่า TI, CI รวมที่อยู่ในช่วงควบคุมของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 (เกรด Jumbo roll 1 ply, Towel 2 ply, Napkin tissue และ Bath tissue B 1 ply).....	7
รูปที่ 1. 5 กราฟค่า TI, CI รวมที่อยู่ในช่วงควบคุมของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 (เกรด Facial tissue, Jumbo roll 2 ply, Bath tissue A 1 ply, Towel 1 ply และ Bath tissue 2 ply).....	8
รูปที่ 1. 6 กราฟค่า TI, CI ของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 โดยแยกตามคุณสมบัติที่ควบคุม (เกรด Jumbo roll 1 ply, Towel 2 ply และ Napkin Tissue)...	9
รูปที่ 1. 7 กราฟค่า TI, CI ของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 โดยแยกตามคุณสมบัติที่ควบคุม (เกรด Bath tissue B 1 ply, เกรด Facial tissue และ Jumbo roll 2 ply).....	10
รูปที่ 1. 8 กราฟค่า TI, CI ของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 โดยแยกตามคุณสมบัติที่ควบคุม (เกรด Bath tissue A 1 ply, Towel 1 ply และ Bath tissue 2 ply).....	11
รูปที่ 2. 1 ส่วนประกอบของวิธี Central Composite Design (CCD) สำหรับปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย (k=2).....	18
รูปที่ 3. 1 ข้อมูลการวัดคุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk ในช่วงเดือนเมษายน ถึง กรกฎาคม 2556.....	25
รูปที่ 3. 2 ผังก้างปลาการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณสมบัติ MDT และ CDT มีความแปรปรวนสูง.....	26
รูปที่ 3. 3 ผังก้างปลาการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณสมบัติ MDS และ Bulk มีความแปรปรวนสูง.....	27
รูปที่ 3. 4 ผังก้างปลาการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณสมบัติ Bulk มีความต่ำกว่าค่าเป้าหมาย....	27
รูปที่ 4. 1 วิธีการพับกระดาษสำหรับเตรียมตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ.....	33
รูปที่ 4. 2 บอร์ดวันที่ทำการเปลี่ยนหัว Nozzle ของระบบทำความสะอาด Felt และ Wire	35

รูปที่ 4. 3 มุมระหว่าง Creping blade กับ Yankee dryer	36
รูปที่ 4. 4 อุปกรณ์ Angle gauge	36
รูปที่ 4. 5 อุปกรณ์ Static mixer ติดตั้งที่ระบบเคมี Coating	38
รูปที่ 4. 6 อุปกรณ์ Reverse osmosis สำหรับผลิตน้ำ R.O. ใช้ในระบบเคมี Coating.....	38
รูปที่ 4. 7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT	43
รูปที่ 4. 8 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT	44
รูปที่ 4. 9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ CDT.....	45
รูปที่ 4. 10 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัติ CDT.....	46
รูปที่ 4. 11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDS	47
รูปที่ 4. 12 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDS.....	48
รูปที่ 4. 13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk.....	49
รูปที่ 4. 14 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk	50
รูปที่ 4. 15 กราฟ Residual plot ของตัวแปรตอบสนอง TI ของคุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk.....	51
รูปที่ 4. 16 กราฟ Contour plot ของค่า TI ของแต่ละตัวแปรตอบสนอง (MDT, CDT, MDS และ Bulk) ในช่วงต่างๆ (Coded) ของตัวแปรนำเข้า (พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (x1) และ ปริมาณการใช้เคมี Dry strength (x2))	52
รูปที่ 4. 17 กราฟผลการทำ Optimization ด้วยวิธี Desirability function โดยกำหนดค่า weight และ importance เท่ากับ 10	54
รูปที่ 4. 18 การเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติเมื่อทำการปรับค่า importance ครั้งละ 1 ตัวแปร.....	55
รูปที่ 4. 19 การเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติเมื่อทำการปรับค่า importance ครั้งละ 2 ตัวแปร.....	56
รูปที่ 4. 20 การเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติเมื่อทำการปรับค่า importance ครั้งละ 3 ตัวแปร.....	56
รูปที่ 4. 21 ผลการทำ Optimization ด้วยวิธี Desirability function โดยการเปลี่ยนวิธีคิดของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT เป็น Smaller better	58
รูปที่ 4. 22 ผลการทำ Optimization ด้วยวิธี Desirability function โดยการเปลี่ยนวิธีคิดของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk เป็น Smaller better	58
รูปที่ 4. 23 ค่าตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทำ Optimization โดยการกำหนดวิธีทำ Optimization ของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk เป็น Smaller better	60

รูปที่ 5. 1 ผลเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังการปรับปรุงของแต่ละคุณสมบัติ..... 65



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

กระดาษทิชชูได้กลายเป็นสินค้าที่มีความจำเป็นในช่วงเวลาที่ผู้บริโภคให้ความสนใจกับสุขภาพและความงาม ส่งผลให้การขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตกระดาษทิชชูในปัจจุบันเพิ่มขึ้นอย่างมากภายในประเทศ และยังคงส่งผลให้เกิดผู้ผลิตรายใหม่เพิ่มมากขึ้นและการแข่งขันสูงขึ้นตามมาเช่นกัน โดยบริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ผลิตกระดาษทิชชูหลายประเภท ทั้งกระดาษทิชชูแบบม้วน กระดาษทิชชูเช็ดหน้าแบบแผ่น กระดาษทิชชูเช็ดปากแบบแผ่น กระดาษทิชชูสำหรับเช็ดทำความสะอาดเอนกประสงค์แบบม้วนและแบบแผ่น และในแต่ละประเภทของกระดาษทิชชูที่ผลิตก็ยังคงประกอบไปด้วยหลายผลิตภัณฑ์ ทำให้เสี่ยงไม่ได้ที่จะพบความแปรปรวนของคุณภาพในกระบวนการผลิตอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ซึ่งปัญหาความแปรปรวนนี้จำเป็นที่จะต้องได้รับการแก้ไขอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพก่อนที่ปัญหาจะส่งผลกระทบต่อความรู้สึกของลูกค้า

ผู้ทำการศึกษาสนใจที่จะศึกษาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์เพื่อลดความแปรปรวนของคุณภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมกระดาษไปจนถึงขั้นตอนการอบแห้งและการเข้าม้วน ก่อนที่จะถูกส่งไปเพื่อทำการแปรรูปต่อไป เนื่องจากลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ที่ทำการผลิตมีจำนวนคุณสมบัติที่ต้องทำการตรวจสอบมาก ทำให้มีโอกาสสูงเช่นกันที่จะเกิดความแปรปรวนในหลายๆคุณสมบัติพร้อมกัน ดังนั้นในการศึกษาเพื่อลดความแปรปรวนของคุณภาพของกระดาษทิชชูจึงจำเป็นที่จะต้องใช้หลักการ เทคนิคด้านวิศวกรรมและแนวคิดอย่างเป็นระบบเข้ามาใช้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ถึงสาเหตุและแนวทางในการแก้ไข

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตกระดาษทิชชูในส่วนของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์มีการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งคุณสมบัติที่ควบคุมทางคุณภาพออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ คุณสมบัติเชิงปริมาณ (Quantitative variable) เช่น ความแข็งแรงของกระดาษ (Strength) ความเหนียว (Stretch) และ คุณสมบัติเชิงคุณภาพ (Attribute variable) เช่น กระดาษเป็นรู กระดาษพับเป็นจีบ กระดาษยับเป็นเกลียว เป็นต้น คุณสมบัติเชิงปริมาณสามารถตรวจวัดได้โดยการใช้เครื่องมือวัดต่างๆ เช่น เครื่องวัด Tensile Strength เป็นต้น และทำการแสดงผลการวัดเป็นตัวเลข และเมื่อนำค่าที่ทำการทดสอบได้มาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย (Target) และค่าขอบเขตที่กำหนด (Control limit) จะทำให้สามารถทราบถึงความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชู

ปัจจุบันพบว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระดาษฮาร์ดโรลล์ (Tissue manufacturing process) มีค่าสูง ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่คุณสมบัติของกระดาษมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมายที่กำหนด หรือเกิดจากคุณสมบัติของกระดาษมีความแปรปรวนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับขอบเขตการควบคุม หรือทั้งสองสาเหตุพร้อมกัน โดยความแปรปรวนที่เกิดขึ้นส่งผลมาจากหลายปัจจัยเช่น ลักษณะของเยื่อกระดาษที่แตกต่างกันจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของกระดาษทิชชูที่แตกต่างกัน การปรับตั้งค่าปัจจัยในการผลิต และปัจจัยหนึ่งอาจมีผลต่อคุณสมบัติของกระดาษทิชชูมากกว่าหนึ่งคุณสมบัติ เช่น การเพิ่มโหลดของเครื่องจักร Refiner จะส่งผลกระทบต่อทั้งค่าความแข็งแรงของกระดาษทั้งในทิศทางเครื่องจักร และทิศทางตั้งฉาก ความเร็วในขั้นตอนการ Rewinding ส่งผลกระทบต่อความเหนียวและความหนาของกระดาษทิชชูให้เปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันแต่จะส่งผลต่อน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษในทิศทางตรงข้าม เป็นต้น ผลกระทบซึ่งมีผลจากหลายปัจจัยรวมทั้งการส่งผลกระทบต่อหลายคุณสมบัติในทิศทางที่แตกต่างกัน

ส่งผลให้การแก้ไขและควบคุมความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทำได้ยาก ทำให้คุณสมบัติของกระดาษทิชชูที่ผลิตออกมามีค่าไม่คงที่หากสามารถควบคุมความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์โดยพิจารณาวิธีการกำหนดค่าปัจจัยต่างๆและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับหลายๆคุณสมบัติไปพร้อมกันก็จะทำให้สามารถผลิตกระดาษทิชชูที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้าได้

1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกระดาษทิชชู

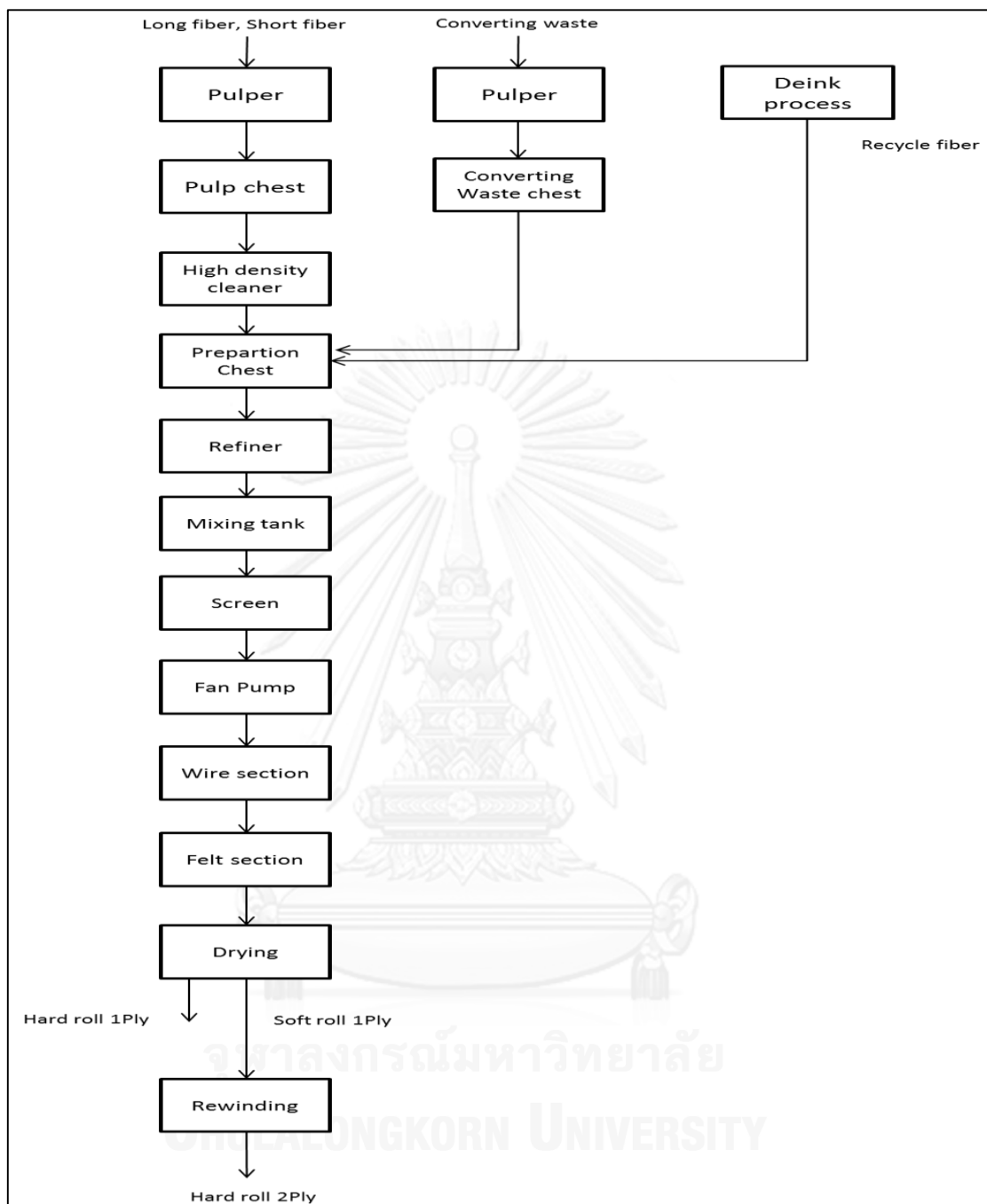
1.2.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัท

บริษัทกระดาษทิชชูเป็นบริษัทผลิตกระดาษทิชชูทั้งกระดาษทิชชูชำระแบบม้วน กระดาษทิชชูเช็ดหน้าแบบแผ่น กระดาษทิชชูเช็ดปากแบบแผ่น กระดาษทิชชูสำหรับเช็ดทำความสะอาดเอนกประสงค์ทั้งแบบม้วนและแบบแผ่น ซึ่งแต่ละประเภทจะมีหลายเกรดของสินค้า ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนผสมของเยื่อกระดาษบริสุทธิ์และเยื่อกระดาษรีไซเคิลในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน บริษัทกระดาษทิชชูเริ่มก่อตั้งในประเทศปี 2509 และในปัจจุบันมีพนักงานประมาณ 1,200 คน

1.2.2 ผลกระทบและกระบวนการผลิตของบริษัทกระดาษทิชชู

ผลกระทบของบริษัทกระดาษทิชชูซึ่งมีหลากหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน โดยแต่ละประเภทของการใช้งานจะต้องการคุณสมบัติของกระดาษทิชชูที่แตกต่างกันออกไป เช่น กระดาษชำระจะต้องการการซึมซับที่ดี นุ่มแต่สลายตัวเมื่อเปียกน้ำได้ดีเพื่อป้องกันปัญหาการอุดตัน กระดาษเช็ดปากต้องมีคุณสมบัติในด้านความแข็งแรงเมื่อเปียกน้ำเพื่อไม่ให้กระดาษทิชชูยุ่ยติดใบหน้า โดยคุณสมบัติของกระดาษแต่ละประเภทแต่ละคุณสมบัติจะถูกผลิตและปรับให้ได้ตามข้อกำหนดตั้งแต่กระบวนการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ ดังนั้นลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ที่ผลิตจึงมีหลายเกรดสอดคล้องกับประเภทของผลิตภัณฑ์

ในการศึกษานี้จะศึกษาเพื่อหาแนวทางในการลดความแปรปรวนในการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ เท่านั้น ไม่ทำการศึกษาผลที่เกิดจากกระบวนการแปรรูปกระดาษ โดยสมมติให้ผลจากกระบวนการแปรรูปกระดาษมีผลต่อคุณสมบัติของกระดาษทิชชูน้อยมาก เนื่องจากกระบวนการแปรรูปกระดาษจะเป็นการตัดกระดาษ การประกบคู่ของกระดาษรวมทั้งการพับการเข้าม้วน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของกระดาษทิชชูน้อยมาก รวมทั้งทางบริษัทมีการกำหนดข้อกำหนดทางคุณภาพของกระดาษทิชชูแยกระหว่างลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์จากกระบวนการผลิตกระดาษ และข้อกำหนดของกระดาษทิชชูสำเร็จรูปจากกระบวนการแปรรูป คุณสมบัติต่างๆระหว่างสองข้อกำหนดนี้จะมีการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากแต่ละกระบวนการรวมเอาไว้ ดังนั้นหากสามารถควบคุมความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ซึ่งมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติต่างๆของกระดาษทิชชูได้ก็จะสามารถควบคุมความแปรปรวนในกระดาษทิชชูให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าได้ ซึ่งกระบวนการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ของกระดาษทิชชูทุกเกรดจะสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 1. 1 กระบวนการผลิตลูกกระดาษอาร์ตโรลล์

เริ่มต้นพนักงานจะทำการตีเยื่อกระดาษแต่ละประเภท (เยื่อบริสุทธิ์, เยื่อกระดาษรีไซเคิล) และทำการผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดในแต่ละเกรดสินค้าแล้วจึงผ่านเข้าสู่กระบวนการต่างๆ ทั้งการกรองเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อน การบดเยื่อเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ก่อนที่จะถูกส่งเข้าเครื่องผลิตกระดาษทิชชูเพื่อรีดน้ำออกจากกระดาษ ทำการขึ้นรูปก่อนจะผ่านการอบแห้ง และทำการเข้าม้วนเพื่อให้ได้ลูกกระดาษอาร์ตโรลล์ โดยจะมีการเติมสารเคมีเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของกระดาษทิชชูในบางขั้นตอนการผลิตให้เป็นไปตามข้อกำหนด โดยกระดาษทิชชูแต่ละเกรดจะมีการเติมสารเคมีต่างประเภทในปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของกระดาษทิชชูที่ต้องการ

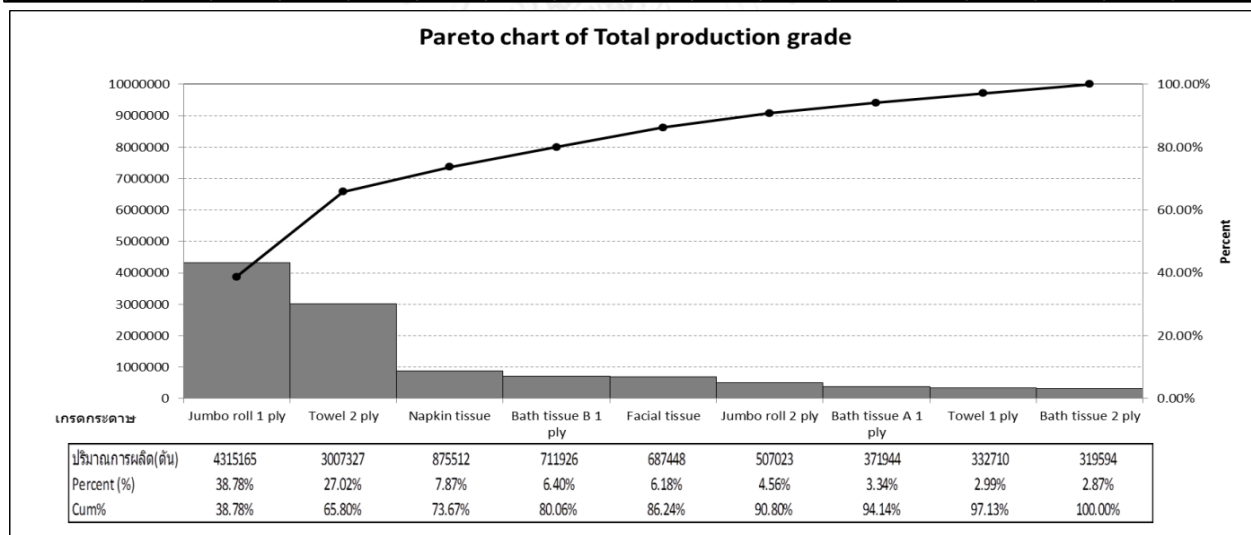
1.3 สภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหาในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลคุณสมบัติต่างๆในกระดาษทิชชูเกรดต่างๆตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือน มิถุนายน 2555 แสดงให้เห็นว่าทางบริษัทกำลังประสบปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมานั้นคุณสมบัติมีค่าไม่ได้ตามเป้าหมาย และมีความแปรปรวน ซึ่งพบปัญหาดังกล่าวนี้ในทุกเกรดของกระดาษที่ผลิต ดังจะแสดงต่อไป

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลปริมาณการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์เกรดต่างๆตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 และสามารถนำปริมาณการผลิตมาวิเคราะห์ด้วยกราฟพาเรโตดังรูปที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคม 2554 – เดือนมิถุนายน 2555 โดยแยกตามเกรดกระดาษ

เกรดกระดาษ	มกราคม 2554	กุมภาพันธ์ 2554	มีนาคม 2554	เมษายน 2554	พฤษภาคม 2554	มิถุนายน 2554	กรกฎาคม 2554	สิงหาคม 2554	กันยายน 2554	มกราคม 2555	กุมภาพันธ์ 2555	มีนาคม 2555	เมษายน 2555	พฤษภาคม 2555	มิถุนายน 2555	รวม
Towel 1 ply	24,425	16,384	28,922	11,435	15,303	50,198	33,850	38,730	-	-	48,159	12,029	26,221	27,054	-	332,710
Towel 2 ply	224,573	159,642	210,217	218,941	179,524	234,808	240,304	137,976	324,384	108,781	178,374	301,628	81,196	211,231	195,748	3,007,327
Jumbo roll 1 ply	265,113	444,621	225,235	364,003	437,520	238,244	253,708	408,764	345,659	19,170	212,337	398,927	249,993	213,537	238,334	4,315,165
Jumbo roll 2 ply	77,291	-	20,916	29,976	-	-	68,062	57,196	142,182	-	-	67,159	44,241	-	-	507,023
Bath tissue A 1 ply	-	4,299	33,206	22,863	31,140	44,809	44,832	22,150	32,483	-	37,533	24,377	-	35,487	38,765	371,944
Bath tissue B 1 ply	76,639	103,287	5,305	40,885	48,324	-	-	-	42,421	-	99,219	116,170	58,126	23,544	98,006	711,926
Bath tissue 2 ply	-	12,052	23,118	21,301	32,665	36,527	46,834	36,908	28,024	-	-	37,768	-	9,581	34,816	319,594
Napkin tissue	81,656	31,760	73,045	79,167	56,227	74,204	62,487	33,171	58,101	51,865	59,858	1,381	66,082	85,365	61,143	875,512
Facial tissue	37,961	71,603	103,908	46,338	53,707	82,371	63,165	86,818	65,575	-	22,480	16,687	-	36,835	-	687,448
ปริมาณการผลิตรวม	787,658	843,648	723,872	834,909	854,410	761,161	813,242	821,713	896,647	321,998	657,960	908,967	548,777	686,875	666,812	11,128,649



รูปที่ 1.2 กราฟพาเรโตแสดงปริมาณการผลิตรวมแต่ละเกรดกระดาษตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นว่า ลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo roll 1 ply มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดตามด้วยเกรด Towel 2 ply และ Napkin tissue

ในการควบคุมความแปรปรวนของคุณสมบัติในลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ ทางบริษัทกรณีศึกษามีเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบความแปรปรวนที่เกิดขึ้น โดยคำนวณและแสดงผลผ่านดัชนี 2 ค่าคือ Target Index (TI) ซึ่งแสดง

ให้เห็นว่าคุณสมบัติของกระดาษที่ชั่งแต่ละคุณสมบัติมีการเบี่ยงเบนเป็นอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่กำหนด (Target) และค่า Capability Index (CI) ที่แสดงความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษที่ชั่งโดยเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตที่กำหนด (Control limit) โดยการคำนวณค่า TI และ CI สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$TI_{i,y} = \frac{|\mu_{i,y} - T_{i,y}|}{\frac{1}{2}(U_{i,y} - L_{i,y})} \quad (1-1)$$

และ

$$CI_{i,y} = \frac{6\sigma_{i,y}}{U_{i,y} - L_{i,y}} \quad (1-2)$$

โดย

i คือ คุณสมบัตินี้ที่ควบคุมความแปรปรวน (TI, CI) มีค่าตั้งแต่ 1, 2, ..., 8

y คือ เกรดกระดาษที่นำมาพิจารณาค่า TI และ/หรือ CI มีค่าตั้งแต่ 1, 2, ..., n

$\mu_{i,y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลของคุณสมบัติ i ของเกรด y

$\sigma_{i,y}$ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลของคุณสมบัติ i ของเกรด y

$T_{i,y}$ คือ ค่าเป้าหมายของคุณสมบัติ i ของเกรด y ตามข้อกำหนด (Target)

$U_{i,y}$ คือ ค่าขอบเขตมากที่สุดที่ควบคุมของคุณสมบัติ i ของเกรด y ตามข้อกำหนด (Upper limit)

$L_{i,y}$ คือ ค่าขอบเขตต่ำสุดที่ควบคุมของคุณสมบัติ i ของเกรด y ตามข้อกำหนด (Lower limit)

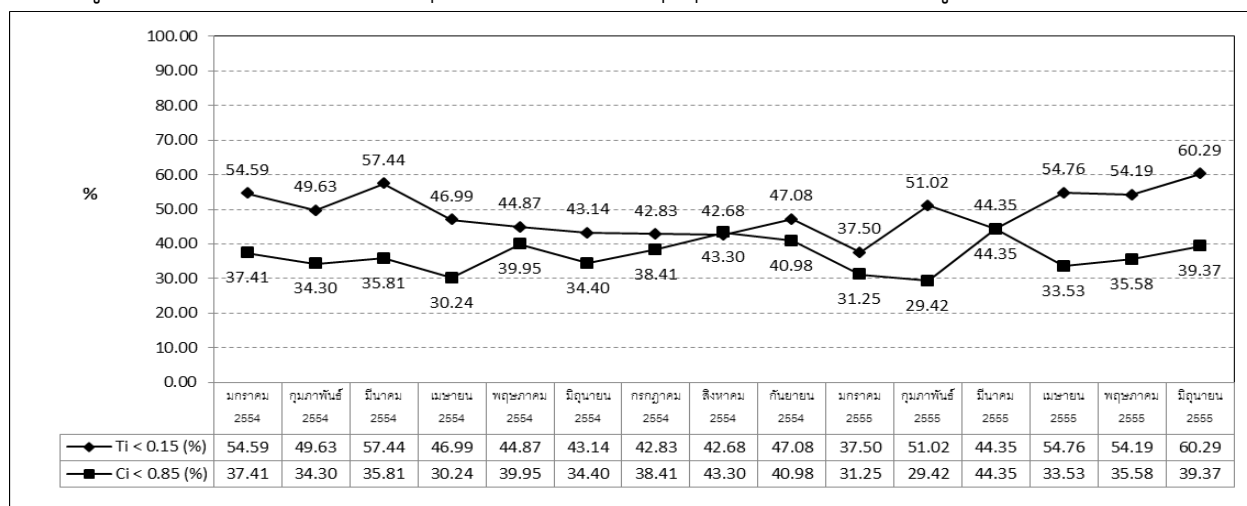
ซึ่งทางโรงงานกรณีศึกษาต้องการควบคุมจำนวนของคุณสมบัติต่างๆไม่น้อยกว่า 51% ของคุณสมบัติทั้งหมดที่ทำการตรวจสอบจากกระดาษที่ชั่งทุกเกรดที่ทำการผลิต ให้มีค่า TI หรือค่าเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายอยู่ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.15 ($TI \leq 0.15$) และต้องการให้จำนวนคุณสมบัติต่างๆของกระดาษที่ชั่งไม่น้อยกว่า 64% ของคุณสมบัติทั้งหมดที่ทำการตรวจสอบจากกระดาษที่ชั่งทุกเกรดที่ทำการผลิต ให้มีค่า CI หรือความแปรปรวนเมื่อเทียบกับขอบเขตของข้อกำหนดอยู่ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.85 ($CI \leq 0.85$)

โดยการควบคุมความแปรปรวน (TI, CI) ของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ จะทำการควบคุมที่คุณสมบัติ 8 ค่า ได้แก่

1. น้ำหนักมาตรฐานของลูกกระดาษซอฟท์โรลล์ (Softroll basis weight) คือ การวัดน้ำหนักต่อพื้นที่ของตัวอย่างกระดาษจากลูกกระดาษซอฟท์โรลล์ (กรัมต่อตารางเมตร)
2. น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษฮาร์ดโรลล์ (Hardroll basis weight) คือ การวัดน้ำหนักต่อพื้นที่ของตัวอย่างกระดาษจากลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ (กรัมต่อตารางเมตร)
3. ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขนานเครื่องจักร (Machine direction tensile strength, MDT)
4. ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขวางเครื่องจักร (Cross machine direction tensile strength, CDT)
5. ความเหนียวของกระดาษ (Machine direction stretch, MDS)
6. ความหนาของกระดาษ (Bulk)

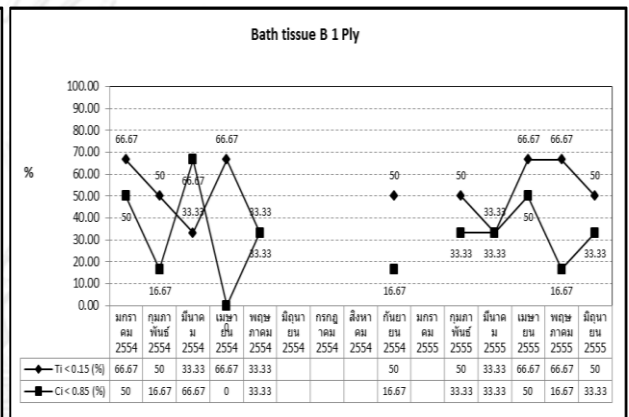
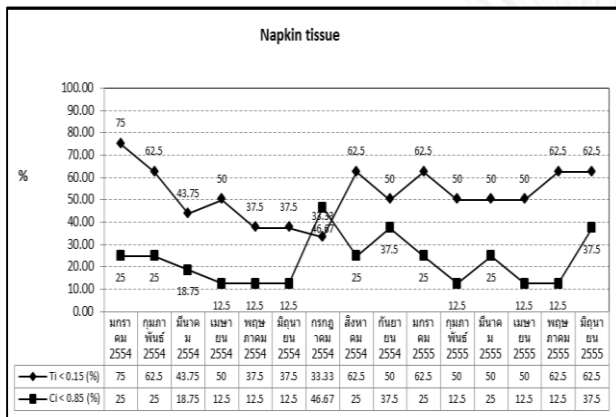
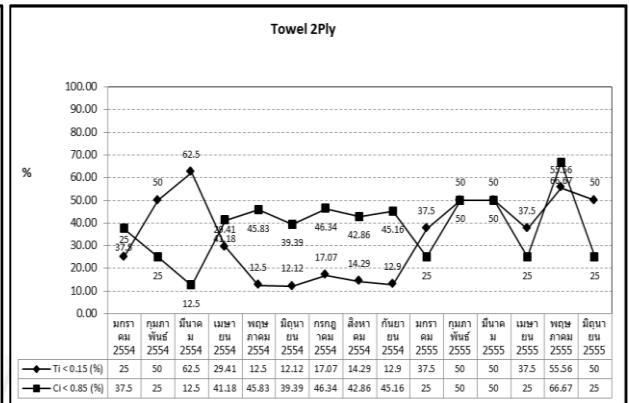
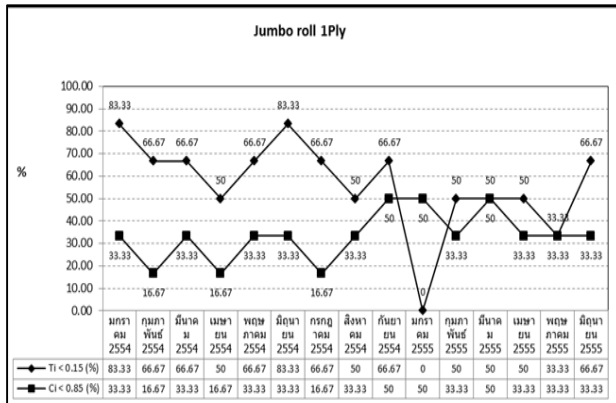
7. ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขวางเครื่องจักรขณะเปียก (Cross direction wet-strength, CD Wet)
8. ความสว่างของกระดาษ (Brightness, Br)

โดยปกติการควบคุมความแปรปรวน (TI, CI) ของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์จะมีการติดตามและรายงานทุกเดือนในรูปของค่า TI และ CI รวมของทุกเกรดกระดาษและทุกคุณสมบัติซึ่งแสดงได้ในรูปที่ 1.3



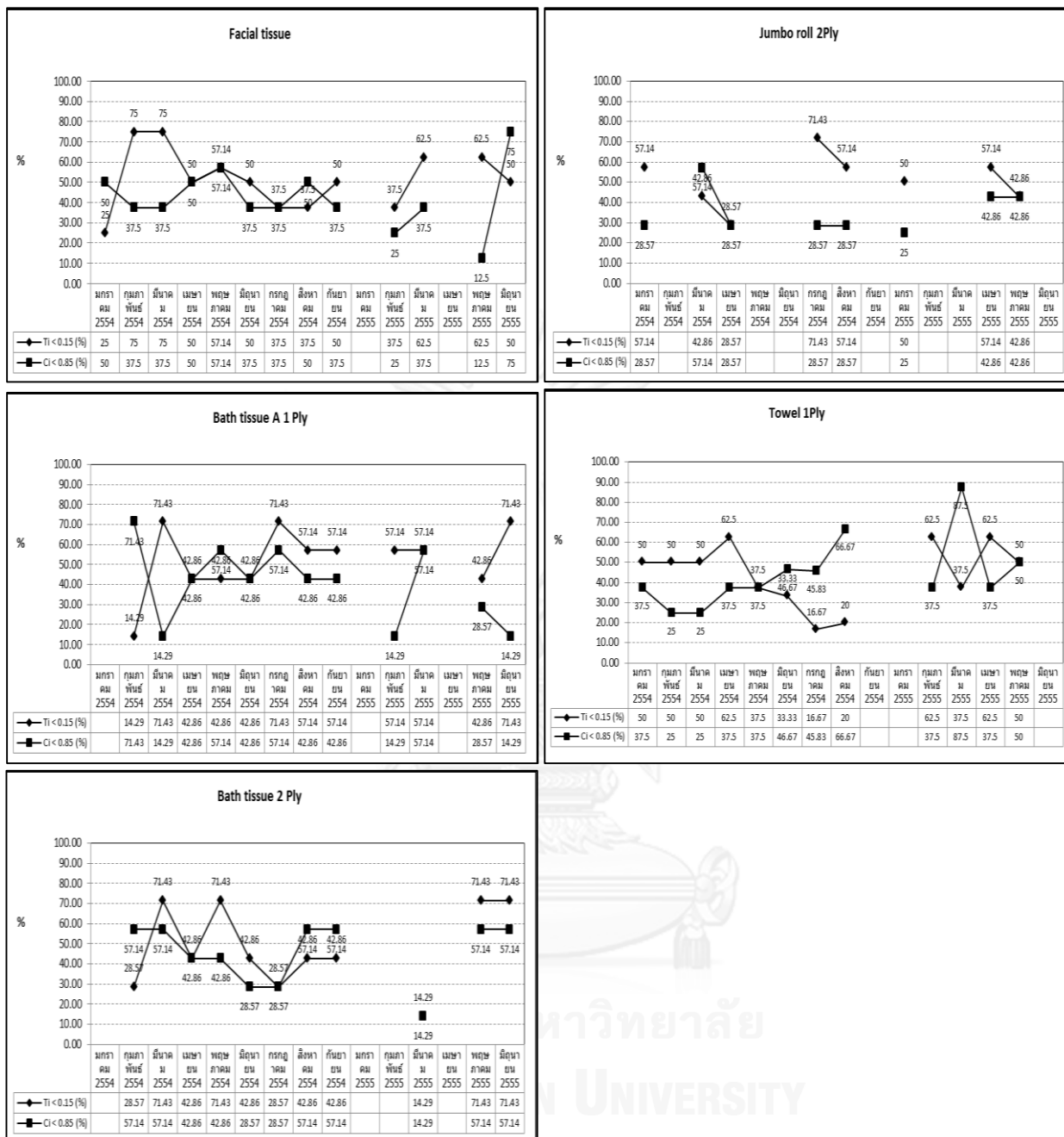
รูปที่ 1.3 กราฟค่า TI, CI รวมของทุกเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555

จากรูปที่ 1.3 แสดงความเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายและค่าความแปรปรวนรวมของทุกเกรดกระดาษในแต่ละเดือน พบว่าค่าเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมาย ($TI \leq 0.15$) มีค่าใกล้เคียงกับที่โรงงานกรณีศึกษากำหนด (ไม่น้อยกว่า 51%) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 37.50- 60.29% แต่ในส่วนของความแปรปรวน ($CI \leq 0.85$) รวมมีค่าต่ำกว่าค่าที่โรงงานกำหนด (ไม่น้อยกว่า 64%) มากในทุกๆเดือน อยู่ในช่วง 29.42 – 44.35% แสดงให้เห็นว่าภาพรวมของคุณสมบัติของกระดาษฮาร์ดโรลล์ในทุกๆเกรดมีความแปรปรวนสูง (ทำให้ค่า CI สูง) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแยกตามเกรดกระดาษที่ผลิตในแต่ละเดือน ตามรูปที่ 1.4 และ 1.5



รูปที่ 1. 4 กราฟค่า TI, CI รวมที่อยู่ในช่วงควบคุมของแต่ละกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 (เกรด Jumbo roll 1 ply, Towel 2 ply, Napkin tissue และ Bath tissue B 1 ply)

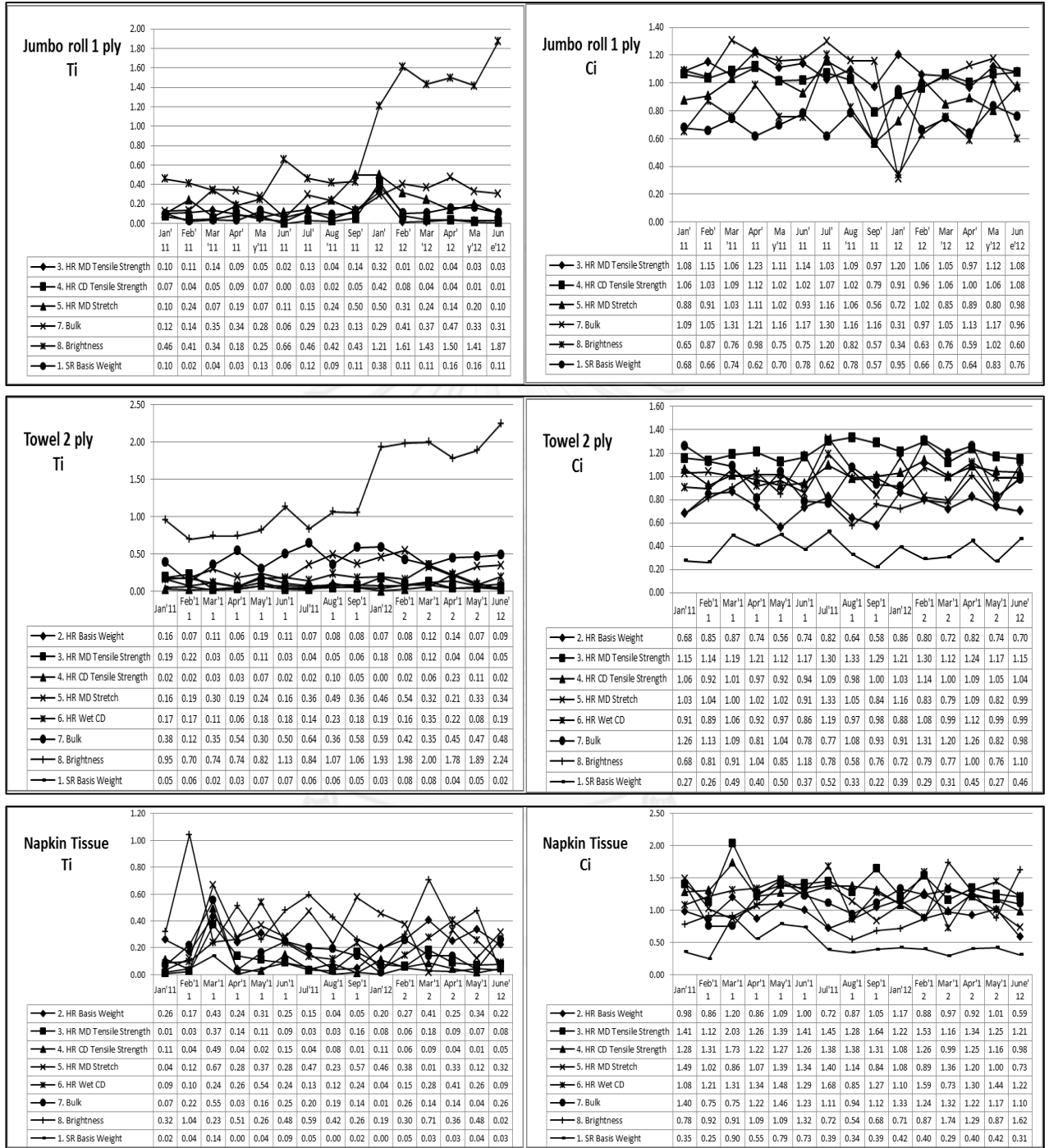




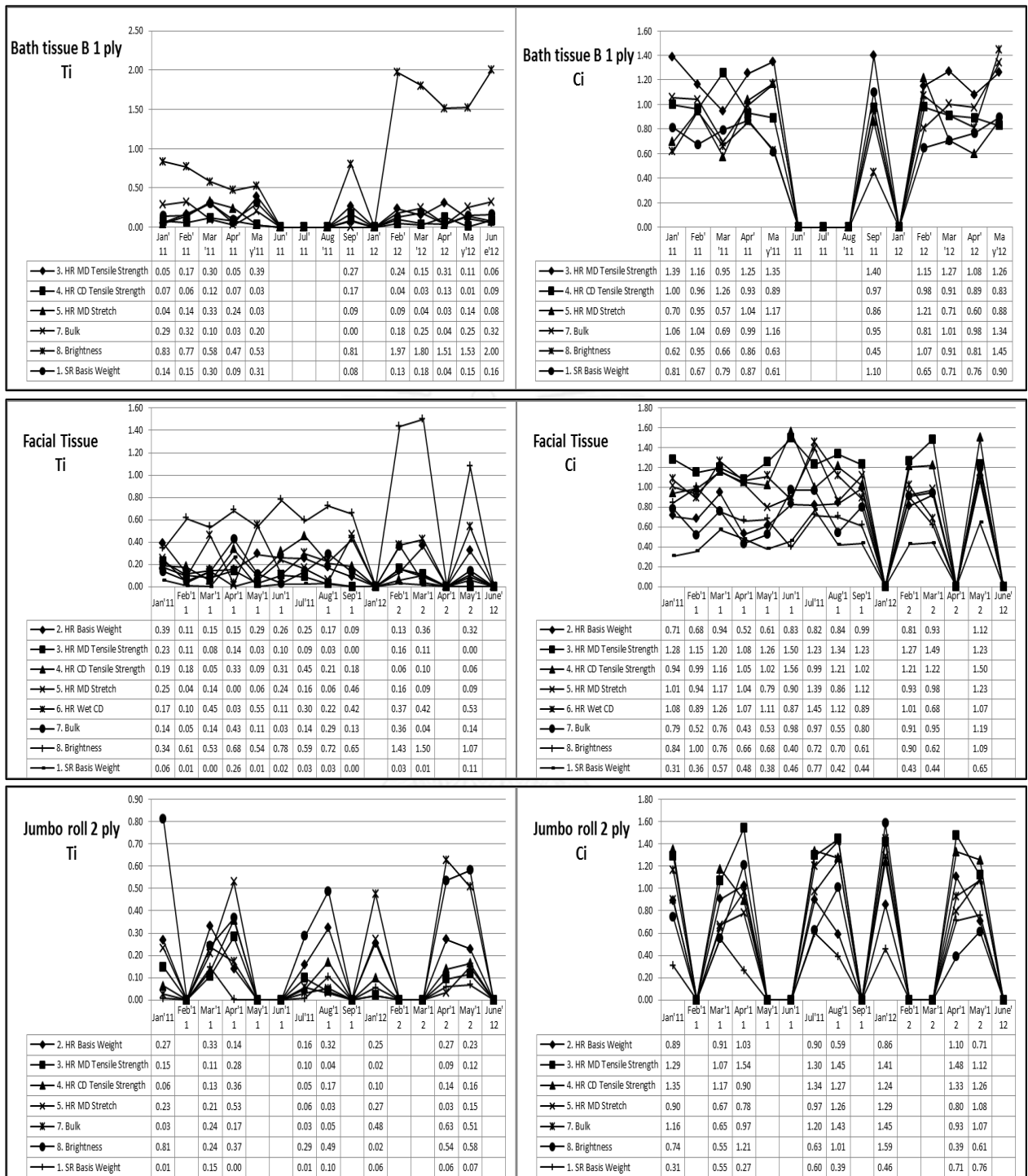
รูปที่ 1.5 กราฟค่า TI, CI รวมที่อยู่ในช่วงควบคุมของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 (เกรด Facial tissue, Jumbo roll 2 ply, Bath tissue A 1 ply, Towel 1 ply และ Bath tissue 2 ply)

จากรูปที่ 1.4 และ 1.5 พบว่าทุกเกรดกระดาษมีลักษณะความแปรปรวนที่คล้ายกัน นั่นคือมีค่าเบี่ยงเบนจากเป้าหมายในช่วงควบคุม ($TI \leq 0.15$) ใกล้เคียงกับค่าที่โรงงานกรณีศึกษากำหนด (อย่างน้อย 51%) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 45-60% แต่มีความแปรปรวนที่อยู่ใน ช่วงควบคุม ($CI \leq 0.85$) ต่ำกว่าค่าที่กำหนดค่อนข้างมาก โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-40% แสดงให้เห็นว่าทางโรงงานกรณีศึกษากำลังเผชิญกับปัญหาเดียวกันในทุกๆเกรดของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์

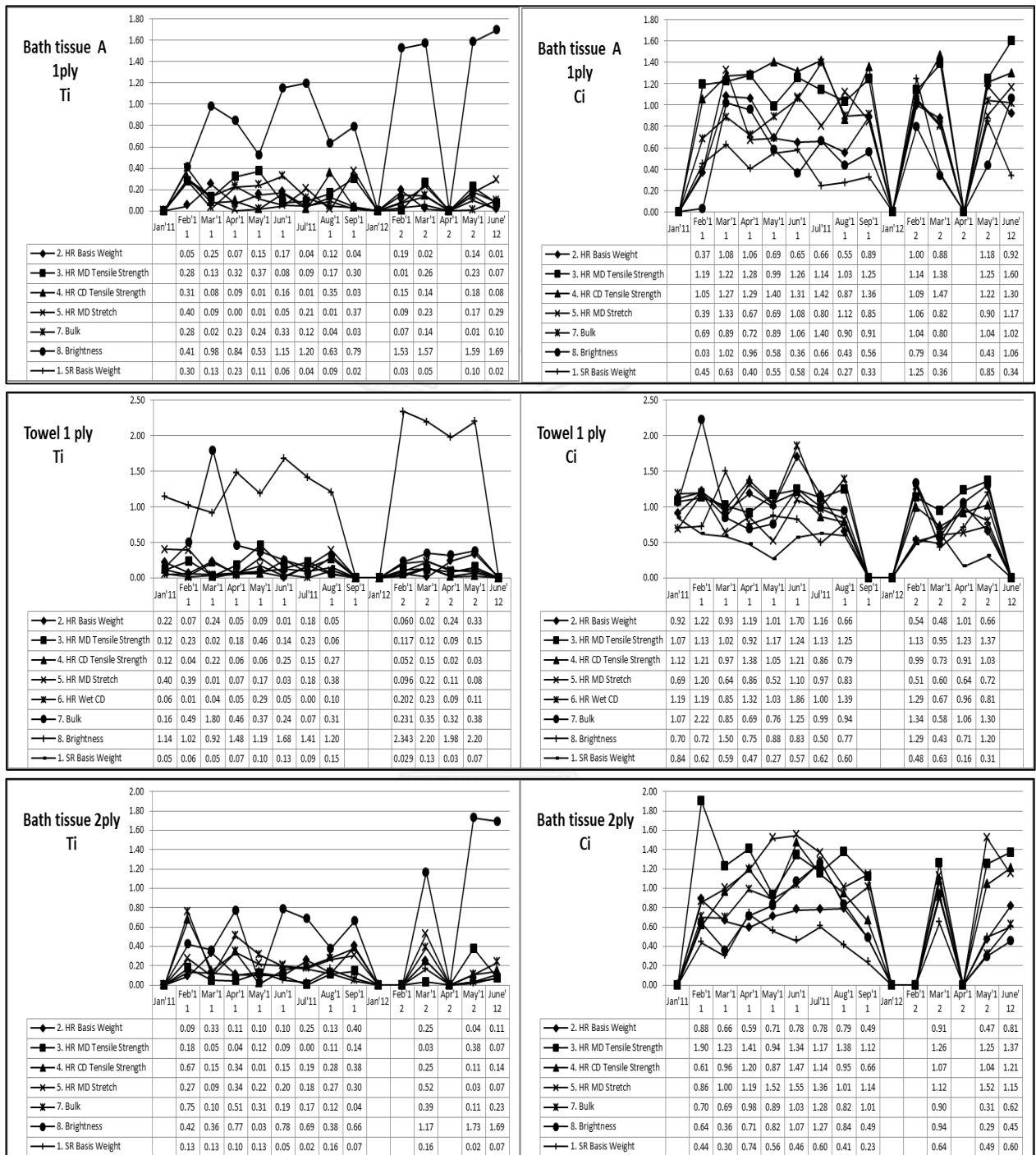
ในด้านของความแปรปรวนรวม ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยแยกตามคุณสมบัติต่างๆในแต่ละเกรดกระดาษที่ทำการผลิตในแต่ละเดือนเพื่อให้สามารถเข้าใจลักษณะของปัญหามากขึ้นดังรูปที่ 1.6, 1.7 และ 1.8



รูปที่ 1. 6 กราฟค่า Ti, Ci ของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 โดยแยกตามคุณสมบัติที่ควบคุม (เกรด Jumbo roll 1 ply, Towel 2 ply และ Napkin Tissue)



รูปที่ 1. 7 กราฟค่า TI, CI ของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2554 - มิถุนายน 2555 โดยแยกตามคุณสมบัติที่ควบคุม (เกรด Bath tissue B 1 ply, เกรด Facial tissue และ Jumbo roll 2 ply)



รูปที่ 1. 8 กราฟค่า TI, CI ของแต่ละเกรดกระดาษที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 – มิถุนายน 2555 โดยแยกตามคุณสมบัติที่ควบคุม (เกรด Bath tissue A 1 ply, Towel 1 ply และ Bath tissue 2 ply)

จากรูปที่ 1.6, 1.7 และ 1.8 แสดงให้เห็นค่าความเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายและความแปรปรวนของคุณสมบัติต่างๆที่ทำการควบคุมของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์แต่ละเกรด พบว่าค่าเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมาย (TI) ส่วนใหญ่จะอยู่ช่วงระหว่าง 0-0.5 ยกเว้นความฟูของกระดาษ (Bulk) และค่าความสว่างของกระดาษ (Brightness, Br) ของทุกเกรดกระดาษจะมีค่าสูงกว่า 0.5 เสมอ (ช่วงควบคุมของค่า TI คือไม่เกิน 0.15) ในขณะที่ค่าความแปรปรวน

(CI) ส่วนใหญ่จะอยู่สูงกว่าค่าที่ควบคุม 0.85 สำหรับทุกคุณสมบัติ ยกเว้นความฟูของกระดาษ ค่าความสว่างของกระดาษ และน้ำหนักมาตรฐานของลูกกระดาษซอฟต์แวร์โรลล์ที่มีความแปรปรวนอยู่ในช่วงที่ควบคุม ทำให้เห็นว่าแนวการปัญหาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติที่ทดสอบมีค่าห่างจากค่าเป้าหมาย แต่มีความแปรปรวนต่ำในคุณสมบัติด้านความฟูของกระดาษ และความสว่าง และปัญหาด้านค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติที่ทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายแต่มีความแปรปรวนสูงในคุณสมบัติที่เหลือ (Strength, Stretch) ยกเว้นน้ำหนักมาตรฐานของลูกกระดาษซอฟต์แวร์โรลล์ที่มีความแปรปรวนต่ำ

สรุป

จากการวิเคราะห์พบว่าเกรดกระดาษที่จะนำมาทำการศึกษาเพื่อหาสาเหตุและแนวทางในการแก้ไขเพื่อให้ลดความแปรปรวนของคุณสมบัติคือ เกรด Jumbo roll 1 ply เนื่องจากเป็นเกรดที่มีการผลิตสูงที่สุดในทุกเดือน รวมทั้งมีความแปรปรวนของคุณสมบัติต่างๆเช่นเดียวกับเกรดกระดาษอื่นๆ รวมทั้งเกรดกระดาษ Jumbo roll A 1 ply มีจำนวนคุณสมบัติที่ต้องควบคุมน้อยที่สุดทำให้เหมาะสมในการเป็นต้นแบบของการปรับปรุงต่อไป โดยจะทำการศึกษาในทุกคุณสมบัติของเกรดกระดาษขึ้นกับลักษณะของปัญหา ได้แก่ การลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขนานเครื่องจักร (Machine direction tensile strength, MDT) ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขวางเครื่องจักร (Cross machine direction tensile strength, CDT) และความเหนียวของกระดาษ (Machine direction stretch) ให้อยู่ในช่วงที่ควบคุมอย่างยั่งยืน และการควบคุมความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายของความหนาของกระดาษ (Bulk) เหตุที่ต้องทำการแก้ไขควบคุมในทุกคุณสมบัติเพราะในการวิเคราะห์ผ่านค่าดัชนี TI และ CI จะให้น้ำหนักต่อทุกคุณสมบัติเท่ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงในทุกๆคุณสมบัติไปพร้อมๆกัน อย่างไรก็ตามจะไม่ทำการการศึกษาเพื่อปรับปรุงในคุณสมบัติด้านความสว่างของกระดาษ (Brightness, Br) เนื่องจากกระบวนการผลิตกระดาษที่ซับซ้อนจะส่งผลกระทบต่อความสว่างของกระดาษน้อยมาก โดยกระบวนการผลิตหลักที่มีผลต่อความสว่างของกระดาษได้แก่ ขั้นตอนการฟอกสีเยื่อในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษบริสุทธิ์และเยื่อกระดาษรีไซเคิล ในขณะที่คุณสมบัติด้านน้ำหนักมาตรฐานของลูกกระดาษซอฟต์แวร์โรลล์นั้นมีความแปรปรวนอยู่ในเกณฑ์ที่ควบคุมจึงไม่ทำการการศึกษาเพื่อปรับปรุง

Project Charter	
Project Title : การลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชูประเภทกระดาษชำระม้วนใหญ่	
Business case: กระดาษทิชชูที่ผลิตจากโรงงานมีความแปรปรวนของแต่ละคุณสมบัติสูงอย่างต่อเนื่องซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อความรับรู้ของลูกค้าในการใช้งานและทำให้ลูกค้าเปลี่ยนไปใช้สินค้าของผู้ผลิตรายอื่น	Problem Statement : เกิดความแปรปรวนในคุณสมบัติของกระดาษทิชชูฮาร์ดโรลล์ โดยพบปัญหาทั้งในด้านคุณสมบัติของสินค้าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่กำหนด และปัญหาความแปรปรวนของคุณสมบัติสินค้าสูง โดยสินค้าที่มีการผลิตมากที่สุดได้แก่กระดาษชำระม้วนใหญ่ เกรด Jumbo roll 1 ply ซึ่งมีค่าคุณภาพเทียบกับเป้าหมาย ($TI < 0.15$) เฉลี่ยเท่ากับ 57% ดีกว่าเป้าหมาย 6% และค่าความแปรปรวนเมื่อเทียบกับขอบเขตของข้อกำหนด ($CI < 0.85$) เฉลี่ยเท่ากับ 33.3% ต่ำกว่าเป้าหมาย 30% (ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 - มิถุนายน 2555)
Objective Statement : ลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระดาษทิชชูประเภท กระดาษชำระม้วนใหญ่ เกรด Jumbo roll 1 ply ให้มีจำนวนคุณสมบัติที่ทำการทดสอบมีค่า TI อยู่ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.15 ($TI \leq 0.15$) มีจำนวนไม่น้อยกว่า 51% และต้องการให้จำนวนคุณสมบัติที่ทำการทดสอบที่มีค่า CI ซึ่งควบคุมให้อยู่ในช่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.85 ($CI \leq 0.85$) มีจำนวนไม่น้อยกว่า 64% ภายในวันที่ 31 มกราคม 2557	
Project Scope : <ul style="list-style-type: none"> - ทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตตั้งแต่การเตรียมกระดาษไปจนถึงขั้นตอนการเข้าม้วนเพื่อให้ได้ม้วนกระดาษฮาร์ดโรลล์เท่านั้น - ศึกษาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติต่างๆของลูกค้ากระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo Roll 1 ply ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขนาน เครื่องจักร (Machine direction tensile strength, MDT) ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขวางเครื่องจักร (Cross machine direction tensile strength, CDT) ความเหนียวของกระดาษ (Machine direction stretch, MDS) และความหนาของกระดาษ (Bulk) 	Team member : <ul style="list-style-type: none"> - Black belt : นายศิริเวทย์ อัครไชยวงศ์ (Process engineer) - Green belt : นายปรีชา เมฆแย้ม (Operator) - Member : นายชัยรัตน์ ชำศิริ (Machine leader) นายเอกชัย เรือนขวัญ (Back tender) นางจิตรา ไพบูลย์ (QC) นายสมศักดิ์ สุขจิตต์ (Back tender)
Project Constraint : <ul style="list-style-type: none"> - ในแต่ละการทดลองจำเป็นต้องรอรอบการผลิตสำหรับเกรดกระดาษที่กำหนด - ทีมมีเวลาในการทำ project นี้ประมาณ 5-7 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ 	Project Metrics : <ul style="list-style-type: none"> - Primary metrics : ค่า TI, CI ในแต่ละคุณสมบัติของลูกค้ากระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo Roll 1 ply - Secondary metrics : พื้นที่ในการเก็บสินค้าที่มีปัญหาด้านคุณภาพ - Consequential metrics : ต้นทุนในการผลิตของลูกค้ากระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo Roll 1 ply - Financial metrics : ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบคุณภาพซ้ำและ ความเสียหายที่เกิดจากการร้องเรียนของลูกค้า
Project Assumption : <ul style="list-style-type: none"> - มีการประชุมเพื่อรายงานความคืบหน้าทุก 1 เดือน - ทีมงานมีอิสระในการทำงาน การทดลอง 	

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหามาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ที่สามารถปรับปรุงให้คุณสมบัติของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์มีการเบี่ยงเบนไปของค่าเฉลี่ยจากค่าเป้าหมายลดลง และมีความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าขอบเขตที่กำหนดลดลง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ปรับปรุงค่าเฉลี่ยและลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติต่างๆของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo Roll 1 ply ดังนี้
 - ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขนานเครื่องจักร (Machine direction tensile strength, MDT)
 - ความต้านทานต่อแรงดึงของกระดาษในทิศทางขวางเครื่องจักร (Cross machine direction tensile strength, CDT)
 - ความเหนียวของกระดาษ (Machine direction stretch, MDS)
 - ความหนาของกระดาษ (Bulk)
2. การเบี่ยงเบนไปของค่าเฉลี่ยจากค่าเป้าหมายที่กำหนด จะวัดโดยค่าดัชนีวัด TI และเปอร์เซ็นต์ของค่าดัชนีวัด TI ที่ผ่านเกณฑ์ ส่วนความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าขอบเขตที่กำหนด จะวัดโดยค่าดัชนีวัด CI และเปอร์เซ็นต์ของค่าดัชนีวัด CI ที่ผ่านเกณฑ์
3. ศึกษากระบวนการผลิตตั้งแต่การตีเยื่อกระดาษไปจนถึงขั้นตอนการเข้าม้วนเพื่อให้ได้ม้วนกระดาษฮาร์ดโรลล์เท่านั้น ไม่ศึกษาถึงผลกระทบจากกระบวนการแปรรูปกระดาษ หรือกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษรีไซเคิล

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้ ผู้ทำการศึกษาจะทำการวิจัยโดยยึดแนวทางของวิธี ชิซึ ชิโกมา ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนในการดำเนินงาน 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. ขั้นตอนการกำหนดปัญหาและเป้าหมาย (Define phase)
 - กำหนดปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและปรับปรุง โดยใช้ข้อมูลในอดีตร่วมในการตัดสินใจเลือกปัญหาเป้าหมาย และขอบเขตของการศึกษา
 - จัดตั้งคณะทำงานในการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิด ชิซึ ชิโกมา โดยคัดเลือกจากผู้ที่มีความรับผิดชอบเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์
 - ศึกษาค้นคว้างานวิจัยรวมทั้งทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับชิซึ ชิโกมา การผลิตกระดาษทิชชูเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ
2. ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพของระบบ (Measure phase)
 - วิเคราะห์ความถูกต้อง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) ของระบบการวัดคุณภาพของกระดาษทิชชู
 - เก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase)

- ระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปัญหานั้น ที่เรียกว่าKPIV (Key Process Input Variable) โดยใช้เครื่องมือต่างๆทั้ง แผนภาพก้างปลา แผนภูมิต้นไม้ เป็นต้น จากนั้นทำการให้น้ำหนักของแต่ละสาเหตุ แล้วเรียงลำดับสาเหตุต่างๆตามน้ำหนักเพื่อกำหนดความสำคัญก่อนหลังในการแก้ไข
 - นำปัจจัยนำเข้าหรือ KPIV ที่ได้จากการระดมสมองบางส่วนที่ไม่ทราบแน่ชัดว่ามีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติที่ต้องการศึกษา มาออกแบบการทดลองโดยผ่านวิธีที่เป็นขั้นตอนเป็นระบบ (Design of Experiment) เพื่อทดสอบว่าปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นมีผลต่อคุณสมบัติที่ต้องการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่
4. ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase)
- สำหรับปัจจัยที่ไม่จำเป็นต้องทำการทดลอง จะกำหนดวิธีการปรับปรุงโดยการระดมสมอง
 - สำหรับปัจจัยที่พิสูจน์แล้วว่ามีความสำคัญ จะทำการทดลองเพื่อให้ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า (KPIV) และปัจจัยตอบสนองจากนั้นจะนำสมการความสัมพันธ์นั้นมากำหนดระดับปัจจัยที่สามารถลดความผันแปรในกระบวนการผลิตม้วนกระดาษฮาร์ดโรลล์ รวมทั้งสรุปผลหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุง โดยเทียบกับเป้าหมายที่กำหนดไว้ของการศึกษา
5. ขั้นตอนการตรวจติดตาม และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control phase)
- ติดตามผลการปรับปรุงเพื่อยืนยันผลจากการปรับปรุงที่มาจากผลการระดมสมองและการทดลอง
 - จัดทำแผนการควบคุม (Control plan) ในรูปแบบของมาตรฐานการทำงาน (WI) แผนการตรวจสอบค่าของแต่ละปัจจัยนำเข้า (Log sheet)
 - สรุปผลการปรับปรุงโดยเปรียบเทียบค่าแปรปรวนของคุณภาพของม้วนกระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo roll1 ply ผ่านค่า TI และ CI ก่อนและหลังการปรับปรุง
6. สรุปผลการศึกษา ข้อเสนอแนะ และจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ผลที่ได้รับ

มาตรฐานวิธีการผลิตที่สามารถผลิตลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ซึ่งมีการเบี่ยงเบนไปของค่าเฉลี่ยจากค่าเป้าหมายลดลง และมีความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าขอบเขตที่กำหนดลดลง

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจถึงปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์แต่ละคุณสมบัติ
2. ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์แต่ละคุณสมบัติมีค่าลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
3. สามารถนำแนวทางที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดความแปรปรวนของคุณสมบัติของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ในเกรดอื่นๆได้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับ ชิกซ์ ชิกม่า

ชิกซ์ ชิกม่าเป็นแนวคิดที่ริเริ่มขึ้นในปี ค.ศ.1988 จากกลุ่มวิศวกรของบริษัท โมโตโรล่าโดยมี ดร. มิเกล เจ แอร์รี่ เป็นผู้นำ โดยมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการลดความสูญเสีย ลดความผิดพลาด ลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ โดยนำเอาหลักทางสถิติมาประยุกต์รวมกับความรู้ด้านการจัดการ ทำให้เกิดแนวคิดที่ใช้ในการควบคุมการเกิดข้อผิดพลาดหรือความแปรปรวนที่มีประสิทธิภาพขึ้นเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์มีความสอดคล้องตามความต้องการของลูกค้า รวมทั้งสามารถลดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นจากการมีข้อผิดพลาดหรือความแปรปรวน หลังจากนั้นแนวคิดนี้ถูกนำไปปรับใช้และประสบความสำเร็จในองค์กรอื่นอีกมากมาย [1]

ชิกซ์ ชิกม่า หรือ 6σ เป็นภาษาทางวิชาสถิติ ซึ่งสัญลักษณ์ σ หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สามารถใช้แสดงความแปรปรวนของกระบวนการได้เช่นกัน ยิ่งค่าชิกม่ามีค่าสูงนั้นหมายความว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการมีค่าสูงนั่นเอง หรือแปลได้อีกความหมายหนึ่งว่าโอกาสที่จะเกิดข้อผิดพลาด (DPMO; Defect per Million Opportunities) ในกระบวนการเพิ่มมากขึ้น โดยแนวคิด ชิกซ์ ชิกม่า (6σ) จะควบคุมให้กระบวนการต่างๆ มีโอกาสการเกิดข้อผิดพลาดในกระบวนการให้มีค่าได้ไม่เกิน 3.4 หน่วย (DPMO) หรือ 3.4 ครั้งในล้านครั้ง เหตุผลที่ต้องทำการควบคุมความแปรปรวนโดยใช้ขอบเขตที่ 6σ เนื่องจากหากพิจารณาที่จำนวนของการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งล้านครั้งจะมีจำนวนเพียงแค่ 3.4 ครั้ง ในขณะที่ 4σ ถึงแม้จะสามารถครอบคลุมได้ถึง 99% แต่เมื่อพิจารณาจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการผลิตสินค้าหนึ่งล้านชิ้น จะมีจำนวนข้อบกพร่องเกิดขึ้นถึงกว่าหกพันชิ้น ซึ่งถือว่าเป็นจำนวนที่สูงในระดับหนึ่ง แต่หากพิจารณาให้มุมมองที่ลูกค้าเป็นผู้ได้ตรวจพบข้อบกพร่องนั้น จะเกิดโอกาสสูงมากที่ลูกค้าคนดังกล่าวจะสื่อสารให้ลูกค้าคนอื่นทราบถึงข้อบกพร่องในสินค้าของเรา ดังนั้นการควบคุมที่ 99% นั้นถือว่ายังไม่เพียงพอ โดยข้อผิดพลาดในที่นี้หมายถึง สิ่งใดก็ตามที่ไม่เป็นตามเป้าหมายในกระบวนการต่างๆ โดยมุ่งเน้นที่ความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก จากความหมายดังกล่าว ชิกซ์ ชิกม่าจึงได้กลายมาเป็นชื่อเรียกของแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดความผิดพลาด ความไม่แน่นอน เพื่อให้กระบวนการที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถทำงานได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยผ่านการวิเคราะห์และตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลประกอบ [2], [3]

ตารางที่ 2.1 สมรรถนะที่ระดับค่าซิกมาต่างๆ

ระดับของ Sigma	จำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นต่อล้านครั้ง (DPMO)	ผลลัพธ์ที่อยู่ภายใต้การควบคุม (%)
6	3.4	99.99966
5	233	99.977
4	6,210	99.38
3	66,807	93.32
2	308,537	69.15
1	690,000	30.85

กระบวนการของระบบ ซิกซ์ ซิกมา [4]

ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนอันได้แก่ กระบวนการ DMAIC ซึ่งใช้ในการปรับปรุงกระบวนการที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีลักษณะดังนี้

1. Define Phase เป็นกระบวนการเริ่มต้นและสำคัญที่สุดในการปรับปรุง โดยจะเป็นขั้นตอนในการกำหนดหรือระบุว่าปัญหาอะไรที่ต้องการปรับปรุงและกำหนดเป้าหมายที่ต้องการบรรลุหลังจากการปรับปรุง รวมทั้งขอบเขตที่สนใจ โดยการที่จะได้มาซึ่งสิ่งเหล่านี้ จำเป็นที่จะต้องมข้อมูลในอดีต และความต้องการของลูกค้า
2. Measure Phase เป็นกระบวนการวัดประสิทธิภาพของระบบที่มีอยู่ รวมทั้งกำหนดดัชนีที่จะใช้วัดผลการบรรลุเป้าหมายโดยวิเคราะห์ผ่านข้อมูลในอดีตที่น่าเชื่อถือ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าระบบในปัจจุบันอยู่ต่างจากเป้าหมายอย่างไร ในขั้นตอน Measure phase นี้รวมถึงการวัดวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA) ด้วยเพื่อเป็นสร้างความเชื่อมั่นในระบบการวัดทั้งในส่วนของคน เครื่องมือและพนักงานก่อนที่จะทำการวิเคราะห์และปรับปรุงแก้ไขต่อไป
3. Analyze Phase เป็นกระบวนการวิเคราะห์ระบบในปัจจุบันเพื่อหาสาเหตุของปัญหาหลักโดยผ่านการวิเคราะห์ในเชิงสถิติเพื่อให้ทราบถึงสาเหตุหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปัญหานั้นเรียกว่า KPIV (Key Process Input Variable) และจะต้องสามารถเชื่อมโยงกับตัวแปรที่วัดค่าที่เราสนใจในกระบวนการ หรือที่เรียกว่า KPOV (Key Process Output Variable) ได้โดยในกระบวนการนี้จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากอดีตเพื่อให้เข้าใจถึงปัญหาและใช้เครื่องมือต่างๆในการหาสาเหตุของปัญหาเหล่านั้นแล้วจึงกำหนดแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงต่อไป โดยเครื่องมือที่สามารถนำมาในกระบวนการนี้เพื่อช่วยให้เข้าใจปัญหาได้แก่ แผนผังแสดงสาเหตุและผล (Cause and effect diagram, แผนผังก้างปลา) แผนภูมิต้นไม้ (Tree diagram) เป็นต้น

เมื่อเราทราบตัวแปร KPIV ที่ส่งผลต่อปัญหาที่เราสนใจแล้วจึงเริ่มขั้นตอนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, D.O.E.) เพื่อให้ได้การทดลองที่มีความเป็นขั้นตอน เป็นระบบและสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ โดยผ่านหลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติ [5]

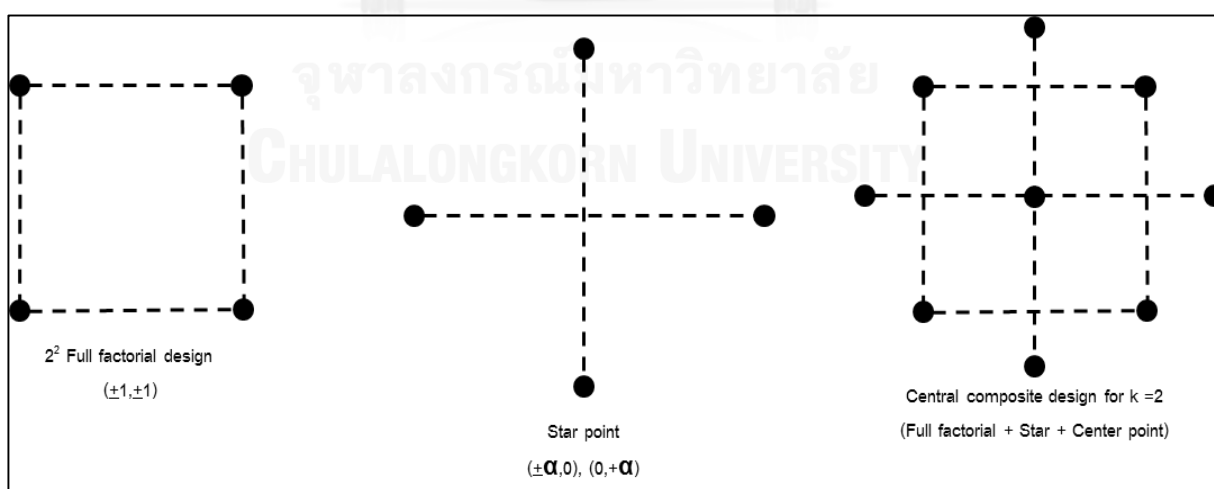
เนื่องจากคุณภาพของกระดาศษทชชชที่สนใจบางค่าส่งผลต่อกัน การปรับเปลี่ยนค่า KPIV เพื่อปรับปรุงคุณภาพของกระดาศษทชชชบางค่าก็อาจจะส่งผลต่ออีกคุณภาพหนึ่งเช่นกัน ทำให้ในการทดลองเพื่อหาค่า KPIV เพื่อให้ได้คุณภาพของกระดาศษทชชชทุกค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการต้องพิจารณาความสัมพันธ์ของทุกตัวแปรที่สนใจไปพร้อมๆกัน เรียกว่า Multi-Response Optimization (MRO) วิธีที่นิยมใช้มากในการวิเคราะห์ MRO ได้แก่ Response Surface Methodology (RSM) ซึ่งใช้หลักการของคณิตศาสตร์และสถิติ โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{Optimize} && [\hat{y}_1(x), \hat{y}_2(x), \dots, \hat{y}_r(x)] && i = 1, 2, \dots, r \\ & \text{s.t.} && x \in \Omega, \end{aligned} \quad (2-1)$$

โดยที่ $\hat{y}_i(x)$ คือค่าประมาณของตัวแปรตอบสนองค่าที่ i , x คือ เวกเตอร์ของค่าปัจจัยนำเข้า และ Ω คือขอบเขตการทดลองซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Central Composite Design (CCD) [6] ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Quadratic relationship) เพราะในกรณีศึกษาที่ผู้ทำการศึกษายังไม่ทราบถึงลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง รวมทั้งวิธี CCD จะช่วยลดปริมาณการทดลองลงอันเป็นสิ่งที่เหมาะสมกับสภาพการทำงานจริงที่ไม่มีทรัพยากรเพียงพอต่อการทดลองปริมาณมากๆ โดยวิธี CCD จะประกอบด้วย 3 ส่วนได้แก่

- 1) 2^k full factorial design ซึ่งจะสนใจการทดลองในระดับขอบของระดับของแต่ละปัจจัย $(\pm 1, \pm 1)$
- 2) Star point จะสนใจการทดลองที่ระดับ $\pm\alpha$ ของแต่ละแกน (ปัจจัย); $(\pm\alpha, 0), (0, \pm\alpha)$
- 3) Center point คือจุดศูนย์กลางของแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย $(0, 0)$

โดยวิธี CCD สามารถอธิบายด้วยภาพดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2. 1 ส่วนประกอบของวิธี Central Composite Design (CCD) สำหรับปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย ($k=2$)

ซึ่งวิธี CCD สำหรับปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัยจะมีวิธีการคำนวณหาค่า α ซึ่งใช้ในการหาค่าของจุด Star ดังนี้

$$\alpha = 2^{\frac{k}{4}} \quad (2-2)$$

โดย

α คือระยะห่างจากจุด Center point ถึงจุด Star point

k คือจำนวนของปัจจัยนำเข้า

หลังจากทำการทดลองตามวิธี CCD แล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Desirability function [7] ซึ่งเป็นวิธีนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมซึ่งมักจะพบปัญหาในการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรตอบสนองมากกว่า 1 ตัวแปร (Multi-response) โดยวิธีนี้มีแนวคิดพื้นฐานว่าคุณภาพของสินค้าหรือกระบวนการผลิตที่ทำการควบคุมมักมีมากกว่า 1 ค่าและทุกๆค่าจะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนด วิธี Desirability function จะทำการกำหนดตัวแปร $d_i(y_i)$ สำหรับตัวแปรตอบสนอง (y_i) แต่ละค่า ซึ่งจะมีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq d_i(y_i) \leq 1$ หากค่า $d_i(y_i)$ เท่ากับ 0 หมายถึงไม่เป็นที่ต้องการ หาก $d_i(y_i)$ มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่าตัวแปรตอบสนองนั้นอยู่ในค่าเป้าหมายตามที่กำหนด [8] โดยที่ค่า $d_i(y_i)$ มีวิธีคำนวณดังนี้

กรณีตัวแปรตอบสนองที่ทำการวิจัยนั้นต้องการให้มีค่าตามเป้าหมายที่กำหนด (Target is the best, TB)

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } \hat{y}_i(\mathbf{x}) \leq L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(\mathbf{x}) - L_i}{T_i - L_i} \right)^r & \text{if } L_i \leq \hat{y}_i(\mathbf{x}) \leq T_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(\mathbf{x}) - U_i}{T_i - U_i} \right)^r & \text{if } T_i \leq \hat{y}_i(\mathbf{x}) \leq U_i \\ 0 & \text{if } \hat{y}_i(\mathbf{x}) > U_i \end{cases} \quad (2-3)$$

ในกรณีที่ต้องการให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด (Smaller better, SB)

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } \hat{y}_i(\mathbf{x}) < T_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(\mathbf{x}) - U_i}{T_i - U_i} \right)^r & \text{if } T_i \leq \hat{y}_i(\mathbf{x}) \leq U_i \\ 0 & \text{if } \hat{y}_i(\mathbf{x}) > U_i \end{cases} \quad (2-4)$$

กรณีที่ต้องการให้ตัวแปรตอบสนองมีค่ามากที่สุด (Larger is better, LB)

$$d_i(\hat{y}_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } \hat{y}_i(\mathbf{x}) < L_i \\ \left(\frac{\hat{y}_i(\mathbf{x}) - L_i}{T_i - L_i} \right)^r & \text{if } L_i \leq \hat{y}_i(\mathbf{x}) \leq T_i \\ 1 & \text{if } \hat{y}_i(\mathbf{x}) > T_i \end{cases} \quad (2-5)$$

โดย

x คือ ตัวแปรนำเข้า

y(x) คือ ค่าตัวแปรตอบสนองที่ตัวแปรนำเข้ามีค่า x

L คือ ขอบเขตล่างในข้อกำหนดสำหรับตัวแปรตอบสนอง

U คือ ขอบเขตบนในข้อกำหนดสำหรับตัวแปรตอบสนอง

T คือ ค่าเป้าหมายในข้อกำหนดสำหรับตัวแปรตอบสนอง

r คือ ตัวแปรซึ่งบอกการให้น้ำหนักของตัวแปรตอบสนองในการบรรจุค่าเป้าหมาย (weight) หากค่า $r = 1$

หมายถึงค่า Desirability ($d_i(y_i)$) มีการเพิ่มขึ้นเชิงเส้นตรงเมื่อเทียบกับค่าเป้าหมาย หากค่า $r < 1$ จะ

หมายถึงค่า Desirability ($d_i(y_i)$) มีการเพิ่มขึ้นในลักษณะ Convex และค่า $r > 1$ หมายถึงค่า Desirability

($d_i(y_i)$) มีการเพิ่มขึ้นในลักษณะ Concave ขั้นตอนถัดไปคือการหาค่าของตัวแปรนำเข้าที่ทำให้ได้ตัวแปร

ตอบสนองที่สอดคล้องกับเป้าหมายที่กำหนดมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่า Desirability รวม ซึ่งคำนวณได้

$$D = (d_1(\hat{y}_1) \times d_2(\hat{y}_2) \times \dots \times d_m(\hat{y}_m))^{1/m} \quad (2-6)$$

โดย

M คือ จำนวนตัวแปรตอบสนอง

D คือ ค่า Desirability รวม

4. Improve Phase เป็นขั้นตอนการปรับปรุงระบบ โดยนำค่าตัวแปร KPIV ที่ได้มาจากขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase) ทั้งการระดมความคิด การปรับปรุงโดยทันทีและการปรับปรุงที่ได้จากออกแบบการทดลอง เพื่อให้ค่าดัชนีชี้วัด KPOV มีค่าบรรลุตามเป้าหมาย
5. Control Phase เป็นกระบวนการควบคุมระบบที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขแล้วไม่ให้เกิดปัญหาหรือข้อผิดพลาดที่เคยเกิดขึ้นมาแล้วก่อนการปรับปรุง รวมทั้งการใช้เครื่องมือทางสถิติเข้ามาช่วยในการติดตามผลหรือปัญหาอีกทางหนึ่ง

ข้อดีของระบบ ชิکش ชิคม่า [9]

1. เป็นการทำงานที่เริ่มจากจุดเล็กๆ และค่อยเป็นค่อยไป ไม่ใช่การเปลี่ยนแปลงจากจุดใหญ่ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบรุนแรง
2. เป็นโครงการที่มีการแบ่งการทำงานเป็นขั้นเป็นตอน เป็นโครงการเล็กๆ ทำให้เห็นผลสำเร็จในแต่ละขั้นตอนได้ง่ายและชัดเจน
3. มีบุคลากรคอยช่วยเหลือ และมีผู้บริหารให้การสนับสนุนและดูแลในทุกโครงการ ดังนั้นผู้ที่ทำโครงการสามารถมาขอความช่วยเหลือ และสนับสนุนในด้านต่างๆได้โดยไม่ต้องแก้ไขปัญหาลำพัง
4. เป็นการทำงานที่จำกัดหน่วยงาน ซึ่งผู้ที่ทำโครงการ ชิکش ชิคม่า สามารถแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ซึ่งกันและกัน
5. สามารถวัดผลความสำเร็จของโครงการโดยประหยัดงบประมาณได้อย่างชัดเจน และบางครั้งสามารถนำผลของโครงการไปใช้ในการพิจารณาการลงทุนเพิ่มในอนาคตได้อีกด้วย
6. การวิเคราะห์ปัญหาอยู่บนพื้นฐานของความจริง

7. โครงการ ชิกซ์ ชิกมาไม่ได้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปลี่ยนแปลงหน่วยงาน หรือเพิ่ม ลดพนักงาน แต่จะมุ่งเน้นการปรับปรุงงาน และกระบวนการเป็นหลัก

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติ

กระบวนการผลิตกระดาษที่ชูสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลักๆดังนี้

- ขั้นตอนการเตรียมเยื่อ (Stock preparation) เป็นขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการผลิตกระดาษที่ชู โดยจะเริ่มจากการนำเยื่อแผ่นมาตีผสมในน้ำผ่านเครื่องจักร Pulper โดยเยื่อที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษที่ชูสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะของเส้นใย ได้แก่ เยื่อใยยาว (เช่นเยื่อจากต้นสน) และเยื่อใยสั้น (เช่นเยื่อจากต้นยูคาลิปตัส และเยื่อกระดาษรีไซเคิล) โดยเยื่อใยสั้นและเยื่อใยยาวจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของกระดาษที่ชูที่แตกต่างกัน เยื่อใยยาวมีผลให้กระดาษที่ชูมีความเหนียวความแข็งแรง ในขณะที่เยื่อใยสั้นทำให้กระดาษที่ชูมีการเรียงตัวของกระดาษที่ดีและนุ่มรวมทั้งคุณสมบัติด้านความสว่างของเยื่อ ซึ่งมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของเยื่อ (บริสุทธิ์ หรือรีไซเคิล) รวมทั้งการกำหนดสภาวะต่างๆในขั้นตอนการฟอกสีเยื่อ [10], [11] ซึ่งหลังจากผ่านการตีเยื่อแล้ว เยื่อที่ได้จะมีลักษณะเป็น Slurry วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการตีเยื่อ (Pulping) คือการเปลี่ยนเยื่อแห้งที่มีลักษณะเป็นแผ่นให้การเป็น Slurry ที่สามารถถ่ายไปยังขั้นตอนต่อไปในการผลิตได้ หลังจากผ่านกระบวนการตีเยื่อแล้ว เยื่อแต่ละประเภท (เยื่อใยยาว เยื่อใยสั้น เยื่อรีไซเคิล) จะถูกนำมาผสมตามข้อกำหนดของแต่ละเกรดกระดาษ สัดส่วนของการใช้เยื่อกระดาษแต่ละประเภทจึงส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของกระดาษที่ชูในด้าน MDT, CDT, ความหนา และความสว่างของกระดาษ รวมทั้งมีการเติมสารเคมีเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของเยื่อกระดาษตามต้องการ เช่น Starch ที่ใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ (Strength) [12] ก่อนที่จะถูกส่งไปยังเครื่อง Refiner ซึ่งมีหน้าที่ในการบดเยื่อ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษที่ชู โดยขั้นตอนการบดเยื่อ เยื่อกระดาษจะถูกส่งผ่านแผ่นเหล็กที่มีลักษณะเป็นร่อง ซึ่งเยื่อกระดาษจะอยู่ระหว่างแผ่นเหล็ก 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่นิ่ง (Stator) กับส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) และทำให้เยื่อกระดาษบริเวณที่ถูกบดมีลักษณะแบนและอยู่ชิดกันมากขึ้น มีพื้นที่ในการสร้างพันธะระหว่างกันมากขึ้น ทำให้เกิดการยึดเกาะกันที่ดีขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดาษเพิ่มขึ้น ดังนั้นการบดเยื่อจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นกับ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (Refiner load) ที่กำหนดในการเดินเครื่องโดยจะสามารถวัดได้ในหน่วยของกระแสไฟที่ใช้ในการขับเคลื่อนของ Refiner (Ampere) หลังจากนั้นเยื่อที่ผ่านการบดแล้วจะถูกส่งเข้าเครื่องผลิตกระดาษที่ชู [13], [14]
- ขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษ (Forming) เริ่มจากเยื่อที่ผ่านการบดจะถูกส่งมายัง Headbox เพื่อฉีดเยื่อให้กระจายไปบนตะแกรงไถล่อน (Wire) เพื่อให้เกิดการขึ้นรูปกระดาษและผ่านลูกโรลล์ 2 ลูก เพื่อทำการรีดน้ำออกจากเยื่อ ความเร็วของ Fan pump ที่ใช้ในการป้อนเยื่อกระดาษเข้าสู่ Headbox กับความเร็วของตะแกรงไถล่อนจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติในส่วนของ CDT อันเนื่องมาจากการกระจายตัวของเยื่อกระดาษ หลังจากนั้นกระดาษจะถูกส่งต่อไปยังผืนผ้าสักหลาด (Felt) ซึ่งจะทำให้เกิดการเรียงตัวของกระดาษอีกด้านหนึ่ง ขั้นตอนการรีดน้ำออกจากกระดาษ (Pressing) ขั้นตอนนี้กระดาษจากผ้าสักหลาดจะถูกรีดน้ำออกครั้งสุดท้ายผ่านลูกโรลล์ซึ่งมีรูปทรงและมีแรง Vacuum ดูดจากภายในลูกโรลล์ เพื่อดึงน้ำออกจากกระดาษให้มาก

ที่สุดก่อนที่กระดาษจะถูกส่งขึ้นไปยังลูกอบไอน้ำ (Yankee dryer) วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการรีดน้ำคือการกำจัดน้ำออกจากกระดาษให้มากที่สุดเพื่อลดพลังงานที่ต้องสูญเสียในขั้นตอนการอบแห้งกระดาษ โดยขั้นตอนการรีดน้ำยังส่งผลต่อคุณสมบัติของกระดาษในลักษณะคล้ายกับขั้นตอนการบดเยื่อคือ ทำให้กระดาษแบนลงเนื่องจากการกดรีดผ่านลูกโรลล์ และส่งผลให้เส้นใยของกระดาษอยู่ใกล้กันมากขึ้นและเพิ่มความแข็งแรงของกระดาษ เช่นกันดังนั้นระยะห่างระหว่างลูกโรลล์ 2 ลูกที่ใช้ในการรีดน้ำจึงมีผลต่อการรีดน้ำออกจากเยื่อกระดาษและ จะส่งผลต่อค่าความฟู และค่า MDT ของกระดาษ [12], [14], [15]

- ขั้นตอนการอบแห้งกระดาษ (Drying) เป็นขั้นตอนที่กระดาษจะถูกส่งขึ้นไปบนผิวของลูกอบไอน้ำซึ่งมีการป้อนไอน้ำจากด้านล่างใน วัตถุประสงค์เพื่อทำการระเหยน้ำออกจากกระดาษเพื่อให้ได้กระดาษที่ خشูที่แห้งและเส้นใยกระดาษจะอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้นส่งผลให้ความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอนการอบแห้งนี้จึงส่งผลกับค่า MDT [15]
- ขั้นตอนการเข้าม้วนกระดาษ (Reeling) จะเริ่มต้นจากการแซะกระดาษออกจากลูกอบไอน้ำ ซึ่งการแซะกระดาษจะทำให้กระดาษเกิดการพับย่น เมื่อประกอบกับความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของลูกอบไอน้ำกับความเร็วในการเข้าม้วนกระดาษให้เป็นม้วนใหญ่(Crepe ratio)จะส่งผลต่อคุณสมบัติของกระดาษที่ خشูได้แก่ ความหนาของกระดาษ ความเหนียวของกระดาษ และน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ (Basis weight) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า MDT ลดลง กระดาษที่ถูกแซะออกมานั้นจะถูกดึงเข้าเป็นม้วนกระดาษฮาร์ดโรลล์ [12], [16], [17]

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆในแต่ละขั้นตอนการผลิตกระดาษที่ خشูกับคุณสมบัติของกระดาษที่ خشูสามารถสรุปและแสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในแต่ละขั้นตอนการผลิตกับคุณสมบัติของกระดาษทิชชู

ขั้นตอนการผลิต	ปัจจัยในกระบวนการผลิต	คุณสมบัติของกระดาษทิชชู	อ้างอิง
การเตรียมเยื่อ (Stock preparation)	%Furnish (อัตราส่วนผสมของเยื่อแต่ละประเภท)	MDT, CDT, Bulk, Brightness	ปณิธาน อินทร์ติยะ, 2012 [10] Foelkel, 2007 [11], Smook, 2002 [12]
	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (Refiner load) (Ampere)	MDT, Bulk	Smook, 2002 [12], Lumiainen, 2000 [13], Pikulik, 1998 [14]
	อัตราการใช้ของสารเคมี Starch	MDT	Smook, 2002 [12]
การขึ้นรูป (Forming)	สัดส่วนระหว่างความเร็วของ Fan pump กับความเร็วของตะแกรงไนลอน (Wire)	CDT	Smook, 2002 [12]
	ระยะห่างระหว่างลูกโรลล์ 2 ลูกที่รีดน้ำออกจากเยื่อใกล้กับ Headbox	MDT, Bulk	Smook, 2002 [12], Pikulik, 1998 [14], Vainio and Paulapuro, 2007 [15]
การรีดน้ำ (Pressing)	ระยะห่างระหว่างลูกอบไอน้ำกับลูกโรลล์ที่มีชุด Vacuum ภายใน	MDT, Bulk	Smook, 2002 [12], Pikulik et al., 1998 [14], Vainio and Paulapuro, 2007 [15]
การอบแห้ง (Drying)	อุณหภูมิที่ผิวของลูกอบไอน้ำ	MDT	Vainio and Paulapuro, 2007 [15]
การเข้าม้วนกระดาษ (Reeling)	อัตราส่วนระหว่างความเร็วของลูกอบไอน้ำกับความเร็วในการเข้าม้วนกระดาษให้เป็นม้วนใหญ่ (Crepe ratio)	MDT, MDS, Bulk, BSW	Smook, 2002 [12], Campbell, 2002 [16], Raunio, Ritala and Makinen, 2012 [17]

บทที่ 3

การศึกษาและวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll A 1ply

3.1 การศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement system analysis, MSA)

ในการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการปรับปรุงเพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นใน 4 คุณสมบัติของกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll A 1 ply ได้แก่ MDT, CDT, MDS และ Bulk ดังนั้นการศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัดจะสนใจเฉพาะการวัด 4 คุณสมบัติดังกล่าวเท่านั้น

การวิเคราะห์ระบบการวัดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Precision) และการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Accuracy) ของระบบการวัด โดยการวิเคราะห์ความถูกต้องจะเป็นการวิเคราะห์ระบบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ส่วนการวิเคราะห์ความแม่นยำเป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัด (Gage R&R) อย่างไรก็ตามเนื่องจากลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์มีความแปรปรวนสูงแม้แต่ในลูกกระดาษโรลล์เดียวกัน จึงไม่สามารถเตรียมตัวอย่างที่มีคุณสมบัติต่างๆเหมือนหรือใกล้เคียงกันได้ ทำให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระบบการวัดไม่น่าเชื่อถือและไม่สามารถนำมาใช้อ้างอิงได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัดด้านการวิเคราะห์ความถูกต้องเท่านั้น ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ความถูกต้องรวมทั้งความถี่และผลของแต่ละคุณสมบัติจะแสดงไว้ในภาคผนวก ก, ข และ ค

จากผลการสอบเทียบของแต่ละเครื่องมือวัดสำหรับคุณสมบัติที่ศึกษาตามที่แสดงในภาคผนวก ก, ข และ ค แสดงให้เห็นว่าทุกเครื่องมือวัดมีผลการสอบเทียบอยู่ในช่วงของขอบเขตที่ควบคุม โดยเครื่องมือวัด Tensile#1 และ 2 ในด้านการวัดคุณสมบัติ MDT นั้นจะเริ่มมีค่าการสอบเทียบเบี่ยงเบนไปจากค่าน้ำหนักมาตรฐานที่น้ำหนัก 500, 1000 และ 2000 กิโลกรัม ซึ่งการเบี่ยงเบนเมื่อสอบเทียบกับน้ำหนักมาตรฐาน 500 และ 1,000 กิโลกรัมจะอยู่มีค่าเบี่ยงเบนไม่เกิน 1 กิโลกรัม หรือเท่ากับ 0.2% และ 0.1% ตามลำดับ ในขณะที่การเบี่ยงเบนเมื่อสอบเทียบกับน้ำหนักมาตรฐาน 2,000 กิโลกรัมจะมีค่าไม่เกิน 3 กิโลกรัมหรือเท่ากับ 0.15% ซึ่งทุกระดับของการสอบเทียบมีค่าเบี่ยงเบนอยู่ในขอบเขตการควบคุมที่ 1% ดังนั้นเครื่องมือวัด Tensile#1 และ 2 มีความถูกต้องในการวัด สำหรับคุณสมบัติ MDT ที่ในช่วงที่ยอมรับได้

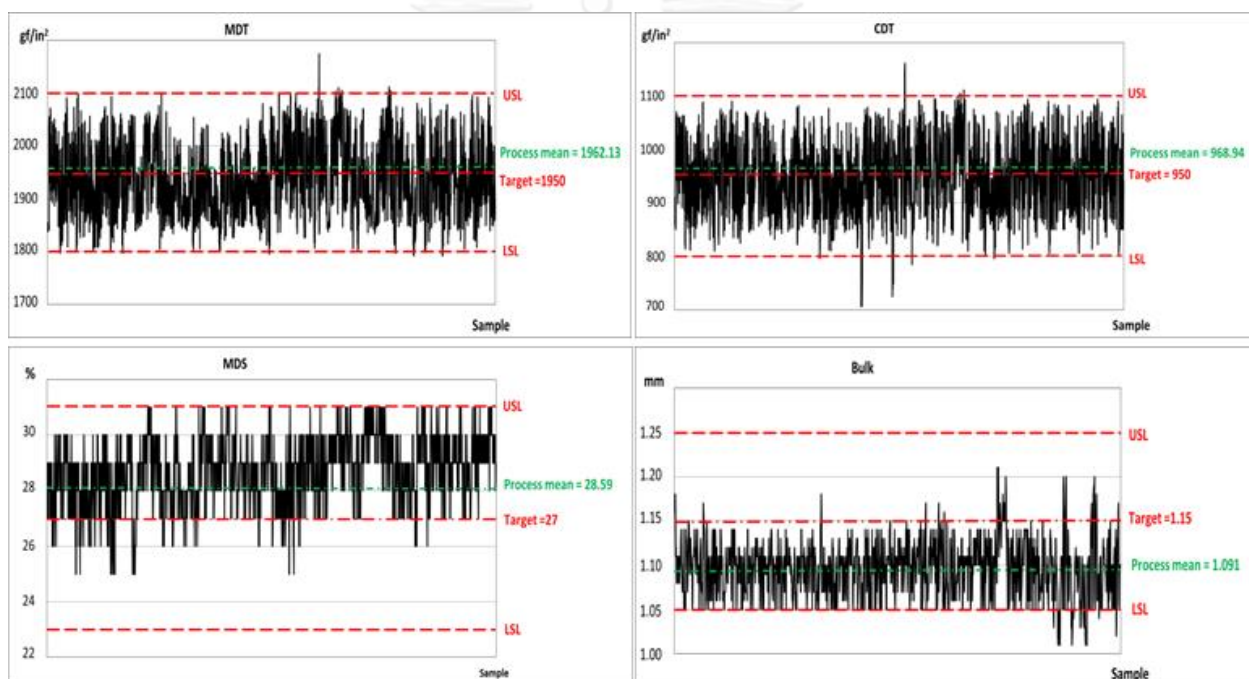
การวิเคราะห์การวัดคุณสมบัติ MDS ของเครื่องมือวัด Tensile#1 และ 2 ผลการสอบเทียบในส่วนของความเร็วชุดจับตัวอย่างโดยเทียบกับความเร็ว Nominal speed ที่ 10 นิ้วต่อนาที และกำหนดขอบเขตค่าเบี่ยงเบนอยู่ในช่วงบวกลบไม่เกิน 13.28% ซึ่งพบว่าผลที่ได้จากการสอบเทียบของเครื่อง Tensile#1 และ 2 อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนด ดังนั้นเครื่องมือวัด Tensile#1 และ 2 มีความถูกต้องในการวัดสำหรับคุณสมบัติ MDS ที่ในช่วงที่ยอมรับได้

การวิเคราะห์เครื่องมือวัดค่า Bulk ทั้งในส่วนของการวัด Parallel และการสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน นั้นมีค่าเบี่ยงเบนอยู่ในช่วงขอบเขตที่ควบคุมทั้ง 2 การวิเคราะห์ โดยค่าเบี่ยงเบนของการวัด Parallel ของเครื่องมือวัด มีค่าเบี่ยงเบนอยู่ในช่วง 0-0.005 โดยที่ขอบเขตควบคุมกำหนดให้ไม่เกิน 0.2 ในขณะที่การสอบเทียบนั้นค่าขอบเขตควบคุมการเบี่ยงเบนอยู่ที่ไม่เกิน 0.015 ซึ่งผลการสอบเทียบมีการเบี่ยงเบนอยู่ในช่วงควบคุมสำหรับทุกช่วง

การสอบเทียบไม่ว่าจะเป็น 0.5, 1.0, 2.0, 2.25, 3.0 และ 5.0 mm ดังนั้นเครื่องมือวัดค่าคุณสมบัติ Bulk ของกระดาษมีความถูกต้องในการวัดที่ยอมรับได้

3.2 การศึกษาความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษที่ชู่เกรด Jumbo roll A 1ply

ในการศึกษาและวิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติต่างๆของกระดาษที่ชู่เกรด Jumbo roll A 1 ply จะเริ่มจากการศึกษาข้อมูลการวัดคุณสมบัติต่างๆที่จะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลาปัจจุบันเพื่อให้ทราบถึงปัญหาของคุณสมบัติแต่ละประเภทก่อนจะทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขต่อไปโดยใช้ผังก้างปลา (Fishbone diagram) เป็นเครื่องมือในการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาที่ทำการศึกษาโดยจะทำการวิเคราะห์ร่วมกับพนักงานจากทุกส่วนที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลการวัดคุณสมบัติต่างๆในช่วงปัจจุบันจะใช้ข้อมูลในช่วงเดือนเมษายนถึงกรกฎาคม 2556 ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 3.1



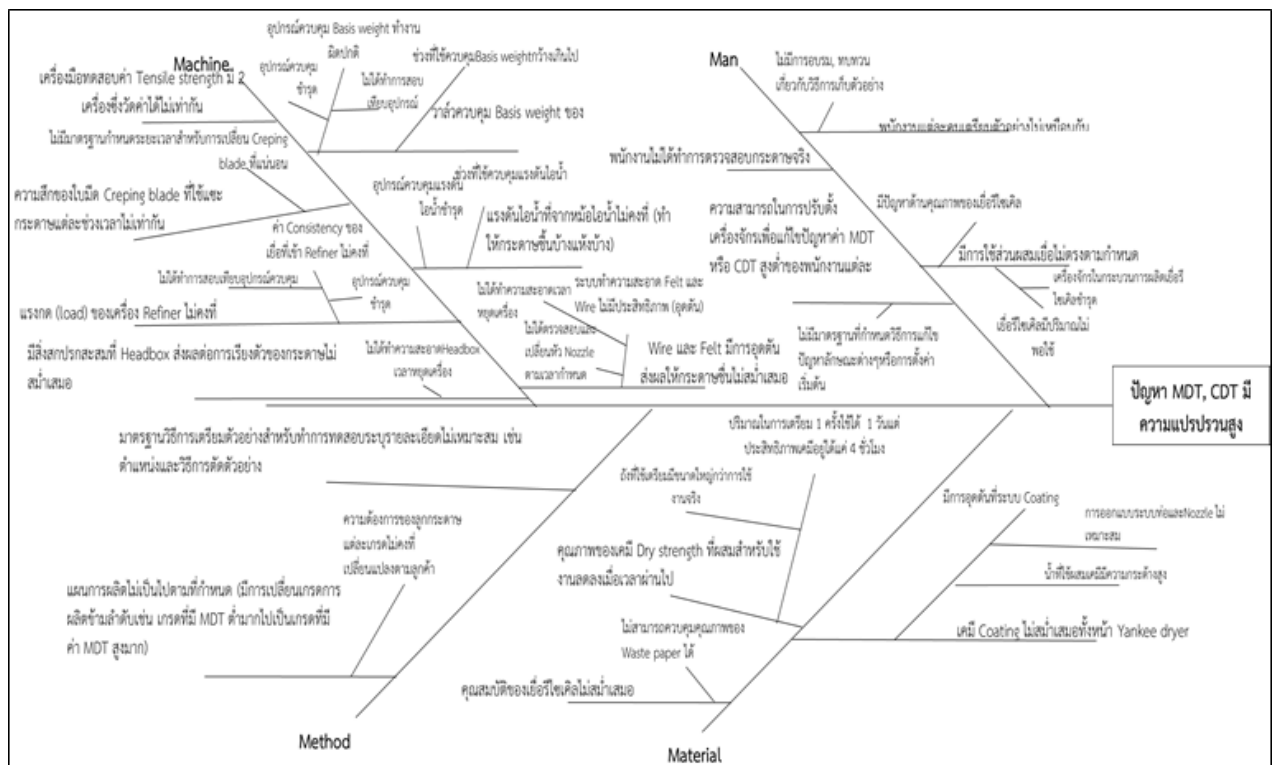
รูปที่ 3. 1 ข้อมูลการวัดคุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk ในช่วงเดือนเมษายน ถึง กรกฎาคม 2556

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นลักษณะของการกระจายตัวของแต่ละคุณสมบัติที่ทำการวัดในช่วงเดือนเมษายนถึงกรกฎาคม 2556 ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะของปัญหาได้ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ปัญหาความแปรปรวนสูงในทุกคุณสมบัติ ดังจะเห็นจากทั้ง 4 คุณสมบัติมีการกระจายตัวของข้อมูลสูงมากโดยเฉพาะ MDT และ CDT ที่ข้อมูลการวัดกระจายตัวตั้งแต่ขอบเขตล่าง (Lower limit, LSL) ไปจนถึงขอบเขตบน (Upper limit, USL) ในขณะที่ MDS และ Bulk ก็พบการกระจายตัวของข้อมูลอยู่ในช่วงครึ่งหนึ่งของขอบเขตข้อกำหนด (Specification range) ในขณะที่ปัญหาถัดมาได้แก่ ปัญหากลุ่มค่าทดสอบของคุณสมบัติมีค่าเอียงอยู่ด้านสูงหรือต่ำกว่าค่าเป้าหมาย (Target) ในคุณสมบัติ MDS และ Bulk ซึ่งจะใช้เป็นหัวข้อในการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุและแนวทางในการแก้ไข

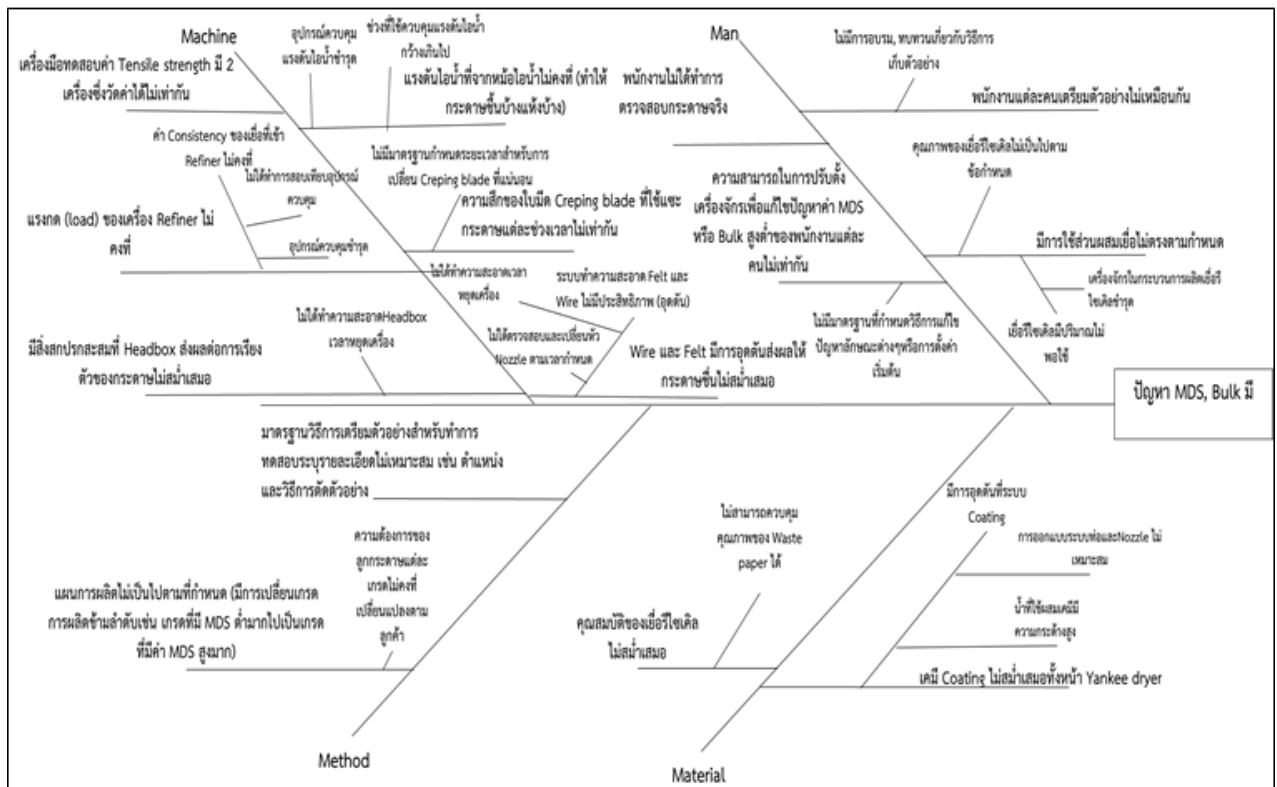
3.3 การวิเคราะห์สาเหตุความแปรปรวนของคุณสมบัติของกระดาษที่ชู่เกรด Jumbo roll A 1ply

ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนของคุณสมบัติที่จะทำการวิจัยได้แก่ MDT, CDT, MDS และ Bulk จะทำการวิเคราะห์ผ่านผังก้างปลา (Fishbone diagram) โดยมีหัวข้อของปัญหาที่จะทำการวิเคราะห์คือ

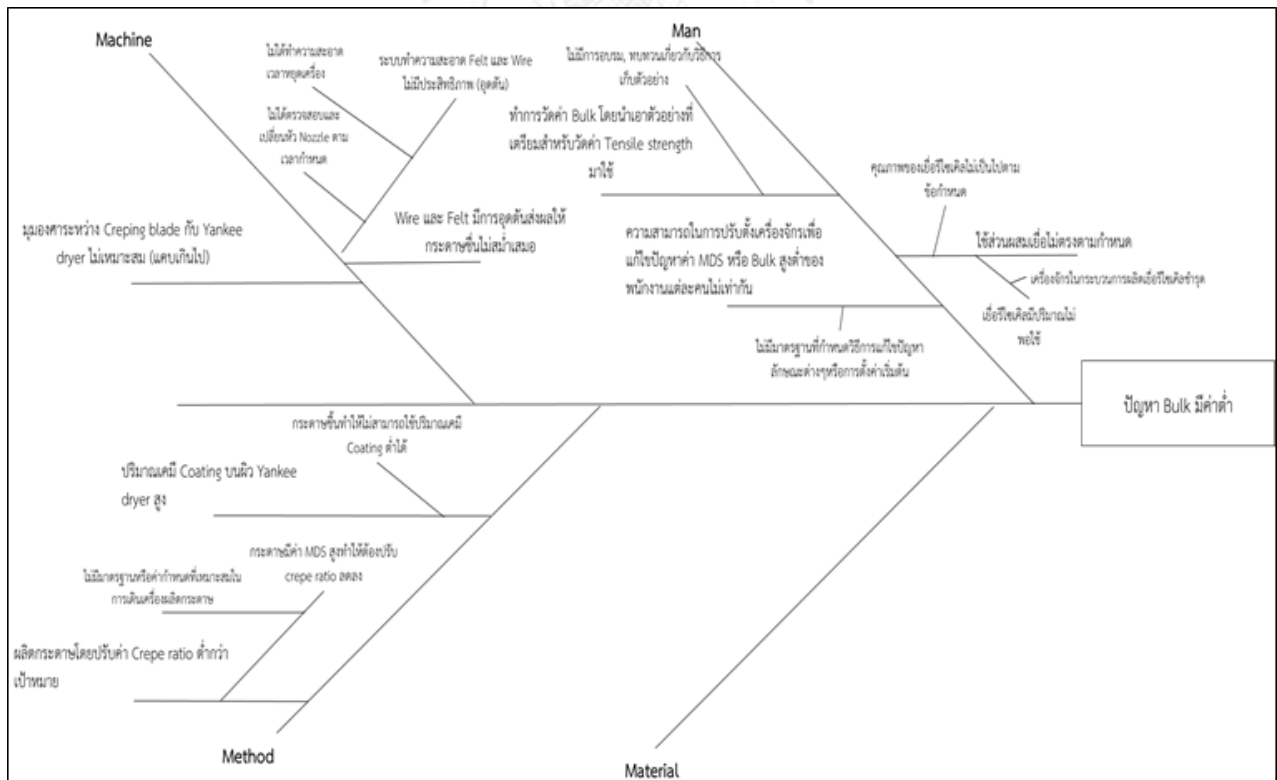
ปัญหาความแปรปรวนสูงในคุณสมบัติ MDT และ CDT (การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติ MDT และ CDT จะได้รับผลมาจากปัจจัยลักษณะเดียวกันจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุร่วมกัน) ปัญหาความแปรปรวนสูงในคุณสมบัติ MDS และ Bulk (การเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติ MDS และ Bulk จะได้รับผลมาจากปัจจัยลักษณะเดียวกันจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุร่วมกัน) และปัญหาค่าของคุณสมบัติ Bulk ต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด (ปัญหาคุณสมบัติ MDS มีค่าสูงนั้นเกิดขึ้นเนื่องมาจากปัญหาคุณสมบัติ Bulk มีค่าต่ำ ส่งผลให้พนักงานต้องทำการเดินเครื่องเพื่อให้ค่า Bulk สูงขึ้นซึ่งส่งผลทำให้ค่า MDS ต่ำลง) ผลการวิเคราะห์ผ่านผังก้างปลาของแต่ละปัญหาจะแสดงดังรูปที่ 3.2, 3.3 และ 3.4



รูปที่ 3. 2 ผังก้างปลาการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณสมบัติ MDT และ CDT มีความแปรปรวนสูง



รูปที่ 3. 3 ผังก้างปลาการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณสมบัติ MDS และBulk มีความแปรปรวนสูง



รูปที่ 3. 4 ผังก้างปลาการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณสมบัติ Bulk มีความต่ำกว่าค่าเป้าหมาย

จากรูปที่ 3.2, 3.3 และ 3.4 พบว่าปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 ปัญหา มีสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อทุกปัญหา เช่น การไม่มีมาตรฐานกำหนดวิธีการแก้ไขปัญหาหรือการตั้งค่าเครื่องจักรเริ่มต้นที่เหมาะสม รวมไปถึงการไม่มีการอบรมหรือทบทวนวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยสาเหตุแต่ละข้อนั้นจะมีแนวทางการแก้ไขเพื่อปรับปรุงที่แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นการแก้ไขที่สามารถลงมือได้เลยและได้ผลทันที หรือว่าเป็นการแก้ไขที่จะต้องมีการวางแผนกำหนดแนวทางอย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ ผลกระทบต่อแต่ละปัญหาของแต่ละคุณสมบัติและแนวทางการแก้ไข ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ ผลกระทบต่อแต่ละปัญหาของแต่ละคุณสมบัติและแนวทางการแก้ไข

สาเหตุของปัญหา	ผลกระทบ (ปัญหา)	การแก้ไข	ทำได้ทันที
มาตรฐานวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบระบุรายละเอียดไม่ครบถ้วน เช่น ตำแหน่งและวิธีการตัดตัวอย่าง	-ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ทำการตรวจสอบและกำหนดมาตรฐานวิธีการเตรียมตัวอย่าง	✓
ไม่มีการอบรม, ทบทวนเกี่ยวกับวิธีการเตรียมตัวอย่าง	-ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk -Bulk มีค่าต่ำ	ทำการอบรมวิธีการเตรียมตัวอย่างที่ถูกต้องสำหรับทำการวิเคราะห์แต่ละคุณสมบัติให้กับพนักงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด รวมทั้งกำหนดระยะเวลาสำหรับการทบทวน	✓
ไม่มีมาตรฐานที่กำหนดวิธีการแก้ไขปัญหาลักษณะต่างๆหรือการตั้งค่าเริ่มต้น	-ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk -Bulk มีค่าต่ำ	ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคุณสมบัติกับปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง	✓
เยื่อรีไซเคิลมีปัญหาด้านคุณภาพ (เฉดสี)	-ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk -Bulk มีค่าต่ำ	-ทำการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนระหว่างสารเคมีพอกเยื่อกับปริมาณเยื่อรีไซเคิลเพื่อให้ได้ค่าเฉดสีที่อยู่ในข้อกำหนด	✗
เครื่องจักรในกระบวนการผลิตเยื่อรีไซเคิลชำรุด	-ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk -Bulk มีค่าต่ำ	วิเคราะห์ประวัติการชำรุดของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเยื่อรีไซเคิลเพื่อกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงรวมทั้งสำรองอะไหล่ที่จำเป็น	✗
พนักงานไม่ได้ทำการตรวจสอบกระดาษจริง	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ทำการสุ่มตรวจสอบข้อมูลการตรวจวัดของพนักงานเทียบกับข้อมูลที่ทำโดย QC	✓

ตารางที่ 3. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ ผลกระทบต่อแต่ละปัญหาของแต่ละคุณสมบัติและแนวทางการแก้ไข (ต่อ)

สาเหตุของปัญหา	ผลกระทบ (ปัญหา)	การแก้ไข	ทำได้ทันที
อุปกรณ์ควบคุม Basis weight ชำรุด	ความแปรปรวนของ MDT และ CDT	วิเคราะห์ประวัติการชำรุดของ อุปกรณ์ ควบคุม Basis weight เพื่อกำหนด ระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุง รวมทั้งสำรองอะไหล่ที่จำเป็น	✓
ไม่ได้ทำการสอบเทียบ อุปกรณ์ควบคุม Basis weight	ความแปรปรวนของ MDT และ CDT	กำหนดระยะเวลาสำหรับการสอบเทียบ อุปกรณ์ควบคุม Basis weight ทุกสัปดาห์	✓
ช่วงที่ใช้ควบคุมBasis weightกว้างเกินไป	ความแปรปรวนของ MDT และ CDT	ตรวจสอบช่วงที่ใช้ควบคุมค่า Basis weight ของอุปกรณ์ว่าเหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือไม่ หากไม่เหมาะสมให้ทำการแก้ไข	✓
เครื่องมือทดสอบค่า Tensile strength มี 2 เครื่องซึ่งวัดค่าได้ไม่เท่ากัน	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ วัด Tensile strength ทั้ง 2 เครื่องเทียบกับ ลูกตุ้มน้ำหนักมาตรฐานเดียวกัน	✓
อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำชำรุด	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	วิเคราะห์ประวัติการชำรุดของ อุปกรณ์ ควบคุมแรงดันไอน้ำ เพื่อกำหนดระยะเวลาที่ เหมาะสมในการซ่อมบำรุง รวมทั้งสำรอง อะไหล่ที่จำเป็น	✓
ช่วงที่ใช้ควบคุมแรงดันไอน้ำกว้างเกินไป	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ตรวจสอบช่วงที่ใช้ควบคุมค่า แรงดันไอน้ำ ของอุปกรณ์ว่าเหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือไม่ หากไม่เหมาะสมให้ทำการแก้ไข	✓
ไม่มีมาตรฐานกำหนด ระยะเวลาสำหรับการ เปลี่ยน Creping blade ที่แน่นอน	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ทำการทดลองเพื่อศึกษาความแปรปรวนของ คุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk ที่ ระยะเวลาการเปลี่ยน Creping blade ต่างๆ	✓
ไม่ได้ทำความสะอาด ระบบทำความสะอาด Felt และ Wire เวลาหยุด เครื่อง	-ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk -Bulk มีค่าต่ำ	กำหนดระยะเวลาทำความสะอาดระบบทำ ความสะอาด Felt และ Wire ทุกครั้งที่มีแผน หยุดเครื่องซ่อมบำรุง	✓

ตารางที่ 3. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ ผลกระทบต่อแต่ละปัญหาของแต่ละคุณสมบัติและแนวทางการแก้ไข (ต่อ)

สาเหตุของปัญหา	ผลกระทบ (ปัญหา)	การแก้ไข	ทำได้ทันที
ไม่ได้ตรวจสอบและเปลี่ยนหัว Nozzle ทำความสะอาด Felt และ Wire ตามเวลากำหนด	-ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk -Bulk มีค่าต่ำ	ติดตั้งบอร์ดเพื่อแสดงวันที่เปลี่ยนหัว Nozzle สำหรับทำความสะอาด Felt และ Wire รวมทั้งระบุวันที่ทำการเปลี่ยนครั้งต่อไป	✓
อุปกรณ์ควบคุมค่า Consistency ของเยื่อเข้าเครื่อง Refiner ชำรุด	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	วิเคราะห์ประวัติการชำรุดของ อุปกรณ์ควบคุม Consistency ของเยื่อเข้าเครื่อง Refiner เพื่อกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุง รวมทั้งสำรองอะไหล่ที่จำเป็น	✓
ไม่ได้ทำการสอบเทียบ อุปกรณ์ควบคุมค่า Consistency ของเยื่อเข้าเครื่อง Refiner	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	กำหนดระยะเวลาสำหรับการสอบเทียบ อุปกรณ์ควบคุมค่า Consistency ของเยื่อเข้าเครื่อง Refiner	✓
ไม่ได้ทำความสะอาด Headbox เวลาหยุดเครื่อง	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	กำหนดระยะเวลาทำความสะอาด Headbox ทุกครั้งที่มีแผนหยุดเครื่องซ่อมบำรุง	✓
การออกแบบระบบท่อ และ Nozzle ของเคมี Coating ไม่เหมาะสม ทำให้อุดตัน	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ทำการศึกษาขนาดท่อเคมี การติดตั้ง Static mixer ขนาดหัว Nozzle รวมทั้งระยะห่างจาก Yankee dryer ที่เหมาะสมและทำการแก้ไข	✓ (บางส่วน)
น้ำที่ใช้ผสมเคมี Coating มีความกระด้างสูง	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ติดตั้งเครื่อง Reverse osmosis เพื่อผลิตน้ำ R.O. สำหรับใช้ผสมเคมี Coating	✓
ถังที่ใช้เตรียมสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งมีขนาดใหญ่กว่าการใช้งานจริง	ความแปรปรวนของ MDT และ CDT	ทดลองเพื่อหาอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งที่เหมาะสมและคำนวณขนาดถังผสมเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้เคมี 4 ชั่วโมง	✗
คุณภาพของ Waste paper ไม่สามารถควบคุมได้	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk		✗

ตารางที่ 3. 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ ผลกระทบต่อแต่ละปัญหาของแต่ละคุณสมบัติและแนวทางการแก้ไข (ต่อ)

สาเหตุของปัญหา	ผลกระทบ (ปัญหา)	การแก้ไข	ทำได้ทันที
ความต้องการของลูกค้า กระดาษแต่ละเกรดไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงตามลูกค้า ทำให้มีการเปลี่ยนเกรดกระดาษไม่เป็นไปตามลำดับที่กำหนด	ความแปรปรวนของ MDT, CDT, MDS และ Bulk	ประชุมร่วมกับแผนกวางแผนการผลิตทุกสัปดาห์เพื่อกำหนดแผนการผลิตร่วมกันโดยพยายามให้มีการเปลี่ยนเกรดที่ไม่เป็นไปตามลำดับน้อยที่สุด	✓
มุมมองสารระหว่าง Creping blade กับ Yankee dryer ไม่เหมาะสม (แคบเกินไป)	Bulk มีค่าต่ำ	ทดลองเพื่อหามุมที่เหมาะสมระหว่างใบมีด Creping กับ Yankee dryer	✓
มีปัญหากระดาษขึ้นทำให้ไม่สามารถใช้ปริมาณเคมี Coating ต่ำได้	Bulk มีค่าต่ำ	ทำการแก้ไขปัญหา Felt อุดตัน และแรงดันไอน้ำไม่คงที่ซึ่งจะทำให้ปัญหากระดาษขึ้นหมดไป	✗

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าแนวทางการแก้ไขส่วนมากสามารถลงมือปฏิบัติได้ทันที และบางแนวทางไม่สามารถทำได้เนื่องจากอยู่นอกเหนือการควบคุมของโรงงาน หรือต้องใช้เวลาลงทุน หรือต้องใช้ระยะเวลานานในการศึกษาและแก้ไข ซึ่งแนวทางที่สามารถแก้ไขได้ทันทีนั้นยังแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การแก้ไขที่ไม่สลับซับซ้อน ลงมือแก้ไขได้เลย กับการแก้ไขที่สลับซับซ้อนต้องมีการวางแผนออกแบบการทดลองอันได้แก่ ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคุณสมบัติกับปัจจัยนำเข้าของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 4

การดำเนินการปรับปรุง

จากการศึกษาลักษณะและวิเคราะห์สาเหตุของความแปรปรวนของแต่ละคุณสมบัติในบทที่ 3 สามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงได้ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆได้แก่ แนวทางการปรับปรุงที่สามารถดำเนินการได้เลยและได้ผลทันที และแนวทางการปรับปรุงที่ต้องมีการวางแผนกำหนดแนวทางอย่างเป็นระบบ (Design of experiment, D.O.E.) ดังแสดงในตารางที่ 4

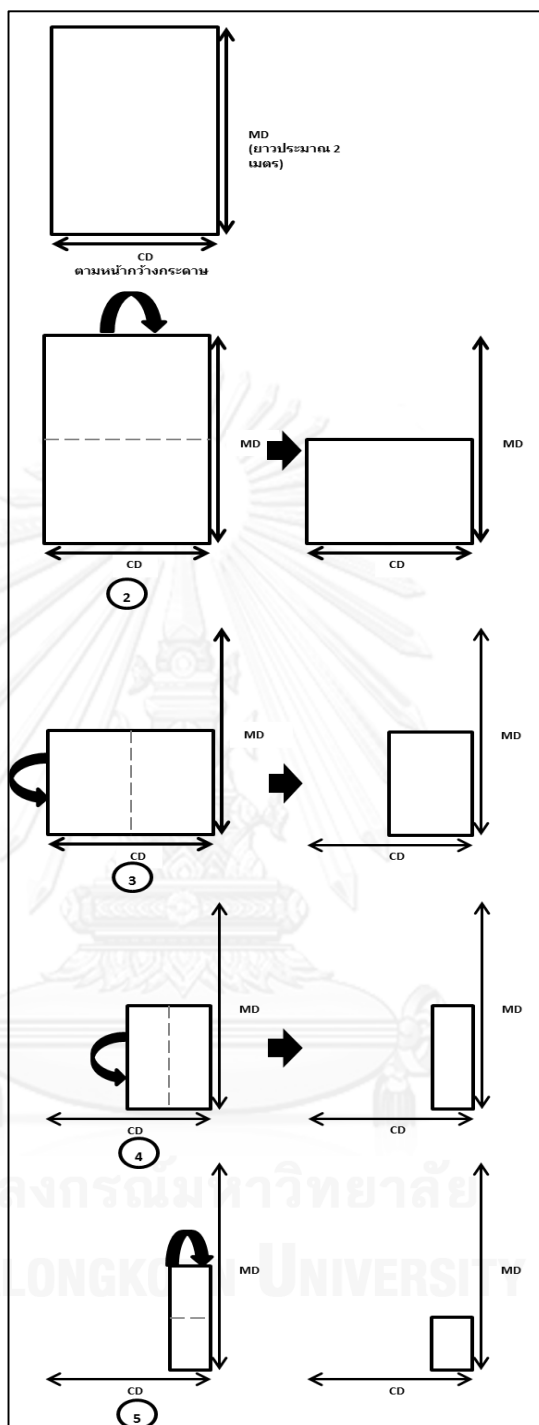
4.1 แนวทางการปรับปรุงที่สามารถดำเนินการได้เลยและได้ผลทันที

แนวทางการปรับปรุงที่สามารถดำเนินการได้เลยและได้ผลทันทีนั้นยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ แนวทางการปรับปรุงที่เกี่ยวกับเอกสารและ แนวทางการปรับปรุงที่เครื่องจักรหรือเครื่องมือ

4.1.1 แนวทางการปรับปรุงด้านเอกสาร

ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงที่เกี่ยวกับด้านเอกสาร การอบรม การสุ่มตรวจ และการกำหนดแผนต่างๆ ได้แก่

- การจัดทำมาตรฐานการเตรียมตัวอย่างและทำการอบรม โดยเริ่มจากการสังเกตวิธีการเตรียมตัวอย่างของพนักงานทุกคนในปัจจุบันแล้วจึงสร้างวิธีการเตรียมตัวอย่างที่เป็นมาตรฐานขึ้น (รูปที่ 4.1) ซึ่งจะอธิบายขั้นตอนต่างๆตั้งแต่การพบกระดาษเพื่อตัดเป็นตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยจะมีการแสดงรูปและรายละเอียดทุกขั้นตอน ก่อนทำการอบรมให้พนักงานทุกคนทราบและเข้าใจ เพื่อให้การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบคุณสมบัติทุกค่าเป็นไปในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 4. 1 วิธีการพับกระดาษสำหรับเตรียมตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ

- การสุ่มตรวจสอบข้อมูลการวัดของพนักงานเปรียบเทียบกับข้อมูลการวัดของ QC เพื่อให้แน่ใจว่าพนักงานได้ทำการวัดคุณสมบัติต่างๆตามที่กำหนดจริง จึงได้จัดให้มีทาง QC เตรียมตัวอย่างจากลูกกระดาษลูกเดียวกับที่พนักงานตรวจสอบ มาทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่า ซึ่งจากการสุ่มตรวจพนักงานทุกกะ พบว่าค่าได้

QC กับค่าที่พนักงานทดสอบได้มีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงได้ว่าพนักงานทุกกะทำการตรวจสอบคุณสมบัติจริงตามที่กำหนด

- การวิเคราะห์ประวัติการชำรุดของอุปกรณ์ควบคุม Basis weight อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำและอุปกรณ์ควบคุมค่า Consistency ของเยื่อเข้าเครื่อง Refiner เพื่อกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมในการซ่อมบำรุงสำหรับอุปกรณ์ควบคุม Basis weight และค่า Consistency จะมีการกำหนดความถี่ในการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ทุกๆ 3 เดือนว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามปกติหรือไม่ มีการติดขัดที่วาล์วหรือไม่ ส่วนอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำจะมีแผนการตรวจสอบสภาพทุกๆ 1 ปี อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ควบคุมทั้งหมดจะมีแผนการตรวจสอบทุกๆ สัปดาห์เพื่อให้ทราบถึงสภาพการใช้งานตลอดเวลาและหากพบว่าเริ่มมีสัญญาณผิดปกติจะมีการแจ้งเพื่อวางแผนการซ่อมบำรุงก่อนที่จะเกิดการชำรุดและส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของสินค้าได้ โดยที่ผ่านมายังไม่พบประวัติการชำรุดของอุปกรณ์ควบคุมใดๆ ในกระบวนการที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากการวางแผน จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลา ความถี่ที่กำหนดไว้สำหรับการซ่อมบำรุงรวมทั้งการติดตามสภาพของอุปกรณ์ควบคุม Basis weight อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำและอุปกรณ์ควบคุมค่า Consistency ในปัจจุบัน มีความเหมาะสม ไม่จำเป็นต้องทำการแก้ไข
- จัดทำแผนสำหรับการสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุม Basis weight และ Consistency ของเยื่อเข้าเครื่อง Refiner ทุกสัปดาห์ โดยกำหนดให้ QC เป็นผู้เก็บตัวอย่างเยื่อกระดาษที่ผ่านอุปกรณ์ควบคุม Basis weight และ Consistency เข้าเครื่อง Refiner มาทดสอบในห้องปฏิบัติการ และนำค่าที่ได้เทียบกับค่าที่อุปกรณ์ควบคุมแสดงเพื่อแจ้งให้ทางฝ่ายเครื่องมือวัดของโรงงานทำการแก้ไขหากพบว่ามีค่าแตกต่างกันมากกว่าขอบเขตที่กำหนด
- มีการระบุให้ทำความสะอาดระบบทำความสะอาด Felt และ Wire รวมทั้งทำความสะอาด Headbox ทุกครั้งที่มีการหยุดซ่อมบำรุงเครื่องจักรตามแผน Preventive Maintenance (PM) หรือทุกๆ 2 เดือน โดยมีการระบุรายละเอียดขั้นตอนของการทำงาน ผู้รับผิดชอบ เพื่อให้เป็นมาตรฐานในการทำงานสำหรับพนักงานทุกคน
- กำหนดให้มีการประชุมร่วมกับฝ่ายวางแผนการผลิต (Planner) ทุกสัปดาห์ในวันพฤหัสบดี เพื่อกำหนดแผนการผลิตในสัปดาห์ถัดไปร่วมกัน รวมทั้งจัดทำเอกสารที่ระบุลำดับของการผลิตเกรดกระดาษต่างๆ ซึ่งจะทำให้กระดาษที่มีคุณสมบัติเหมือนหรือใกล้เคียงกันถูกวางแผนให้ผลิตต่อกัน และง่ายต่อการปรับตั้งค่าต่างๆ ของเครื่องจักรและสารเคมี
- ติดตั้งบอร์ดเพื่อแสดงวันที่ทำการเปลี่ยนหัว Nozzle ของระบบทำความสะอาด Felt และ Wire เพื่อให้ทำการเปลี่ยนตามระยะเวลาที่กำหนด (ทุกๆ 6 เดือน) ดังแสดงในรูปที่ 4.2

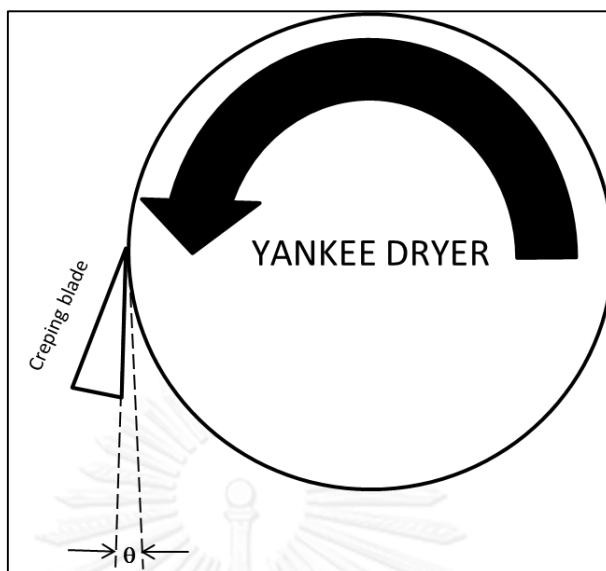
รายการ	วันที่เปลี่ยน	เปลี่ยนครั้งถัดไป
Felt		
Wire		
Nozzle HP Felt		
Nozzle HP Wire		
Nozzle Coating		
Nozzle Edge Spray		
Nozzle Flood Nip		

รูปที่ 4. 2 บอร์ดวันที่ทำการเปลี่ยนหัว Nozzle ของระบบทำความสะอาด Felt และ Wire

4.1.2 แนวทางการปรับปรุงที่เครื่องจักรหรือเครื่องมือ

เป็นการปรับปรุงแก้ไขที่มีการปรับส่วนต่างๆของเครื่องจักร การเก็บข้อมูลในส่วนต่างๆของเครื่องหรือกระบวนการและนำมาวิเคราะห์เพื่อทำการปรับปรุงต่อไป ได้แก่

- ตรวจสอบช่วงที่ใช้ควบคุมค่า Basis weight ของอุปกรณ์ว่าเหมาะสมกับกระบวนการผลิตหรือไม่ ทางโรงงานกรณีศึกษาติดตั้ง Flow transmitter เป็นอุปกรณ์ควบคุมค่า Basis weight โดยพนักงานจะทำการตรวจสอบค่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ผลิตออกมาแล้วนำไปปรับเพิ่มหรือ ลด อัตราการไหลของเยื่อที่ผ่านชุดควบคุม Basis weight ซึ่งจะแสดงค่าเป็นทั้งเปอร์เซ็นต์การเปิดปิดวาล์วควบคุม และอัตราการไหลของเยื่อ (Flow rate) โดยมีช่วงของการควบคุมอัตราการไหลอยู่ที่ 0-900 ลิตร/นาที่ ซึ่งครอบคลุมช่วงที่ใช้ในกระบวนการผลิต (ไม่เกิน 700 ลิตร/นาที่) ในขณะที่ตัวอุปกรณ์นั้นมีแผนการสอบเทียบจากบริษัทภายนอกเพื่อตรวจสอบการตอบรับสัญญาณของอุปกรณ์ ซึ่งผลการสอบเทียบอยู่ในขอบเขตที่กำหนดทั้งหมด โดยรายละเอียดผลการสอบเทียบถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ง
- ตรวจสอบช่วงที่ใช้ควบคุมค่า แรงดันไอน้ำของอุปกรณ์ว่าเหมาะสมกับกระบวนการผลิตหรือไม่ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมแรงดันไอน้ำ ทางโรงงานติดตั้งวาล์วควบคุมแรงดัน (Pressure control) โดยมีช่วงควบคุมแรงดันอยู่ที่ 0-15 kg/cm² ในขณะที่กระบวนการผลิตมีการใช้แรงดันไอน้ำอยู่ที่ 8.7 kg/cm² ซึ่งอยู่ในช่วงควบคุมของอุปกรณ์ นอกจากนี้ทางโรงงานยังกำหนดให้มีการสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำปีละครั้งโดยบริษัทภายนอก โดยผลการสอบเทียบทั้งหมดอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ดังแสดงไว้ในภาคผนวก จ
- ทำการปรับมุมของใบมีด Creping กับ Yankee dryer เพื่อให้ได้ค่า Bulk ของกระดาษสูงขึ้น เป็นการปรับ Creping blade เพื่อเพิ่มมุมระหว่าง Blade กับ Yankee dryer (มุม θ ดังแสดงในรูปที่ 4.3) โดยใช้เครื่องมือ Angle gauge (รูปที่ 4.4) ในการวัด เริ่มจากการวาง Angle gauge ที่ผิวของ Yankee dryer แล้วกดปุ่ม Set zero หลังจากนั้นจึงทำการโหด Creping blade และทำการวัดมุมแล้วจึงปรับแขนยึด Creping blade ขึ้นเพื่อให้มุม θ เพิ่มขึ้นตามมาตรฐานของโรงงานกำหนด มุม θ ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มุมที่กระดาษกระทบกับ Creping blade เปลี่ยนไป ซึ่งจะทำให้กระดาษย่นมากขึ้นส่งผลให้ค่า Bulk เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4. 3 มุมระหว่าง Creping blade กับ Yankee dryer



รูปที่ 4. 4 อุปกรณ์ Angle gauge

เก็บข้อมูลของคุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk ที่ระยะเวลาการเปลี่ยน Creping blade ต่างกัน เนื่องจากในขั้นตอนการแซะกระดาษ (Creping) ออกจากลูกอบไอน้ำเพื่อเข้าม้วนเป็นลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์แต่ละเกรดจะมีระยะเวลาการใช้ Creping blade ไม่เท่ากัน (จำนวนลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ต่อ Creping blade) แม้กระทั่งในเกรดเดียวกันก็อาจจะมีระยะเวลาการใช้ Creping blade ที่แตกต่างกัน ปัจจุบันเกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการเปลี่ยน Creping blade จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่างๆของลูกกระดาษ เช่น การเรียงตัว (Formation), MDT, CDT, MDS และ Bulk เป็นต้น โดยพิจารณาแค่คุณสมบัติต่างๆมีค่าไม่ออกนอกช่วงขอบเขตควบคุมเท่านั้นโดยไม่ได้พิจารณาถึงความแปรปรวนที่เกิดขึ้น หลังจากทำการเก็บข้อมูลคุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk ในการเปลี่ยน Creping blade แต่ละระยะเวลา (ตั้งแต่เปลี่ยนทุก ฮาร์ดโรลล์ไปถึงเปลี่ยนทุก 8 ลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ แล้วนำมาคำนวณหาความแปรปรวนเมื่อเทียบกับขอบเขตควบคุม (CI) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 ความแปรปรวน (CI) ของแต่ละคุณสมบัติที่ทำการศึกษาที่ระยะเวลาการใช้ Creping blade แตกต่างกัน

ระยะเวลาการใช้ Creping blade (จำนวนลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์)	ความแปรปรวน (CI \leq 0.85)			
	MDT	CDT	MDS	BULK
1	-	-	-	-
2	0.44	0.01	0.53	0.57
3	0.60	0.24	0.43	0.61
4	0.57	0.25	0.38	0.62
5	0.70	0.41	0.53	0.81
6	0.74	0.45	0.56	0.94
7	0.89	0.46	1.20	1.26
8	1.04	0.81	1.59	1.60

จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าระยะเวลาในการใช้ Creping blade ที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาจากค่าความแปรปรวน (CI \leq 0.85) คือ เปลี่ยน Creping blade ทุกๆ 5 ลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์หรือน้อยกว่านั้นซึ่งได้ทำการสื่อสารและกำหนดเป็นมาตรฐานชั่วคราวสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อทำการติดตามผลและแก้ไขให้เหมาะสมอีกครั้ง

- ทำการติดตั้งชุด Static mixer ในระบบท่อเคมี Coating (รูปที่ 4.5) รวมทั้งมีการนำน้ำ Reverse Osmosis (R.O.) (รูปที่ 4.6) มาผสมใช้กับน้ำประปาโรงงานสำหรับระบบเคมี Coating เพื่อป้องกันการอุดตันของเคมี Coating ในระบบ เนื่องจากเคมีดังกล่าวจะมีส่วนประกอบของฟอสเฟตซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมที่อยู่ในน้ำจะเกิดเป็นตะกักรันอุดตันในระบบได้ ดังนั้นการนำน้ำ R.O. มาผสมใช้ ประกอบกับการมี Static mixer เพิ่มประสิทธิภาพในการผสมจะช่วยลดโอกาสเกิดตะกักรันขึ้น



รูปที่ 4. 5 อุปกรณ์ Static mixer ติดตั้งที่ระบบเคมี Coating



รูปที่ 4. 6 อุปกรณ์ Reverse osmosis สำหรับผลิตน้ำ R.O. ใช้ในระบบเคมี Coating

4.2 แนวทางการปรับปรุงที่ต้องมีการวางแผนกำหนดแนวทางอย่างเป็นระบบ (Design of Experiment, D.O.E.)

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้การออกแบบการทดลองอย่างเป็นระบบโดยใช้ความรู้ทางด้าน Design of Experiment ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและปัจจัยตอบสนองที่ต้องการซึ่งได้แก่คุณสมบัติต่างๆของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์ โดยเลือกใช้วิธี Central Composite Design (CCD) ในการหาความสัมพันธ์ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในแต่ละขั้นตอนการผลิตกับคุณสมบัติของกระดาษที่ขูดซึ่งแสดงในตารางที่ 3 เทียบกับกระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า มีปัจจัยนำเข้าที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้และเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติที่ต้องการปรับปรุง (MDT, CDT, MDS และ Bulk) อยู่ 2 ปัจจัย (Factor) ได้แก่ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (Refiner load) มีหน่วยเป็น Ampere และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (Dry strength) มีหน่วยเป็น cc/minute สำหรับปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อคุณสมบัติที่ทำการศึกษาเช่น %Furnish หรือ

อัตราส่วนระหว่างความเร็วของลูกอบไอน้ำกับความเร็วในเข้มนกระดาศให้เป็นม้วนใหญ่ (Crepe ratio) นั้นทางโรงงานไม่อนุญาตให้ทำการปรับเปลี่ยนเนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านอื่นๆของสินค้าเช่นการจัดเรียงตัวของกระดาศ (Formation) ซึ่งวิธี CCD จะมีการทดสอบความสัมพันธ์ที่จุด Axial point ซึ่งเป็นค่าที่ทางโรงงานไม่เคยใช้ในการผลิตซึ่งจะทำให้ผลการทดลองครอบคลุมพื้นที่มากกว่าที่เคยดำเนินการผลิตและจะเป็นประโยชน์ในกรณีที่คำตอบที่กำลังศึกษาอยู่นอกค่าที่เคยดำเนินการผลิต วิธี CCD ที่มีปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัยจะมีวิธีการคำนวณหาค่า α ซึ่งใช้ในการหาค่าของจุด Star เท่ากับ 1.414 [18] โดยในการออกแบบการทดลองที่ระดับต่างๆของแต่ละปัจจัยจะต้องมีการแปลงค่าต่างๆของแต่ละระดับให้เป็น code ($\pm\alpha$, ± 1 และ 0) เสียก่อน ซึ่งระดับต่างๆของแต่ละปัจจัยนำเข้าสามารถใช้ขอบเขตของแต่ละปัจจัยที่ถูกกำหนดในกระบวนการผลิตปัจจุบัน (Centerline log sheet) ซึ่งมีการระบุขอบเขตล่าง ค่าเป้าหมาย และขอบเขตบน ที่อนุญาตให้ทำการปรับเปลี่ยนค่าได้ มาปรับใช้เป็นระดับต่างๆของการทดลอง CCD โดยเป็นค่าที่ขอบเขตล่างจะเท่ากับตำแหน่ง -1 ค่าเป้าหมายเป็นตำแหน่ง 0 และขอบเขตบนเป็นตำแหน่ง +1 ส่วนค่า $-\alpha$ และ α นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1.414 เท่าของค่าขอบเขตล่างและบนของแต่ละปัจจัย โดยพิจารณาไม่ให้เกิดความเสียหายในกระบวนการผลิต ในขณะที่จำนวนการทดลองซ้ำของจุด Center point ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 2-4 ครั้ง [5] ซึ่งในการวิจัยนี้จะทำการทดลองซ้ำที่จุด Center point 3 ครั้ง ซึ่งการวิจัยโดยวิธี CCD สามารถออกแบบการทดลองได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธี Central composite design สำหรับ 2 ปัจจัยนำเข้า

Standard order	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ; X1 (Ampere)	อัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง; X2 (cc/min)	Coded Unit X1	Coded Unit X2	Run type
1	29	500	-1	-1	Factorial point
2	29	2500	-1	1	Factorial point
3	35	2500	1	1	Factorial point
4	35	500	1	-1	Factorial point
5	28	1500	$-\alpha$	0	Axial point
6	36	1500	α	0	Axial point
7	32	100	0	$-\alpha$	Axial point
8	32	2900	0	α	Axial point
9	32	1500	0	0	Center point
10	32	1500	0	0	Center point
11	32	1500	0	0	Center point

โดยปกติการทดลองนั้นจะมีการสุ่มลำดับการทดลอง แต่เมื่อพิจารณากระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าไม่สามารถสุ่มการทดลองได้เนื่องจากในการทดลองแต่ละการทดลองจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าแล้วต้องรอให้กระบวนการและคุณภาพของลูกกระดาศฮาร์ดโรลล์นิ่งเสียก่อนจึงจะสามารถเก็บตัวอย่างไปทำการ

ทดสอบคุณภาพได้ ทำให้หากการทดลองเริ่มโดยอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (X2) ปริมาณมากแล้ว เปลี่ยนมาเป็นทดลองที่อัตราการใช้เคมีต่ำ จะต้องใช้เวลาในการรอให้ผลกระทบบจากสารเคมีที่ยังคงค้าง หรือวนอยู่ในกระบวนการผลิตเป็นเวลานานซึ่งจะส่งผลให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงผลกระทบดังกล่าว การทดลองจะกำหนดลำดับการทดลองโดยเริ่มจากอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (X2) ปริมาณน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุด สำหรับปัจจัยในส่วนของ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (X1) ในแต่ละระดับของอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (X2) จะถูกจัดลำดับโดยการสุ่มในขณะที่ตัวแปรอื่นๆที่อยู่นอกเหนือการวิจัย เช่น ความเร็วของลูกอบไอน้ำ อายุ Creping blade ที่ใช้ จะถูกควบคุมให้มีค่าเท่ากันในทุกๆการทดลอง ซึ่งลำดับการทดลองสามารถแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลำดับและรายละเอียดการทดลอง

Standard order	ลำดับการทดลอง (Run Order)	Code Unit, X1	Code Unit, X2	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ; X1 (Ampere)	อัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง: X2 (cc/min)
1	7	0	- α	32	100
2	1	-1	-1	29	500
3	4	1	-1	35	500
4	9	0	0	32	1500
5	5	- α	0	28	1500
6	10	0	0	32	1500
7	6	α	0	36	1500
8	11	0	0	32	1500
9	3	1	1	35	2500
10	2	-1	1	29	2500
11	8	0	α	32	2900

ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและปัจจัยตอบสนองด้วยวิธี CCD ในกระบวนการผลิตกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll A แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 ผลการทดลองโดยวิธีการ Central Composite Design (CCD)

Standard order	Code Unit, X1	Code Unit, X2	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบัดเยื่อ; X1 (Ampere)	อัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง; X2 (cc/min)	ค่าตัวแปรตอบสนอง (Response)			
					MDT (gf/in ²)	CDT (gf/in ²)	MDS (%)	Bulk (mm)
1	0	$-\alpha$	32	100	1693	968	28.25	1.16
2	-1	-1	29	500	1788	982	28.25	1.15
3	1	-1	35	500	1978	994	27.25	1.1
4	0	0	32	1500	1820	984	27	1.09
5	$-\alpha$	0	28	1500	1720	976	28.5	1.17
6	0	0	32	1500	2071	1004	27	1.1
7	α	0	36	1500	1750	978	27.5	1.12
8	0	0	32	1500	1830	991	27.5	1.12
9	1	1	35	2500	1804	983	27.5	1.13
10	-1	1	29	2500	1810	984	27.5	1.12
11	0	α	32	2900	1807	981	27.25	1.12

ขั้นตอนต่อไปคือการหาความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของตัวแปรนำเข้าสู่ตัวแปรตอบสนองแต่ละค่าโดยวิเคราะห์นัยสำคัญของทุกพจน์ของตัวแปรนำเข้าสู่ โดยก่อนที่จะทำการวิเคราะห์จะทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรตอบสนองจากค่าของแต่ละคุณสมบัติที่สนใจ เป็นค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติตามสมการ (1) โดยจะไม่ใช่ค่าสัมบูรณ์ของค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าของคุณสมบัติที่ได้กับค่าเป้าหมาย แต่จะพิจารณาเครื่องหมายเพื่อให้สามารถพิจารณาว่าค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติที่ได้มีค่ามากหรือน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรนำเข้าสู่ที่ส่งผลต่อแต่ละคุณสมบัติ เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการต่อไป โดยค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4. 5 ค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติที่ได้จากการทดลองโดยวิธีการ Central Composite Design (CCD)

Standard order	Code Unit, X1	Code Unit, X2	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบัดเยื่อ; X1 (Ampere)	อัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง; X2 (cc/min)	ค่า Target Index (TI)			
					MDT	CDT	MDS	Bulk
1	0	$-\alpha$	32	100	-0.857	0.060	0.156	0.050
2	-1	-1	29	500	-0.540	0.107	0.156	0.000
3	1	-1	35	500	0.093	0.147	0.031	-0.250
4	0	0	32	1500	-0.433	0.113	0.000	-0.300
5	$-\alpha$	0	28	1500	-0.767	0.087	0.188	0.100
6	0	0	32	1500	0.403	0.180	0.000	-0.250
7	α	0	36	1500	-0.667	0.093	0.063	-0.150
8	0	0	32	1500	-0.400	0.137	0.063	-0.150
9	1	1	35	2500	-0.487	0.110	0.063	-0.100
10	-1	1	29	2500	-0.467	0.113	0.063	-0.150
11	0	α	32	2900	-0.477	0.103	0.031	-0.150

หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลจากในตารางที่ 4.5 ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) ผ่านโปรแกรม Minitab ซึ่งแสดงผลได้ดังนี้

1) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับพจน์ต่างๆของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง TI (MDT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงในรูปที่ 4.7

Response Surface Regression: TI (MDT) versus x1, x2

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for TI (MDT)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0.47665	0.07476	-6.375	0.001
x1	0.33893	0.04579	7.402	0.001
x2	0.15257	0.04579	3.332	0.021
x1*x1	0.12836	0.05450	2.355	0.065
x2*x2	-0.04753	0.05450	-0.872	0.423
x1*x2	0.05250	0.06475	0.811	0.454

S = 0.129497 PRESS = 0.595272
R-Sq = 93.73% R-Sq(pred) = 55.51% R-Sq(adj) = 87.47%

Analysis of Variance for TI (MDT)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1.25400	1.25400	0.250801	14.96	0.005
Linear	2	1.10506	1.10506	0.552530	32.95	0.001
x1	1	0.91886	0.91886	0.918861	54.79	0.001
x2	1	0.18620	0.18620	0.186200	11.10	0.021
Square	2	0.13792	0.13792	0.068959	4.11	0.088
x1*x1	1	0.12517	0.09300	0.092998	5.55	0.065
x2*x2	1	0.01275	0.01275	0.012753	0.76	0.423
Interaction	1	0.01103	0.01103	0.011025	0.66	0.454
x1*x2	1	0.01103	0.01103	0.011025	0.66	0.454
Residual Error	5	0.08385	0.08385	0.016769		
Lack-of-Fit	3	0.08365	0.08365	0.027882	278.82	0.004
Pure Error	2	0.00020	0.00020	0.000100		
Total	10	1.33785				

Unusual Observations for TI (MDT)

Obs	StdOrder	TI (MDT)	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
4	4	-0.433	-0.262	0.102	-0.171	-2.16 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Regression Coefficients for TI (MDT) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.476651
x1	0.239697
x2	0.107902
x1*x1	0.0641971
x2*x2	-0.0237727
x1*x2	0.0262579

รูปที่ 4. 7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT

รูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าพจน์ของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ x_1 และ x_2 (ค่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise regression ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.8

Stepwise Regression: TI (MDT) versus x1, x2, x1^2, x2^2, x1x2

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is TI (MDT) on 5 predictors, with N = 11

Step	1	2	3
Constant	-0.4179	-0.4179	-0.5214
x1	0.339	0.339	0.339
T-Value	4.44	5.62	7.73
P-Value	0.002	0.000	0.000
x2		0.153	0.153
T-Value		2.53	3.48
P-Value		0.035	0.010
x1^2			0.142
T-Value			2.85
P-Value			0.025
S	0.216	0.171	0.124
R-Sq	68.68	82.60	91.96
R-Sq(adj)	65.20	78.25	88.51
Mallows Cp	18.0	8.9	3.4

รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT

รูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าพจน์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT อย่างมีนัยสำคัญเพิ่มขึ้นจากการวิเคราะห์ของ ANOVA คือพจน์ของ x_1^2 ดังนั้นจึงสามารถสรุปสมการความสัมพันธ์ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT โดยใช้ผลวิเคราะห์จากวิธี Stepwise regression ได้แก่

$$TI \text{ (MDT)} = -0.5214 + 0.339x_1 + 0.153x_2 + 0.142x_1^2$$

โดยสมการความสัมพันธ์นี้มีค่า $R^2 = 91.96\%$ และค่า $R^2 \text{ Adj} = 88.51\%$

2) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับพจน์ต่างๆของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อค่า TI ของคุณสมบัติ CDT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงในรูปที่ 4.9

Response Surface Regression: Ti (CDT) versus x1, x2

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Ti (CDT)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.108892	0.007725	14.095	0.000
x1	0.028168	0.004731	5.954	0.002
x2	0.017662	0.004731	3.733	0.014
x1*x1	0.007847	0.005632	1.393	0.222
x2*x2	-0.001323	0.005632	-0.235	0.824
x1*x2	-0.003333	0.006690	-0.498	0.639

S = 0.0133807 PRESS = 0.00611396
R-Sq = 91.23% R-Sq(pred) = 40.12% R-Sq(adj) = 82.46%

Analysis of Variance for Ti (CDT)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.009315	0.009315	0.001863	10.41	0.011
Linear	2	0.008841	0.008841	0.004421	24.69	0.003
x1	1	0.006346	0.006346	0.006346	35.45	0.002
x2	1	0.002495	0.002495	0.002495	13.94	0.014
Square	2	0.000429	0.000429	0.000214	1.20	0.376
x1*x1	1	0.000419	0.000348	0.000348	1.94	0.222
x2*x2	1	0.000010	0.000010	0.000010	0.06	0.824
Interaction	1	0.000044	0.000044	0.000044	0.25	0.639
x1*x2	1	0.000044	0.000044	0.000044	0.25	0.639
Residual Error	5	0.000895	0.000895	0.000179		
Lack-of-Fit	3	0.000843	0.000843	0.000281	10.84	0.086
Pure Error	2	0.000052	0.000052	0.000026		
Total	10	0.010210				

Estimated Regression Coefficients for Ti (CDT) using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.108892
x1	0.0199205
x2	0.0124907
x1*x1	0.00392452
x2*x2	-6.61579E-04
x1*x2	-0.00166717

รูปที่ 4. 9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ CDT

รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าพจน์ของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของคุณสมบัติ CDT อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ x_1 และ x_2 (ค่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise regression ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.10

Stepwise Regression: Ti (CDT) versus x1, x2, x1^2, x2^2, x1x2

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is Ti (CDT) on 5 predictors, with N = 11

Step	1	2
Constant	0.1136	0.1136
x1	0.0282	0.0282
T-Value	3.84	6.09
P-Value	0.004	0.000
x2		0.0177
T-Value		3.82
P-Value		0.005
S	0.0207	0.0131
R-Sq	62.16	86.60
R-Sq (adj)	57.95	83.24
Mallows Cp	14.6	2.6

รูปที่ 4. 10 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัติ CDT

จากรูปที่ 4.10 สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้เป็น

$$TI (CDT) = 0.1136 + 0.0282x_1 + 0.0177x_2$$

โดยสมการความสัมพันธ์นี้มีค่า $R^2 = 86.60\%$ และค่า $R^2 \text{ Adj} = 83.24\%$

3) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับพจน์ต่างๆของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อค่า TI ของคุณสมบัติ MDS ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงในรูปที่ 4.11

Response Surface Regression: Ti (MDS) versus x1, x2						
The analysis was done using coded units.						
Estimated Regression Coefficients for Ti (MDS)						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	0.052082	0.007862	6.625	0.001		
x1	-0.068307	0.004815	-14.188	0.000		
x2	0.003907	0.004815	0.811	0.454		
x1*x1	0.022792	0.005731	3.977	0.011		
x2*x2	0.007162	0.005731	1.250	0.267		
x1*x2	0.007812	0.006808	1.147	0.303		
S = 0.0136166 PRESS = 0.00342761						
R-Sq = 97.77% R-Sq(pred) = 91.75% R-Sq(adj) = 95.54%						
Analysis of Variance for Ti (MDS)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.040621	0.040621	0.008124	43.82	0.000
Linear	2	0.037443	0.037443	0.018722	100.97	0.000
x1	1	0.037321	0.037321	0.037321	201.29	0.000
x2	1	0.000122	0.000122	0.000122	0.66	0.454
Square	2	0.002934	0.002934	0.001467	7.91	0.028
x1*x1	1	0.002644	0.002932	0.002932	15.82	0.011
x2*x2	1	0.000290	0.000290	0.000290	1.56	0.267
Interaction	1	0.000244	0.000244	0.000244	1.32	0.303
x1*x2	1	0.000244	0.000244	0.000244	1.32	0.303
Residual Error	5	0.000927	0.000927	0.000185		
Lack-of-Fit	3	0.000276	0.000276	0.000092	0.28	0.838
Pure Error	2	0.000651	0.000651	0.000326		
Total	10	0.041548				
Estimated Regression Coefficients for Ti (MDS) using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	0.0520818					
x1	-0.0483078					
x2	0.00276297					
x1*x1	0.0113995					
x2*x2	0.00358230					
x1*x2	0.00390743					

รูปที่ 4. 11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDS

รูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าพจน์ของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของคุณสมบัตินี้ MDS อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ x_1 และ x_1^2 (ค่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise regression ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.12

Stepwise Regression: Ti (MDS) versus x1, x2, x1^2, x2^2, x1x2

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is Ti (MDS) on 5 predictors, with N = 11

Step	1	2
Constant	0.07386	0.05882
x1	-0.0683	-0.0683
T-Value	-8.91	-13.73
P-Value	0.000	0.000
x1^2		0.0207
T-Value		3.66
P-Value		0.006
S	0.0217	0.0141
R-Sq	89.83	96.19
R-Sq(adj)	88.70	95.24
Mallows Cp	15.8	3.5

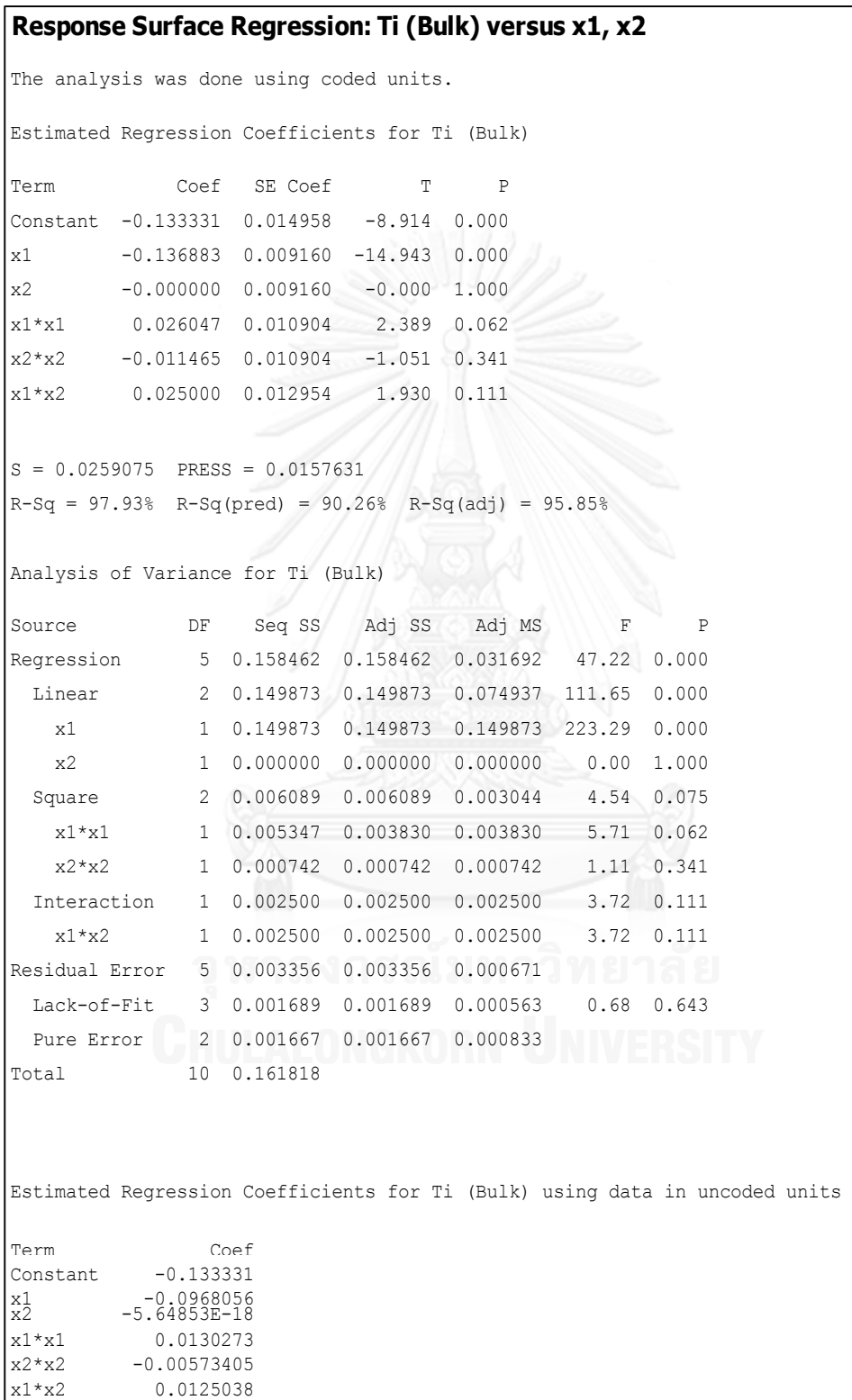
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัตินี้ MDS

จากรูปที่ 4.12 สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้เป็น

$$TI (MDS) = 0.05882 - 0.0683x_1 + 0.0207x_1^2$$

โดยสมการความสัมพันธ์นี้มีค่า $R^2 = 96.19\%$ และค่า $R^2 \text{ Adj} = 95.24\%$

4) ผลการวิเคราะห์ ANOVA สำหรับพจน์ต่างๆของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4. 13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk

รูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าพจน์ของตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ x_1 (ค่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05) จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise regression ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4.14

Stepwise Regression: Ti (Bulk) versus x1, x2, x1^2, x2^2, x1x2		
Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05		
Response is Ti (Bulk) on 5 predictors, with N = 11		
Step	1	2
Constant	-0.1227	-0.1441
x1	-0.137	-0.137
T-Value	-10.63	-13.48
P-Value	0.000	0.000
x1^2		0.029
T-Value		2.55
P-Value		0.034
S	0.0364	0.0287
R-Sq	92.62	95.92
R-Sq(adj)	91.80	94.90
Mallows Cp	10.8	4.8

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ Stepwise regression ของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าพจน์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk อย่างมีนัยสำคัญเพิ่มขึ้นจากการวิเคราะห์ของ ANOVA คือพจน์ของ x_1^2 ดังนั้นจึงสามารถสรุปสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนอง Bulk โดยใช้ผลวิเคราะห์จากวิธี Stepwise regression ได้แก่

$$TI(\text{Bulk}) = -0.1441 - 0.137x_1 + 0.029x_1^2$$

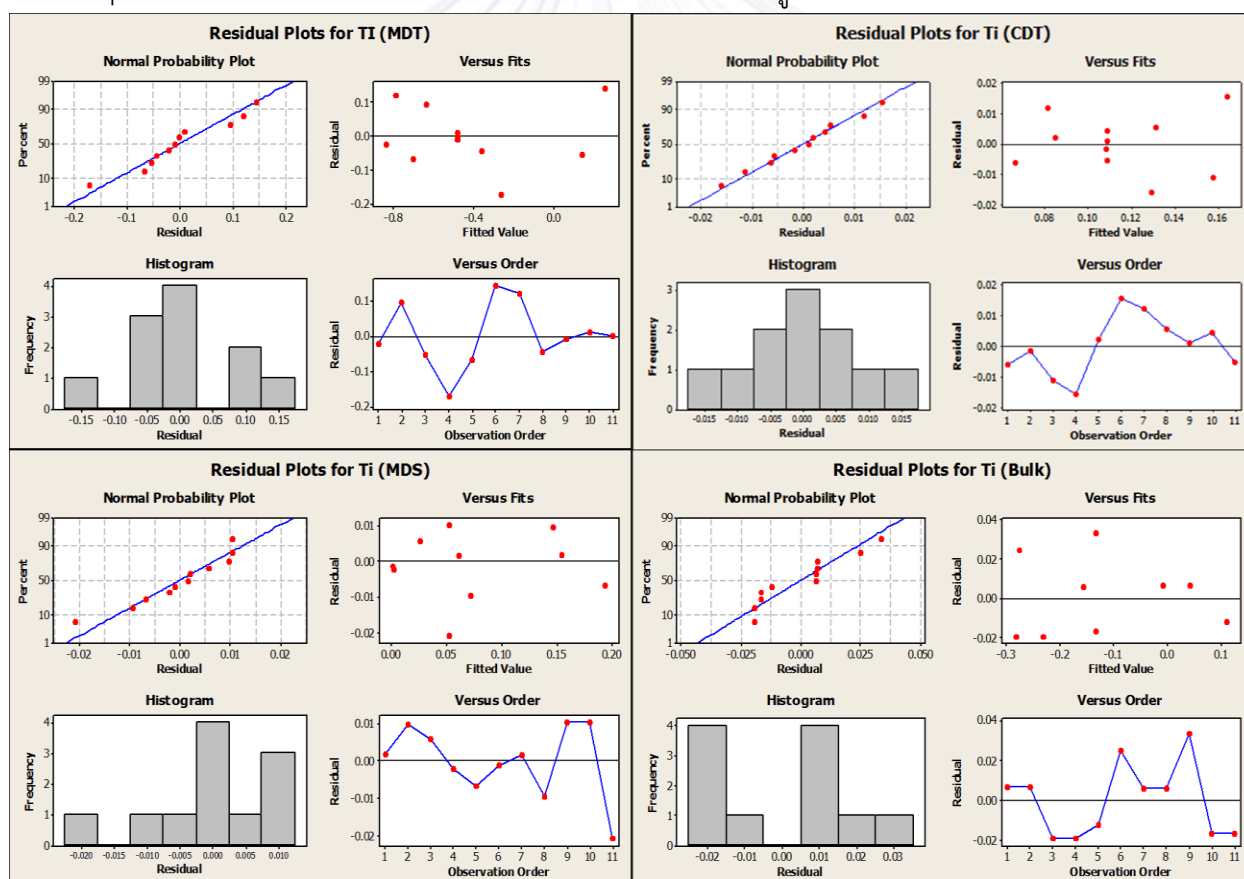
โดยสมการความสัมพันธ์นี้มีค่า $R^2 = 95.92\%$ และค่า $R^2 \text{ Adj} = 94.90\%$

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA และการทำ Stepwise regression ของทุกตัวแปรตอบสนองสามารถสรุปพจน์ที่มีผลต่อแต่ละตัวแปรตอบสนองได้ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4. 6 พจน์ที่มีผลต่อแต่ละตัวแปรตอบสนอง

พจน์	TI (MDT)	TI (CDT)	TI (MDS)	TI (Bulk)
X_1	✓	✓	✓	✓
X_2	✓	✓	✗	✗
X_1^2	✓	✗	✓	✓
X_2^2	✗	✗	✗	✗
$X_1 X_2$	✗	✗	✗	✗

ขั้นตอนถัดไปคือการวิเคราะห์ผลจากกราฟ Residual plots ของแต่ละตัวแปรตอบสนองที่ได้จาก ANOVA เพื่อใช้ในการทดสอบสมมติฐานว่า ความสัมพันธ์ที่ได้ของแต่ละตัวแปรตอบสนองเหมาะสมกับค่าที่เกิดขึ้นจริงหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าความผิดพลาด (Error) ที่เกิดขึ้นระหว่างค่าที่คำนวณได้กับค่าที่เกิดขึ้นจริง [19] ซึ่งกราฟ Residual plots ของแต่ละตัวแปรตอบสนองที่ได้จาก ANOVA แสดงในรูปที่ 4.15

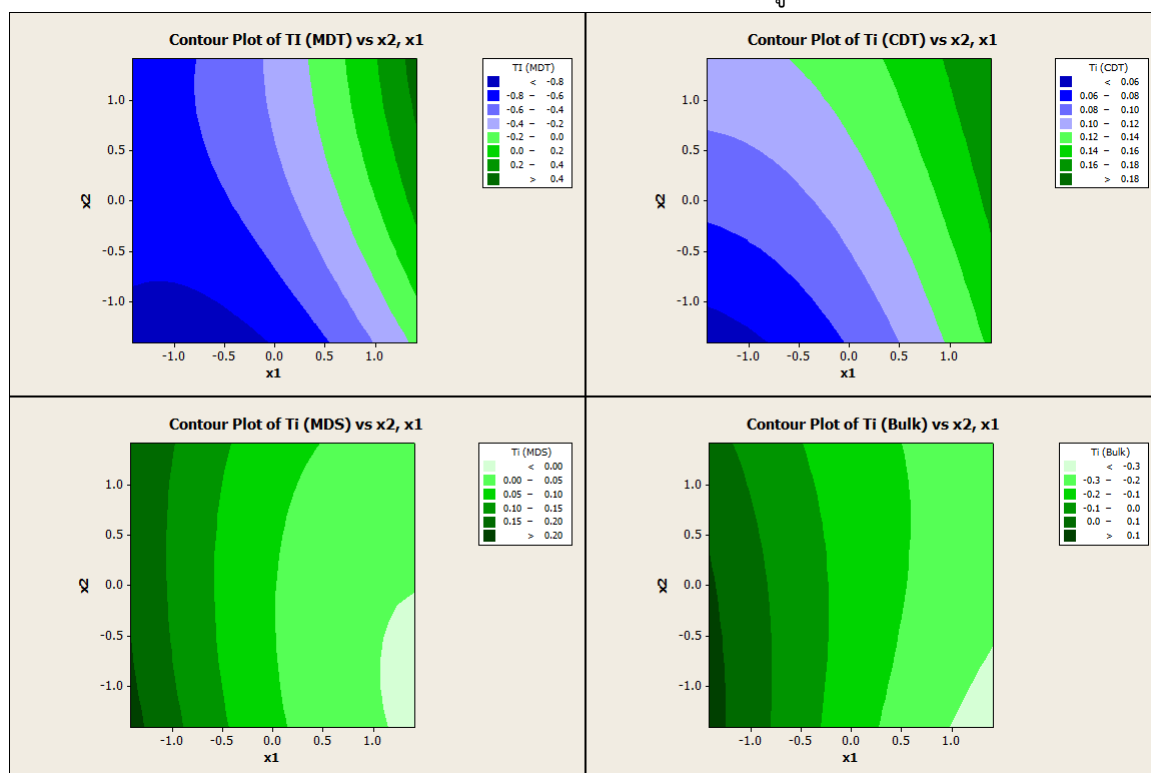


รูปที่ 4. 15 กราฟ Residual plot ของตัวแปรตอบสนอง TI ของคุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk

เมื่อตรวจสอบกราฟ Residual plot ของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติที่แสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าทุกกราฟเป็นไปตามสมมติฐาน โดยกราฟ Normality Probability นั้นพอจะสรุปได้ว่าข้อมูลเรียงตัวเป็นเส้นตรง ในขณะที่กราฟ Residual Versus Fits ข้อมูลมีการกระจายตัวรอบๆเส้น Residual เท่ากับศูนย์โดยไม่มีรูปแบบ และกราฟ

สุดท้ายคือกราฟระหว่าง Residual กับค่า Order พบว่าข้อมูลกระจายตัวรอบๆเส้น Residual เท่ากับศูนย์แบบไม่มีรูปแบบ

หลังจากทำการวิเคราะห์ ANOVA รวมทั้งการทำ Stepwise regression เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้ากับแต่ละตัวแปรตอบสนองแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการทำ Contour plot เพื่อให้ทราบถึงลักษณะความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4. 16 กราฟ Contour plot ของค่า TI ของแต่ละตัวแปรตอบสนอง (MDT, CDT, MDS และ Bulk) ในช่วงต่างๆ (Coded) ของตัวแปรนำเข้า (พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (x_1) และ ปริมาณการใช้เคมี Dry strength (x_2))

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นผลของแต่ละตัวแปรนำเข้าที่มีต่อค่า TI ของคุณสมบัติที่ทำการศึกษา เมื่อพิจารณาที่ค่า TI ของ MDT พบว่าผลจากพลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (x_1) และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (x_2) จะส่งผลให้ค่า TI เปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มพลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อหรืออัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งจะทำให้ค่า TI มีค่าสูงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามผลจาก พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อที่มีต่อค่า TI จะมีมากกว่าผลจากอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง ในขณะที่ค่า TI ของ CDT นั้นจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่า TI ของ MDT คือมีการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนของตัวแปรนำเข้า ทั้งในส่วนของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (x_1) และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (x_2) สำหรับค่า TI ของ MDS และ Bulk นั้นจากรูปที่ 24 จะเห็นได้ว่าตัวแปรนำเข้าที่มีผลต่อค่า TI ของคุณสมบัติ MDS และ Bulk มีเพียง พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (x_1) เท่านั้น โดยส่งผลต่อค่า TI ของคุณสมบัติ MDS และ Bulk ในทิศทางตรงกันข้ามกับผลที่มีต่อค่า TI ของคุณสมบัติ MDT และ CDT คือ เมื่อทำการ

เพิ่มพลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า TI ของคุณสมบัติ MDS และ Bulk มีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (x2) นั้นไม่ส่งผลต่อค่า TI ของคุณสมบัติทั้ง 2 ค่านี้ย่อมมีนัยสำคัญ

จากผลข้างบนสามารถสรุปลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรนำเข้าที่มีต่อตัวแปรตอบสนองได้เป็น 2 ลักษณะคือ

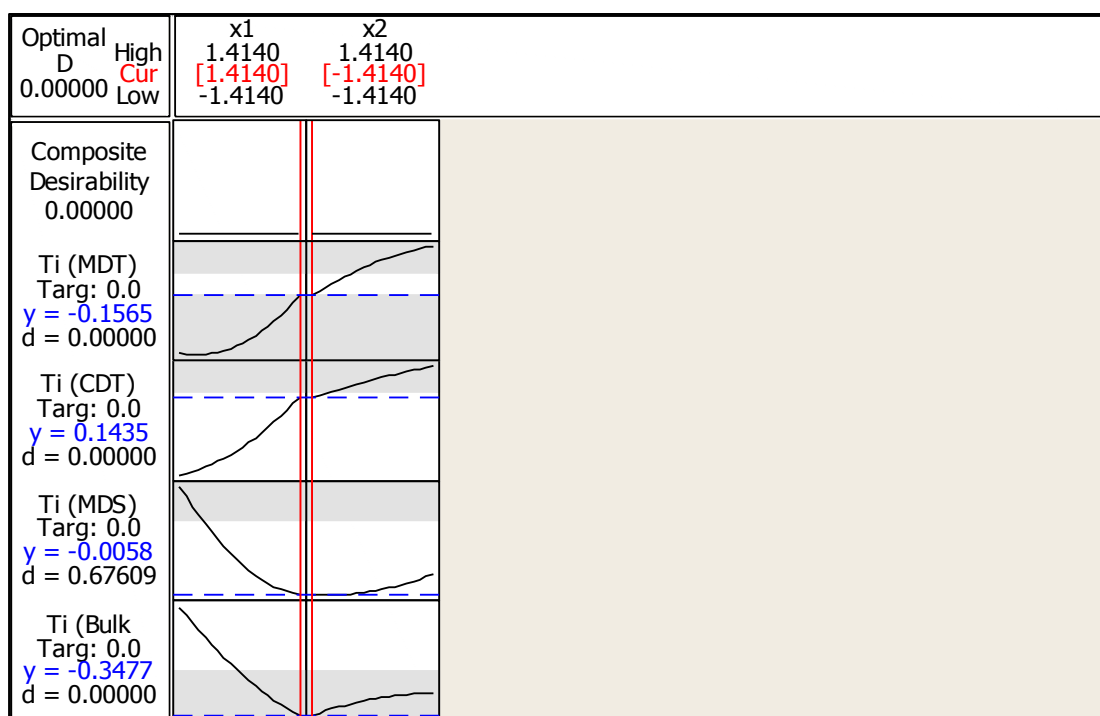
1. ตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันกับตัวแปรนำเข้า ได้แก่ ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT และ CDT ซึ่งตัวแปรนำเข้าที่มีผลคือ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (x1) และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง (x2)
2. ตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนำเข้า ได้แก่ ค่า TI ของคุณสมบัติ MDS และ Bulk ซึ่งจะได้รับผลจากตัวแปรนำเข้า พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (x1) เท่านั้น

เนื่องจากกระบวนการที่ทำการศึกษามีลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง 2 ลักษณะทำให้การคำนวณหาจุดที่เหมาะสม (Optimum point) ของแต่ละตัวแปรนำเข้าที่จะทำให้ได้ตัวแปรตอบสนองทุกตัวอยู่ในค่าที่กำหนดเป็นไปได้ยาก ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการให้ได้ค่า TI ของคุณสมบัติ MDS และ Bulk อยู่ในช่วงที่กำหนดสามารถทำได้โดยการลด พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อลงมากๆ แต่ก็ส่งผลให้ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT และ CDT มีค่าต่ำกว่าที่กำหนดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการใช้วิธีที่เหมาะสม ในการหาจุด Optimum

การหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) ของตัวแปรนำเข้าซึ่งทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายหรือใกล้เคียงมากที่สุด

ในงานวิจัยนี้จะใช้แนวคิด Desirability function และกำหนดวิธีในการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรนำเข้าต่างๆเพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองตามที่กำหนด [7] ด้วยวิธี Target is the best โดยต้องการให้ค่า TI ของคุณสมบัติทั้ง 4 ค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุดและจะต้องอยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนดด้วย โดยเริ่มจาก

- 1) การใช้วิธี Target is the best (TB) และกำหนดค่า weight ของทุกตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 10 เนื่องจากต้องการให้ได้ผลลัพธ์ของการ Optimization ของทุกตัวแปรตอบสนองมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยและกำหนดค่า importance ของทุกตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 10 เช่นกันเนื่องจากค่า TI ของคุณสมบัติทั้ง 4 ค่ามีความสำคัญเท่าๆกันเมื่อพิจารณาในด้านข้อกำหนดทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ [20] ซึ่งผลการหาค่าที่เหมาะสมแสดงในรูปที่ 4.17

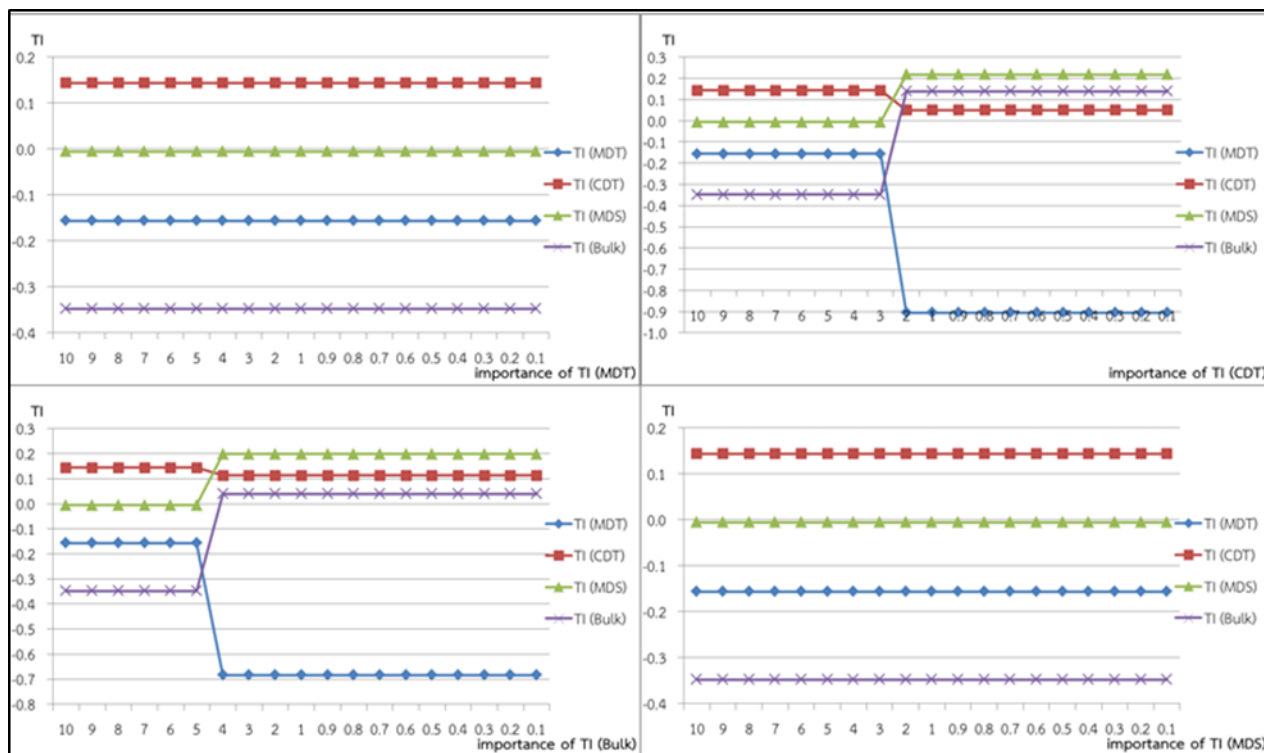


รูปที่ 4. 17 กราฟผลการทำ Optimization ด้วยวิธี Desirability function โดยกำหนดค่า weight และ importance เท่ากับ 10

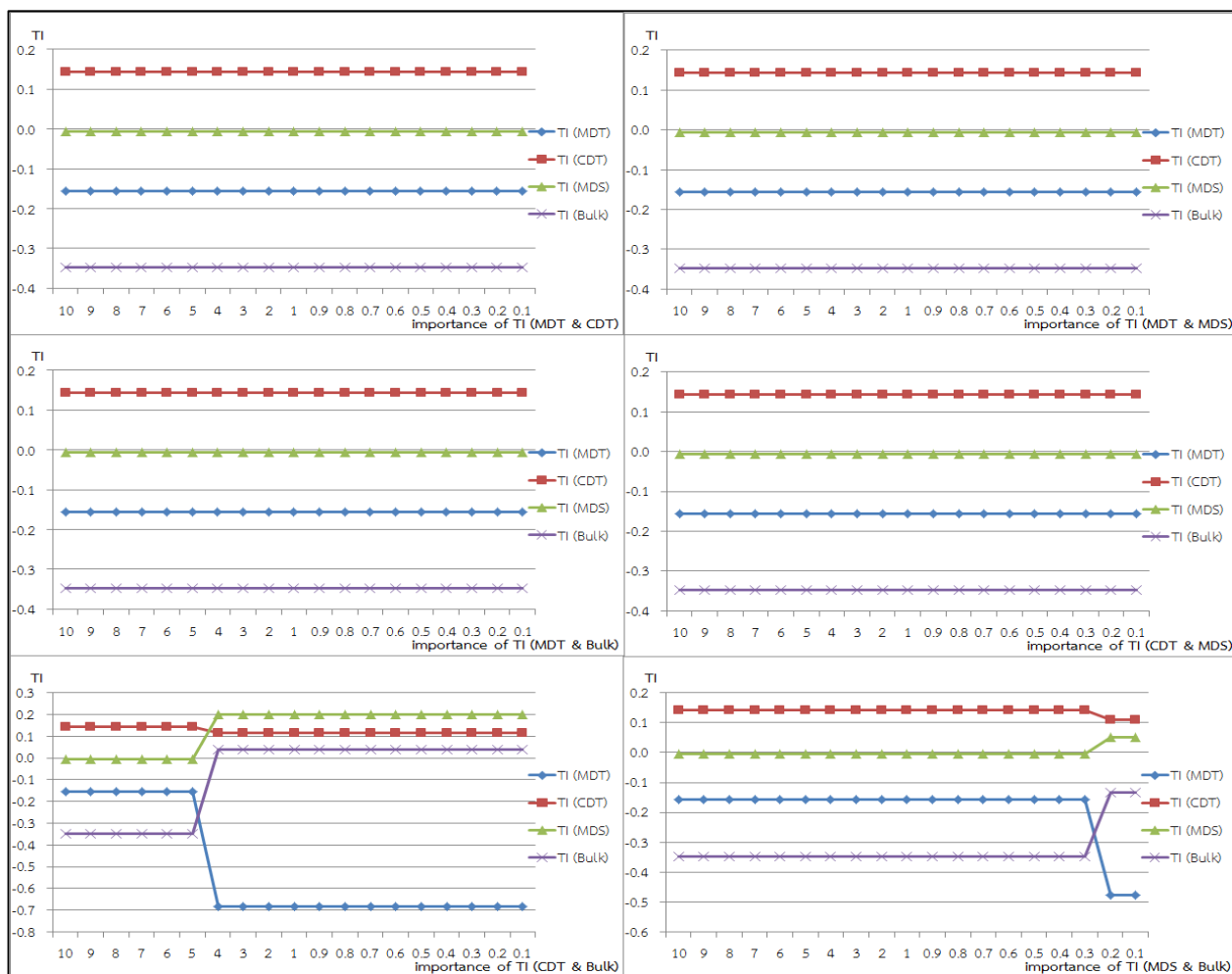
จากรูปที่ 4.17 จะได้ว่าค่าตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดโดยที่ค่า weight และ importance ของทุกตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 10 คือ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบัดเยื่ออยู่ที่ 1.414 (coded unit) หรือเท่ากับ 36 ampere และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งอยู่ที่ -1.414 (coded unit) หรือเท่ากับ 100 cc/min ซึ่งจะทำให้ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT มีค่า -0.1565 ค่า TI ของคุณสมบัติ CDT เท่ากับ 0.1435 ค่า TI ของคุณสมบัติ MDS เท่ากับ -0.0058 และค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk เท่ากับ -0.3477 โดยมีค่า Desirability รวม (Composite Desirability) เท่ากับ 0.00 อย่างไรก็ตามเนื่องจากผลที่ได้จากการทำ Optimization มีค่าของ 2 ตัวแปรตอบสนองที่อยู่ภายนอกขอบเขตที่ควบคุม ($TI \leq 0.15$) นั่นคือ ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT และ Bulk ในขณะที่ ค่า TI ของคุณสมบัติ CDT และ Bulk อยู่ในขอบเขตที่ควบคุม ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายของการศึกษานั้นคือการปรับปรุงเพื่อลดความแปรปรวนของแต่ละคุณสมบัติ (MDT, CDT, MDS และ Bulk) ให้มีจำนวนของคุณสมบัติที่มีค่า TI อยู่ในขอบเขตที่ควบคุมไม่ต่ำกว่า 51% หรือเท่ากับ 3 คุณสมบัติจากทั้งหมด 4 คุณสมบัติ จึงจำเป็นที่จะต้องหาจุด Optimum ที่ส่งผลให้ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT และ/หรือ Bulk มีค่าอยู่ในขอบเขตที่ควบคุมโดย

2) ศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่า importance บางตัวแปร โดยการเปลี่ยนแปลงค่า importance นั้นจะทดลองปรับทีละตัวแปร และดูผลที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงทดลองปรับครั้งละ 2 ตัวแปรและดูผล ก่อนที่จะปรับครั้งละ 3 ตัวแปรและดูผล โดยในการปรับค่า importance ครั้งละ 2 หรือ 3 ตัวแปรจะทำการปรับเปลี่ยนค่า importance ของแต่ละคู่หรือ 3 ตัวแปรเท่าๆกันทุกครั้งโดยตัวแปรที่เหลือจะยังคงค่า importance เท่ากับ 10 เช่นเดิมเพื่อให้เห็นแนวโน้มที่เกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลง 2 ตัวแปรไปพร้อม

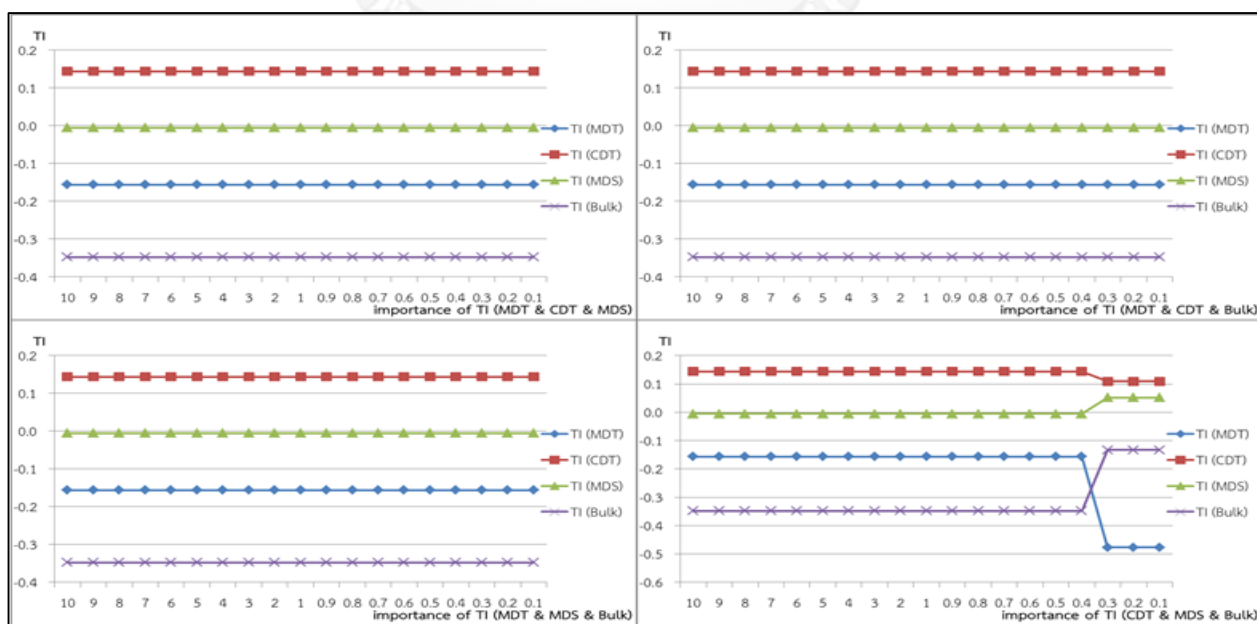
กัน อีกทั้งเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลกับการทำ Optimization ที่มีค่า importance ทั้งหมดเท่ากับ 10 และผล การทำ Optimization โดยการปรับค่า importance ทีละตัวแปรและเข้าใจผลของแต่ละตัวแปรที่มีต่อตัวแปรอื่นๆ โดยทำการปรับเปลี่ยนครอบคลุมทุกๆลำดับการจับคู่ ซึ่งผลการปรับค่า importance ทั้งหมดแสดงในรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20



รูปที่ 4. 18 การเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติเมื่อทำการปรับค่า importance ครั้งละ 1 ตัวแปร



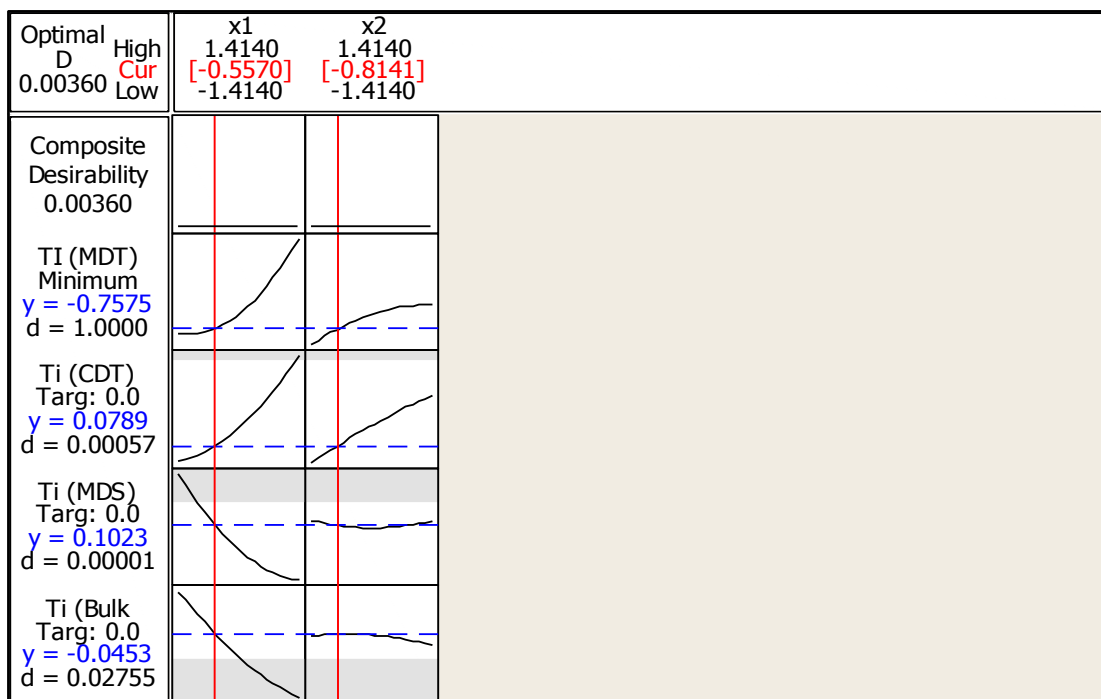
รูปที่ 4. 19 การเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติเมื่อทำการปรับค่า importance ครั้งละ 2 ตัวแปร



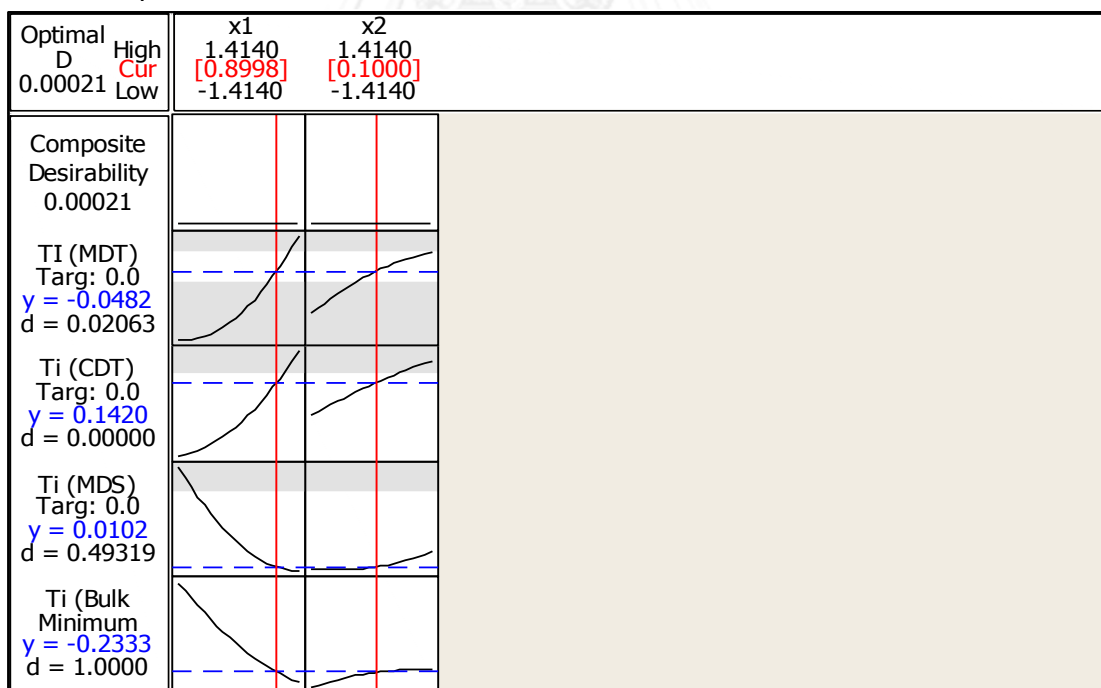
รูปที่ 4. 20 การเปลี่ยนแปลงของค่า TI ของแต่ละคุณสมบัติเมื่อทำการปรับค่า importance ครั้งละ 3 ตัวแปร

รูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถทำการปรับปรุงให้ทุกคุณสมบัติมีค่า TI อยู่ในขอบเขตที่ควบคุมได้ทั้งหมดได้ ทำให้จำเป็นต้องพิจารณาการปรับปรุงที่ส่งผลให้มีคุณสมบัติที่มีค่า TI อยู่ในขอบเขตที่ควบคุม 3 คุณสมบัติ โดยพบว่าการปรับค่า importance 2 ลักษณะที่ส่งผลให้มีจำนวนของคุณสมบัติที่มีค่า TI อยู่ในขอบเขตที่ควบคุม 3 คุณสมบัติจากทั้งหมด 4 คุณสมบัติได้แก่ การปรับค่า importance ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDS และ Bulk และการปรับค่า importance ของค่า TI ของคุณสมบัติ CDT, MDS และ Bulk ซึ่งทั้ง 2 วิธีจะส่งผลให้ค่า TI ของคุณสมบัติ CDT, MDS และ Bulk มีค่าสัมบูรณ์ไม่เกิน 0.15 ในขณะที่ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT มีค่าสัมบูรณ์มากกว่า 0.15 ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าของคุณสมบัติ MDT จากค่า TI ที่ได้ของทั้ง 2 วิธีจะพบว่า วิธีการปรับค่า importance ทั้ง 2 วิธีมีค่า TI ของคุณสมบัติ MDT เท่ากับ -0.477 หรือมีค่า MDT เท่ากับ 1,878.45 ซึ่งยังคงอยู่ในพื้นที่ใกล้ขอบเขตล่างของข้อกำหนดทางคุณภาพ

3) การเปลี่ยนวิธีการทำ Optimization ของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT หรือ Bulk โดยที่ค่า TI ของคุณสมบัติ CDT และ MDS ยังคงใช้วิธีการ Target is the best เช่นเดิม หากพิจารณาผลการทำ Optimization โดยกำหนดค่า weight และ importance ของทุกตัวแปรเท่ากับ 10 ในรูปที่ 4.17 พบว่าค่า TI ที่ได้ของคุณสมบัติ MDT และ Bulk มีค่าติดลบนั้นหมายถึงค่าของคุณสมบัติ MDT และ Bulk มีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายตั้งนั้นเพื่อให้ได้ค่า TI ที่มีค่าอยู่ในขอบเขตที่กำหนดจำเป็นต้องหาค่าที่เหมาะสมที่จะส่งผลให้คุณสมบัติ MDT หรือ Bulk มีค่าสูงขึ้น จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้ากับแต่ละตัวแปรตอบสนองในรูปที่ 4.16 พบว่า ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT กับคุณสมบัติ Bulk นั้นมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงข้ามกัน ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้คุณสมบัติ MDT มีค่าสูงขึ้นจะต้องกำหนดให้คุณสมบัติ Bulk มีค่าลดลงหรือเท่ากับทำให้ค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk มีค่าน้อยที่สุด เช่นเดียวกับการทำให้คุณสมบัติ Bulk มีค่าสูงขึ้นก็จะกำหนดให้ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นวิธีถัดมาในการหาค่าที่เหมาะสมได้แก่ การเปลี่ยนวิธีทำ Optimization โดยการเปลี่ยนวิธีของคุณสมบัติ MDT เป็น Smaller better โดยที่วิธีตัวแปรอื่นยังคงใช้วิธี Target is the best หลังจากนั้นจึงทำการเปลี่ยนวิธี Optimization ของคุณสมบัติ Bulk เป็น Smaller better โดยที่วิธีตัวแปรอื่นยังคงใช้วิธี Target is the best ซึ่งผลการทำ Optimization ด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 4.21 และ 4.22



รูปที่ 4. 21 ผลการทำ Optimization ด้วยวิธี Desirability function โดยการเปลี่ยนวิธีคิดของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT เป็น Smaller better



รูปที่ 4. 22 ผลการทำ Optimization ด้วยวิธี Desirability function โดยการเปลี่ยนวิธีคิดของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk เป็น Smaller better

จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 แสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 วิธีมีจำนวนคุณสมบัติที่มีค่า TI อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ($TI \leq 0.15$) เป็นจำนวน 3 ตัวแปรจาก 4 ตัวแปร หรือเท่ากับ 75% อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากผลของตัวแปรตอบสนอง

เทียบกับขอบเขตของข้อกำหนดทางคุณภาพพบว่า ผลจากรูปที่ 4.21 หรือผลจากการเปลี่ยนวิธีของค่า TI ของคุณสมบัติ MDT เป็น Smaller better ให้ค่า TI เท่ากับ -0.7575 หรือเท่ากับ 1,836.4 ซึ่งอยู่ใกล้ขอบเขตล่างของข้อกำหนดทางคุณภาพและมีโอกาสที่จะออกนอกขอบเขตได้ ในขณะที่ ผลจากรูปที่ 4.22 หรือผลจากการเปลี่ยนวิธีของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk เป็น Smaller better ให้ค่า TI เท่ากับ -0.2333 หรือเท่ากับ 1.13 ซึ่งยังมีค่าอยู่ใกล้ค่าเป้าหมาย ในขณะที่ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT, CDT และ MDS อยู่ในขอบเขตที่ควบคุม ซึ่งผลของค่า TI แต่ละคุณสมบัติก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงทั้งหมดถูกแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4. 7 ค่าการเปรียบเทียบ TI ของแต่ละคุณสมบัติก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงทั้ง 3 วิธี

คุณสมบัติ	ค่า TI ก่อนการปรับปรุง (เป้าหมาย TI ≤ 0.15)	ค่า TI หลังการทำ Optimization (เป้าหมาย TI ≤ 0.15)				
		ปรับ weight และ importance เท่ากับ 10	ปรับ importance เฉพาะปัจจัย MDS และ Bulk	ปรับ importance เฉพาะปัจจัย CDT, MDS และ Bulk	เปลี่ยนวิธีของปัจจัย MDT เป็นวิธี Smaller better	เปลี่ยนวิธีของปัจจัย Bulk เป็นวิธี Smaller better
MDT	0.08	-0.1565 ✗	-0.4767 ✗	-0.4767 ✗	0.7575 ✗	- 0.0482 ✓
CDT	0.13	0.1435 ✓	0.1089 ✓	0.1089 ✓	0.0789 ✓	0.1420 ✓
MDS	0.40	-0.0058 ✓	0.0521 ✓	0.0521 ✓	0.1023 ✓	0.0102 ✓
Bulk	0.59	0.3477 ✗	-0.1333 ✓	-0.1333 ✓	0.0453 ✓	- 0.2333 ✗

ซึ่งปัจจัยนำเข้าของผลการทำ Optimization ด้วยวิธีนี้แสดงในรูปที่ 4.23

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
TI (MDT)	Target	-0.15	0	0.15	10	10
Ti (CDT)	Target	-0.15	0	0.15	10	10
Ti (MDS)	Target	-0.15	0	0.15	10	10
Ti (Bulk)	Minimum	0.00	0	0.15	10	10
Global Solution						
x1	=	0.899818				
x2	=	0.0999798				
Predicted Responses						
TI (MDT)	=	-0.048246	,	desirability	=	0.020635
Ti (CDT)	=	0.142044	,	desirability	=	0.000000
Ti (MDS)	=	0.010237	,	desirability	=	0.493187
Ti (Bulk)	=	-0.233277	,	desirability	=	1.000000
Composite Desirability = 0.000206						

รูปที่ 4. 23 ค่าตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทำ Optimization โดยการกำหนดวิธีทำ Optimization ของค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk เป็น Smaller better

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 รวมทั้งค่าจากตารางที่ 4.7 พบว่าการทำ Optimization ด้วยการกำหนดค่า TI ของคุณสมบัติ Bulk เป็นวิธี Smaller better เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปดำเนินการปรับปรุงในกระบวนการผลิตโดยมีตัวแปรนำเข้าได้แก่ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่ออยู่ที่ 0.8998 (coded unit) หรือเท่ากับ 34.70 ampere และอัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งอยู่ที่ 0.0999 (coded unit) หรือเท่ากับ 1,599.9 cc/min ส่งผลให้ค่า TI ของคุณสมบัติ MDT เท่ากับ -0.0482 คุณสมบัติ CDT เท่ากับ 0.1420 คุณสมบัติ MDS เท่ากับ 0.0102 ในขณะที่คุณสมบัติ Bulk มีค่า TI เท่ากับ -0.2333

บทที่ 5

การตรวจสอบผลการดำเนินการปรับปรุง

ในบทนี้จะอธิบายถึงการตรวจสอบผลหลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุงตามหัวข้อที่อธิบายในบทที่ 4 โดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ

5.1 การติดตามการปรับปรุงโดยการจัดทำแผนการควบคุม (Control plan) ทั้งในรูปแบบของมาตรฐานการทำงาน (WI) และแผนการตรวจสอบค่าของแต่ละปัจจัยนำเข้า (Log sheet)

5.2 การติดตามค่าของคุณสมบัติแต่ละคุณสมบัติที่ทำการศึกษา หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยตั้งค่าในส่วน พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (Refiner load) และปริมาณการใช้เคมี Dry strength ตามผลที่ได้จากการทดลองในบทที่ 4

5.1 การติดตามการปรับปรุงโดยการจัดทำแผนการควบคุม (Control plan) ทั้งในรูปแบบของมาตรฐานการทำงาน (WI) และแผนการตรวจสอบค่าของแต่ละปัจจัยนำเข้า (Log sheet)

โรงงานกระดาษมีระบบเอกสารทั้งในส่วนของมาตรฐานการทำงาน (WI) และเอกสารการตรวจสอบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบปัจจัยนำเข้าในการเดินเครื่อง (Centerline log sheet) การตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรตามระยะเวลาต่างๆ (Prevention log sheet) ดังนั้นการปรับปรุงที่ได้ดำเนินการตามที่กล่าวในบทที่ 4 จะไม่ได้ทำการเปลี่ยนระบบเอกสารที่มีอยู่ แต่จะเป็นการแก้ไขรายละเอียด การเพิ่มหัวข้อใหม่ การตรวจสอบความเหมาะสม หรือการเน้นย้ำให้พนักงานปฏิบัติตามแผนควบคุมเดิมที่มีอยู่อย่างเคร่งครัดอย่างเช่น การเพิ่มมาตรฐานการทำงานในเรื่องการเตรียมตัวอย่าง การแก้ไขค่าปัจจัยนำเข้าในเอกสาร Centerline log sheet และการติดตามการตรวจสอบสภาพเครื่องจักรตามระยะเวลาที่กำหนด เช่น การตรวจสอบสภาพ Basis weight valve ทุก 3 เดือน เป็นต้น ตารางที่ 5.1 จะแสดงแผนการทบทวน รวมทั้งระยะเวลา ความถี่ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆ (Control plan)

ตารางที่ 5.1 แผน Control plan สำหรับกิจกรรมที่ได้ทำการปรับปรุงในบทที่ 4

Process	Issue	Characteristics	Solution	Frequency	Who	Record Document	Reference	Corrective action
Product testing	พนักงาน QC แต่ละคนมีมาตรฐานในการเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจสอบคุณภาพไม่เหมือนกัน	MDT, CDT, MDS, Bulk	ทำการทบทวนรายละเอียดของมาตรฐานการเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม	1 ครั้ง/ปี	Process engineer	-	Work instruction สำหรับมาตรฐานในการเตรียมเยื่อ	
			จัดอบรมเกี่ยวกับวิธีการเตรียมตัวอย่างให้กับพนักงานที่เกี่ยวข้อง (QC)	1 ครั้ง/ปี	Process engineer	Training record	แผนการฝึกอบรมประจำปี	
Stock preparation	อุปกรณ์ควบคุมค่า Consistency ของเยื่อชำรุด	MDT, CDT, MDS, Bulk	ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ขณะทำงาน	ทุกวัน	Instrument team	Prevention log sheet		ติดต่อ Supervisor และ/หรือ Process engineer เพื่อวางแผนการหยุดซ่อม
			ตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ และทำการซ่อมบำรุง	ทุก 3 เดือน	Instrument team	Prevention log sheet	Work instruction สำหรับการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ	
Stock preparation	อุปกรณ์ควบคุมค่า Basis weight ชำรุด	MDT, CDT, MDS, Bulk	ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ขณะทำงาน	ทุกวัน	Instrument team	Prevention log sheet		ติดต่อ Supervisor และ/หรือ Process engineer เพื่อวางแผนการหยุดซ่อม
			ตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ และทำการซ่อมบำรุง	ทุก 3 เดือน	Instrument team	Prevention log sheet	Work instruction สำหรับการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ	

ตารางที่ 5.1 แผน Control plan สำหรับกิจกรรมที่ได้ทำการปรับปรุงในบทที่ 4 (ต่อ)

Process	Issue	Characteristics	Solution	Frequency	Who	Record Document	Reference	Corrective action
Drying	อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำชำรุด	MDT, CDT, MDS, Bulk	ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ขณะทำงาน	ทุกวัน	Instrument team	Prevention log sheet		ติดต่อ Supervisor และ/หรือ Process engineer เพื่อวางแผนการหยุดซ่อม
			ตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ และทำการซ่อมบำรุง	ทุก 3 เดือน	Instrument team	Prevention log sheet	Work instruction สำหรับการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ ควบคุมต่างๆ	
Stock preparation	ความแม่นยำของอุปกรณ์ควบคุม Consistency	MDT, CDT, MDS, Bulk	ทำการสอบเทียบค่า Consistency ระหว่างอุปกรณ์กับผลจากห้องปฏิบัติการ	ทุก สัปดาห์	QC	Calibration record	Work instruction สำหรับการหาค่า Consistency ของเยื่อ	แจ้ง Instrument team เพื่อทำการปรับค่า Setting ของอุปกรณ์ ควบคุม Consistency ที่พบปัญหาให้มีค่า Error อยู่ในช่วงที่กำหนด ($\pm 5\%$)
			ทำการสอบเทียบอุปกรณ์โดยบริษัทภายนอก	1 ครั้ง/ปี	Instrument team	Calibration plan, Calibration record		
Stock preparation	ความแม่นยำของอุปกรณ์ควบคุม Basis weight	MDT, CDT, MDS, Bulk	ทำการสอบเทียบอุปกรณ์โดยบริษัทภายนอก	1 ครั้ง/ปี	Instrument team	Calibration plan, Calibration record		

ตารางที่ 5. 1 แผน Control plan สำหรับกิจกรรมที่ได้ทำการปรับปรุงในบทที่ 4 (ต่อ)

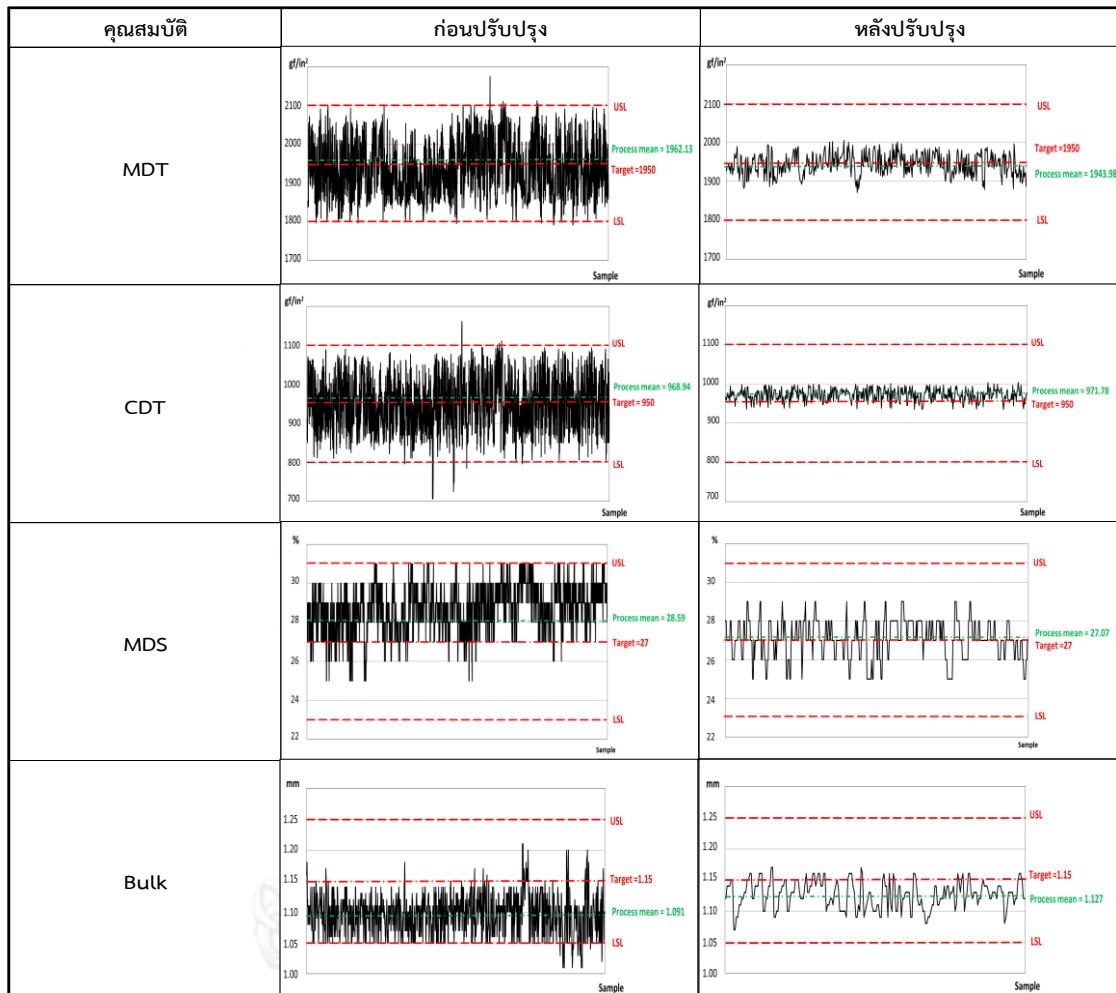
Process	Issue	Characteristics	Solution	Frequency	Who	Record Document	Reference	Corrective action
Drying	ความแม่นยำของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำ	MDT, CDT, MDS, Bulk	ทำการสอบเทียบอุปกรณ์โดยบริษัทภายนอก	1 ครั้ง/ปี	Instrument team	Calibration plan, Calibration record		
Product testing	ความแม่นยำของอุปกรณ์วัดค่า Tensile strength	MDT, CDT, MDS	ทำการสอบเทียบอุปกรณ์โดยบริษัทภายนอก	1 ครั้ง/ปี	QA team	Calibration plan, Calibration record		
Forming	มีการอุดตันที่ Headbox ทำให้เยื่อออกมาไม่สม่ำเสมอ	MDT, CDT, MDS, Bulk	ทำการล้าง Headbox ตามความถี่ที่กำหนด	ทุก 3 เดือน	Operation team	Prevention log sheet	Work instruction สำหรับการทำความสะอาดเครื่องจักรเวลาหยุดเครื่อง	
Forming	มีการอุดตันของระบบทำความสะอาด Felt และ Wire	MDT, CDT, MDS, Bulk	ทำการล้างชุด Shower ของ Felt และ Wire ตามความถี่ที่กำหนด	ทุก 3 เดือน	Operation team	Prevention log sheet	Work instruction สำหรับการทำความสะอาดเครื่องจักรเวลาหยุดเครื่อง	

โดยตัวอย่างเอกสารที่ระบุใน Control plan ถูกแสดงในภาคผนวก ฉ

5.2 การติดตามค่าของคุณสมบัติแต่ละคุณสมบัติที่ทำการศึกษา หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยตั้งค่าในส่วนของ พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อ (Refiner load) และปริมาณการใช้เคมี Dry strength ตามผลที่ได้จากการทดลองในบทที่ 4

ทางโรงงานได้นำผลการทดลอง DOE ที่ได้จากบทที่ 4 (พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อและ อัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง) ไปปรับปรุงใช้ในกระบวนการผลิต และทำการเก็บข้อมูลค่าของคุณสมบัติแต่ละคุณสมบัติที่ทำการศึกษาเพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย (Target) และขอบเขตที่ควบคุม (Controlled limit) รวมทั้งค่า TI และ CI ของแต่ละคุณสมบัติเป็นระยะเวลาประมาณ 4 วัน (เท่ากับรอบการผลิตประมาณ 1 สัปดาห์) โดยมีความถี่ในการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง โดยมีจำนวนข้อมูลของคุณสมบัติ MDT, CDT และ MDS เท่ากับ 448 ข้อมูลและคุณสมบัติ Bulk จำนวน 224 ข้อมูล (คุณสมบัติ MDT, CDT และ MDS จะทำการทดสอบ 4 ตัวอย่างต่อ 1

ครั้ง ในขณะที่คุณสมบัติ Bulk จะทำการทดสอบ 2 ตัวอย่างต่อ 1 ครั้ง) และนำมาแสดงเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ผลเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังการปรับปรุงของแต่ละคุณสมบัติ

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าสิ่งที่แตกต่างอย่างชัดเจนหลังจากทำการปรับปรุงคือ ค่าของแต่ละคุณสมบัติที่ทำการตรวจสอบมีความแปรปรวนลดลงโดยเฉพาะคุณสมบัติ MDT และ CDT อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในส่วนของค่าเฉลี่ยของค่าที่ทำการตรวจสอบของแต่ละคุณสมบัติเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย จะพบว่าคุณสมบัติ Bulk มีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย โดยจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าเป้าหมาย ในขณะที่คุณสมบัติ MDT, CDT และ MDS มีค่าเฉลี่ยอยู่ใกล้เคียงกับเป้าหมาย ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทำ Optimization ในบทที่ 4 ขั้นตอนถัดมาคือการนำค่าของแต่ละคุณสมบัติที่ทำการตรวจสอบมาคำนวณหาค่า TI และ CI เพื่อเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่ทางโรงงานกำหนดนั่นคือ TI ต้องมีค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.15 และ CI ต้องมีค่าอยู่ในช่วงไม่เกิน 0.85 ซึ่งผลการคำนวณ TI และ CI หลังจากทำการปรับปรุงจะแสดงอยู่ในตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5. 2 การเปรียบเทียบค่า TI ก่อนและหลังการปรับปรุงของแต่ละคุณสมบัติ

คุณสมบัติ	ค่า TI (เป้าหมาย ≤ 0.15)	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
MDT	0.08	0.04
CDT	0.13	0.15
MDS	0.40	0.02
Bulk	0.59	0.23

ตารางที่ 5. 3 การเปรียบเทียบค่า CI ก่อนและหลังการปรับปรุงของแต่ละคุณสมบัติ

คุณสมบัติ	ค่า CI (เป้าหมาย ≤ 0.85)	
	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
MDT	1.27	0.56
CDT	1.17	0.32
MDS	0.92	0.73
Bulk	0.90	0.68

ข้อมูลในตารางที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าค่า TI ของทุกคุณสมบัติยกเว้นคุณสมบัติ CDT มีค่าที่ดีขึ้นหลังทำการปรับปรุง โดยคุณสมบัติ MDT, CDT และ MDS มีค่า TI ภายหลังจากปรับปรุงตามเป้าหมายกำหนดนั่นคือ ค่า $TI \leq 0.15$ ในขณะที่ตารางที่ 5.3 แสดงผลของค่า CI ในทุกคุณสมบัติภายหลังจากปรับปรุงซึ่งมีค่าอยู่ในเป้าหมาย $CI \leq 0.85$ หากพิจารณาจำนวนคุณสมบัติของกระดาษที่ขู่ประเภท กระดาษชำระม้วนใหญ่ เกรด Jumbo roll 1 ply ที่มีค่า $TI \leq 0.15$ พบว่ามีจำนวนคิดเท่ากับ 3 คุณสมบัติจาก 4 คุณสมบัติหรือเท่ากับ 75% (เป้าหมายอย่างน้อย 51%) และมีจำนวนคุณสมบัติที่มีค่า $CI < 0.85$ เป็นจำนวน 4 คุณสมบัติหรือเท่ากับ 100% (เป้าหมายอย่างน้อย 64%)

อภิปรายผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตกระดาษที่ขู่โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดปัญหาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งในด้านความเบี่ยงเบนของค่าคุณสมบัติของกระดาษไปจากค่าเป้าหมายและปัญหาการกระจายตัวเมื่อเทียบกับขอบเขตของข้อกำหนดทางคุณภาพ ซึ่งทำให้เข้าใจถึงสาเหตุของการเกิดปัญหาและกำหนดแนวทางในการปรับปรุงได้อย่างเหมาะสมและครอบคลุม ส่งผลให้สามารถสร้างมาตรฐานในกระบวนการผลิตทั้งในส่วนของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องจักร และวิธีการทำงานของพนักงาน รวมทั้งส่งผลให้สินค้ามีคุณภาพตามข้อกำหนดทางคุณภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามในงานวิจัยยังพบว่าบางคุณสมบัติของกระดาษที่ขู่ยังคงมีความเบี่ยงเบนเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ได้แก่คุณสมบัติ Bulk และมีคุณสมบัติ CDT ที่มีโอกาสที่จะเกิดการเบี่ยงเบนออกนอกขอบเขต เนื่องจากในกระบวนการผลิตได้มีการเปลี่ยนแบบของชิ้นส่วน Plate ของ Refiner ส่งผลให้ลักษณะการบิดเบี้ยวเปลี่ยนไปจากเดิมในขณะที่ข้อกำหนดทางคุณภาพไม่ได้ทำการแก้ไข อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายของข้อมูลของคุณสมบัติ CDT ภายหลังจากปรับปรุงพบว่าการกระจายตัวน้อยมาก ($CI = 0.37$) ทำให้มีโอกาที่จะปรับปรุงค่า TI โดยการแก้ไขค่าเป้าหมาย ในข้อกำหนดทางคุณภาพให้มีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยภายหลังจากปรับปรุง แต่ยังคงรักษาขอบเขตด้านบน เท่าเดิมและแก้ไขขอบเขตด้านล่าง ให้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะ

ทำให้ค่า TI ของคุณสมบัติ CDT มีโอกาสออกนอกขอบเขตที่ควบคุมน้อยลง รวมทั้งไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของสินค้าและความรู้สึกของลูกค้า

ถัดมาคือความเป็ยงเบนของคุณสมบัติ Bulk ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าค่าเป้าหมายซึ่งมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วน Plate ของ Refiner ที่ส่งผลให้มีการบดเยื่อมากขึ้น ทำให้เยื่อมีการพองตัวน้อยลงส่งผลให้ความฟูของกระดาษลดลงตามไปด้วย อย่างไรก็ตามปัญหาของคุณสมบัติ Bulk ไม่สามารถแก้ไขได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าเป้าหมายหรือขอบเขตควบคุมในข้อกำหนดคุณภาพเนื่องมาจากมีโอกาสที่จะเกิดความแปรปรวนออกนอกขอบเขตที่ควบคุมได้และส่งผลกระทบต่อรูปลักษณะของสินค้าที่จะมีขนาดม้วนเล็กลง ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาคือคุณสมบัตื Bulk จำเป็นที่จะต้องมีการปรับเปลี่ยนหรือปรับปรุงในส่วนของเครื่องจักรซึ่งจำเป็นต้องใช้เงินลงทุน เช่น การเปลี่ยนมุมของ Creping blade ซึ่งจะส่งผลให้ Bulk มีค่าสูงขึ้นแต่จะส่งผลกระทบต่อการเรียงตัวของกระดาษ (Formation) ซึ่งจะมีผลในเรื่องของความนุ่ม หรือการทดลองสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งประเภทอื่นที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าปัจจุบัน ซึ่งวิธีเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งจะต้องทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ใหม่อีกครั้งหลังทำการปรับปรุง เป็นต้น ซึ่งการแก้ไขต่างๆเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ Bulk ได้รับการสนับสนุนจากทางโรงงานกรณีศึกษาเนื่องมาจากค่า TI และ CI ได้ถูกกำหนดเป็นดัชนีชี้วัดทางด้านคุณภาพหลักของทางโรงงานในปัจจุบัน (ตั้งแต่ปี 2556) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสินค้าของทางโรงงานให้มีคุณภาพตรงตามที่ลูกค้าต้องการและมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกระดาษชำระเกรด Jumbo roll 1 ply เพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติ MDT, CDT, MDS และ Bulk ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติต่างๆ ของกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll 1 ply ซึ่งเป็นเกรดกระดาษที่มีปริมาณการผลิตสูงที่สุดในทุกๆ เดือนโดยนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้ ตั้งแต่การกำหนดปัญหา การวิเคราะห์ระบบการวัด การวิเคราะห์หาสาเหตุของความแปรปรวนและกำหนดแนวทางการปรับปรุง การดำเนินการปรับปรุงและการติดตามผล มีขอบเขตการวิจัยเฉพาะกระบวนการผลิตกระดาษทิชชูเท่านั้น ไม่รวมกระบวนการผลิตเยื่อรีไซเคิลและกระบวนการแปรรูปกระดาษ โดยผลจากการวิเคราะห์สาเหตุของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในแต่ละคุณสมบัติสามารถระบุแนวทางการปรับปรุงแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ แนวทางการปรับปรุงที่ไม่ซับซ้อนสามารถดำเนินการได้ทันทีและ แนวทางการปรับปรุงที่มีความซับซ้อนจำเป็นต้องมีการใช้แนวคิดการออกแบบการทดลองและหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง (คุณสมบัติ) ต่างๆ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรนำเข้า (Optimization) ที่จะทำให้ได้ตัวแปรตอบสนองหรือคุณสมบัติต่างๆ เข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่กำหนด และให้มีค่า Target index (TI) และ Capability index (CI) อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

ซึ่งผลจากการดำเนินงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าแนวทางการปรับปรุงทั้งประเภทสามารถดำเนินการได้ทันที เช่น การปรับปรุงมาตรฐานการเตรียมตัวอย่างกระดาษสำหรับการตรวจสอบคุณภาพ การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักร และแนวทางการปรับปรุงโดยใช้แนวคิดการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments, D.O.E.) การวิเคราะห์ความถดถอย และการหาจุดที่ดีที่สุดด้วยวิธี Desirability function เพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของตัวแปรนำเข้า พลังงานที่ใช้ในกระบวนการบดเยื่อและ อัตราการใช้สารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้ง

ผลการปรับปรุงพบว่า สามารถลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติที่สนใจเกือบทั้งหมด โดยค่า TI ของคุณสมบัติ MDT ปรับปรุงจาก 0.08 เป็น 0.04 คุณสมบัติ MDS ปรับปรุงจาก 0.40 เป็น 0.02 คุณสมบัติ Bulk ปรับปรุงจาก 0.59 เป็น 0.23 ส่วนคุณสมบัติ CDT มีค่า TI ภายหลังการปรับปรุงสูงขึ้นจาก 0.13 เป็น 0.15 ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับขอบเขตที่กำหนด ($TI \leq 0.15$) พบว่าคุณสมบัติ Bulk ยังมีค่าไม่อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ขณะที่ค่า CI ของทุกคุณสมบัติมีการปรับปรุงที่ดีขึ้นและอยู่ในขอบเขตที่ควบคุมทั้งหมด ($CI \leq 0.85$) โดย MDT มีค่าปรับปรุงขึ้นจาก 1.27 เป็น 0.56 คุณสมบัติ CDT ปรับปรุงจาก 1.17 เป็น 0.32 คุณสมบัติ MDS เปลี่ยนแปลงจาก 0.92 เป็น 0.73 และคุณสมบัติ Bulk ดีขึ้นจาก 0.90 เป็น 0.68

นอกจากนั้นมีจำนวนคุณสมบัติที่มีค่า TI อยู่ในข่วงน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.15 ($TI < 0.15$) อยู่ 3 คุณสมบัติ จาก 4 คุณสมบัติหรือเท่ากับ 75% ซึ่งใกล้เคียงเป้าหมายที่อย่างน้อย 51% ส่วนจำนวนคุณสมบัติที่มีค่า CI น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.85 มีอยู่ทั้งสิ้นสี่คุณสมบัติ

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ได้รับความรู้ความเข้าใจในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เครื่องมือ และแนวคิดใหม่ที่เป็นระบบได้แก่ ซิกซ์ ซิกมา การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ความถดถอย และการหาจุดที่ดีที่สุดด้วยวิธี Desirability function ซึ่งทำให้การดำเนินการปรับปรุงเป็นขั้นตอน และครอบคลุมทั้งในด้านการวิเคราะห์และการติดตามผลซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระดาษชำระเกรดอื่นๆที่พบปัญหาได้

2. มีความเข้าใจถึงปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความแปรปรวนที่เกิดขึ้นรวมทั้งลักษณะความสัมพันธ์ที่มีต่อคุณสมบัติของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo roll 1 ply แต่ละคุณสมบัติ

3. ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคุณสมบัติของลูกกระดาษฮาร์ดโรลล์เกรด Jumbo roll 1 ply แต่ละคุณสมบัติมีค่าลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยเฉพาะค่า CI

6.3 อุปสรรคในการทำงานวิจัย

1. ระยะเวลาในการทดลองค่อนข้างจำกัดเนื่องมาจากความต้องการสินค้าสูง

2. ในการทดลองด้วยวิธี Central Composite Design ไม่สามารถจัดลำดับการทดลองโดยการสุ่ม 100% เนื่องจากจะส่งผลให้เกิดข้อเสียในการทดลองสูงรวมทั้งใช้ระยะเวลาในการปรับตั้งเครื่องนาน ทำให้ต้องจัดลำดับการทดลองโดยสุ่มเพียง 1 ตัวแปรนำเข้าเท่านั้น

6.4 ข้อจำกัดในงานทำงานวิจัย

1. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและคุณสมบัติต่างๆที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ได้กับกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll 1 ply เท่านั้น ในกรณีที่ต้องการปรับปรุงเพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระดาษทิชชูเกรดอื่น จำเป็นต้องทำการทดลองในลักษณะเดียวกัน

2. วิธีการที่นำมาใช้และผลลัพธ์ที่ได้ในงานวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของ ปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆในกระบวนการผลิตในช่วงการทดลองและการนำไปใช้จริง หากมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรนำเข้าอื่นๆไปจากเดิมเช่น ทำการลดความเร็วของลูกอบไอน้ำจะส่งผลให้คุณสมบัติต่างๆของกระดาษทิชชูเกรด Jumbo roll 1 ply มีค่าแตกต่างไปจากค่าที่ได้จากงานวิจัย

6.5 ข้อเสนอแนะ

จากผลของงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติ Bulk มีค่าภายหลังการปรับปรุงอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าค่าเป้าหมาย อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วน Plate ของ Refiner ที่ส่งผลต่อการพองตัวของเยื่อ ซึ่งการแก้ไขเพื่อปรับปรุงปัญหาคุณสมบัติ Bulk อยู่ในเกณฑ์ต่ำจำเป็นต้องมีการศึกษาขั้นตอนในกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อค่า Bulk และทำการทดลอง และ/หรือ ทำการปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรเช่น ทำการเปลี่ยนแปลง Plate ของ Refiner ให้มีคุณสมบัติ Bulk สอดคล้องกับข้อกำหนดทางคุณภาพ โดยอาจมีการทดลองเปลี่ยนสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อแห้งที่สามารถเพิ่มค่า MDT ได้มากกว่าสารเคมีที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อให้ขั้นตอนการบดเยื่อไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานสูงเหมือนในปัจจุบัน เป็นต้น ซึ่งภายหลังจากทดลอง และ/หรือปรับเปลี่ยนส่วนต่างๆในกระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ Bulk แล้วจำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 คุณสมบัติรวมทั้งจุดที่เหมาะสมที่สุดอีกครั้ง

รายการอ้างอิง

1. ประวัติความเป็นมา *Six Sigma* [cited 2555 ตุลาคม 28]; Available from: <http://graduate.east.spu.ac.th/graduate/admin/knowledge/A201Six%20sigma.pdf>
2. เพิ่มพิมล, ภ. ประวัติความเป็นมาของ *Six Sigma*. [cited 2555 ตุลาคม 28]; Available from: <http://www.squared.chula.ac.th/articles/LeanSixsigma.pdf>.
3. Pyzdek, T., *The Six sigma handbook : a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*. Rev. and expanded ed. 2003, New York: McGraw-Hill. xviii, 830 p.
4. โจรนโรวรรณ, น., การควบคุมคุณภาพ (*Quality Control*). 2553, กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. ชูติมา, ป., การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. 2545, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
6. Derringer, G. and R. Suich, *Simultaneous Optimization of Several Response Variables*. *Journal of Quality Technology*, 1980. 12(4): p. 214-219.
7. Draper, N.R. and D.K.J. Lin, *Response Surface Designs*, in *Handbook of Statistics*, G.a.C.R.R. Subir, Editor. 1996, North Holland: New York. p. 323-375.
8. Fuller, D. and W. Scherer, *The desirability function: underlying assumptions and application implications*, in *IEEE International Conference on Systems*. 1999. p. 4016-4021.
9. แหวนเพชร, ว. ระบบซิกซ์ ซิกม่า *Six Sigma System (6 σ)*. [cited 2555 28 ตุลาคม]; Available from: <http://www.ind.cru.in.th/articleind/10.pdf>.
10. อินทร์ติยะ, ป., การลดต้นทุนกระดาษทำผิวกล่องโดยการปรับปรุงคุณภาพเยื่อกระดาษพิเศษพิมพ์เขียน, in *ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2555*, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
11. Foelkel, C., *Advances in eucalyptus fiber properties and paper products*, in *III ICEP – International Colloquium on Eucalyptus Pulp*. 2007: Brazil.
12. Smook, G.A., *Handbook for pulp & paper technologists*. 3rd ed. 2002, Vancouver ; Bellingham: Angus Wilde Publications. ix, 425 p.
13. Lumiainen, J., *Refining of chemical pulp*, in *Paper making part 1, Stock preparation and Wet end*, H. Paulapuro, Editor. 2000, Fapet Oy: Finland. p. 87-122.
14. Pikulik, I.I., et al., *The effect of refining, forming and pressing on fine paper quality*. *Tappi Journal*, 1998. 81(6): p. 122.
15. Vainio, A. and H. Paulapuro, *The effect of wet pressing and drying on bonding and activation in paper*. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 2007. 22(4): p. 403-408.

16. Campbell, C.J., *Crepe Control Optimization to Improve Production Efficiency and Enhance Handfeel Softness*. TAPPI Paper Summit, 2002.
17. Raunio, J.P., Ritala, R., and Makinen, M, *Variability of Crepe Frequency in Tissue Paper; Relationship to Basis Weight*. Tappi, Control System 2012: p. 23-33.
18. Myer, R.H. and D.C. Montgomery, *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Designed Experiments*. 3 ed. 2002, New York: John Wiley & Sons Inc.
19. Draper, N.R. and H. Smith, *Applied Regression Analysis*. 1 ed. 1966, New York: Wiley.
20. Harrington, J., *The Desirability Function*. Industrial Quality Control, 1965. 21(10): p. 494-498.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดคุณสมบัติ MDT, CDT ของเครื่องมือวัด Tensile#1 และ 2



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความถี่ในการตรวจสอบ: ประจำสัปดาห์ ทุกๆวันจันทร์

อุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ

- Certified standard hook weight set ขนาด 50 g
- Certified standard hook weight set ขนาด 100g
- Certified standard hook weight set ขนาด 500g
- Certified standard hook weight set ขนาด 1kg
- Certified standard hook weight set ขนาด 2 kg

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1. ถอดชุดจับตัวอย่างกระดาษที่แขวนกับ Load cell ออกแล้วใส่ก้านต่อเพื่อแขวนตุ้มน้ำหนัก
2. Reset ค่า Pre-load ที่หน้าจอให้เป็นศูนย์ แล้ว Calibrate โปรแกรมก่อนที่จะสอบเทียบ Load cell ทุกครั้ง
3. แขวน Standard Hook Weight แต่ละขนาดกับห่วงที่แขวนกับ Load cell เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของ Load cell
4. บันทึกค่าที่อ่านได้ โดยค่าที่อ่านได้ต้องมีค่าไม่เกิน 1% ของน้ำหนัก Standard Hook Weight แต่ละขนาด (คำนวณจากค่าที่แตกต่างจากค่าน้ำหนัก Standard Hook Weight x 100% / น้ำหนัก Standard Hook Weight)

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด Tensile#1

วันที่	Specified Weight				
	50g	100g	500g	1000g	2000g
22 ก.ค. 56	50	100	500	1000	1999
15 ก.ค. 56	50	100	500	999	1998
8 ก.ค. 56	50	100	500	999	1999
1 ก.ค. 56	50	100	500	999	1998
24 มิ.ย. 56	50	100	500	1000	1999
17 มิ.ย. 56	50	100	500	1000	1999
10 มิ.ย. 56	50	100	499	999	1999
3 มิ.ย. 56	50	100	499	999	1999
27 พ.ค. 56	50	100	500	999	1999
20 พ.ค. 56	50	100	500	1000	1998
7 พ.ค. 56	50	100	500	1000	1999
29 เม.ย. 56	50	100	500	999	1999
22 เม.ย. 56	50	100	499	999	1997
17 เม.ย. 56	50	100	500	1000	1997
9 เม.ย. 56	50	100	499	1000	1999
1 เม.ย. 56	50	100	499	999	1999
25 มี.ค. 56	50	100	499	999	2002
20 มี.ค. 56	50	100	499	1000	1999
11 มี.ค. 56	50	100	500	999	1999
4 มี.ค. 56	50	100	499	999	1998
26 ก.พ. 56	50	100	499	1000	1999
18 ก.พ. 56	50	100	499	999	1999
11 ก.พ. 56	50	100	500	1000	1999
4 ก.พ. 56	50	100	499	999	1999
28 ม.ค. 56	50	100	500	999	1998
21 ม.ค. 56	50	100	500	999	1998
14 ม.ค. 56	50	100	499	1000	1999
7 ม.ค. 56	50	100	499	999	1997
2 ม.ค. 56	50	100	499	999	1997
24 ธ.ค. 55	50	100	500	999	1998

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด Tensile#2

วันที่	Specified Weight				
	50g	100g	500g	1000g	2000g
22 ก.ค. 56	50	100	500	999	1998
15 ก.ค. 56	50	100	500	1000	1999
8 ก.ค. 56	50	100	500	999	1999
1 ก.ค. 56	50	100	500	999	1999
24 มิ.ย. 56	50	100	500	999	1998
17 มิ.ย. 56	50	100	500	1000	1999
10 มิ.ย. 56	50	100	500	1000	1999
3 มิ.ย. 56	50	100	500	1000	1999
27 พ.ค. 56	50	100	500	1000	1999
20 พ.ค. 56	50	100	500	1000	1998
7 พ.ค. 56	50	100	500	999	1999
29 เม.ย. 56	50	100	500	1000	1997
22 เม.ย. 56	50	100	499	999	1998
17 เม.ย. 56	50	100	500	999	1999
9 เม.ย. 56	50	100	499	1000	1998
1 เม.ย. 56	50	100	500	999	1999
25 มี.ค. 56	50	100	500	999	1999
18 มี.ค. 56	50	100	500	999	1999
11 มี.ค. 56	50	100	500	1000	1999
4 มี.ค. 56	50	100	500	1000	1998
26 ก.พ. 56	50	100	500	999	1999
18 ก.พ. 56	50	100	500	999	1999
11 ก.พ. 56	50	100	499	999	1999
4 ก.พ. 56	50	100	500	999	1999
28 ม.ค. 56	50	100	499	999	1999
21 ม.ค. 56	50	100	499	999	1999
14 ม.ค. 56	50	100	499	1000	1999
7 ม.ค. 56	50	100	500	999	1999
2 ม.ค. 56	50	100	499	999	1999
24 ธ.ค. 55	50	100	500	999	1999
17 ธ.ค. 55	50	100	500	1000	1998
11 ธ.ค. 55	50	100	500	1000	1998
3 ธ.ค. 55	50	100	500	999	1998
26 พ.ย. 55	50	100	500	999	1999
19 พ.ย. 55	50	100	500	999	1999
12 พ.ย. 55	50	100	499	999	1998
5 พ.ย. 55	50	100	499	999	1999

29 ต.ค. 55	50	100	500	1000	2000
22 ต.ค. 55	50	100	500	1000	1999
15 ต.ค. 55	50	100	500	1000	1999
8 ต.ค. 55	50	100	500	1000	1999
1 ต.ค. 55	50	100	500	1000	1999
24 ก.ย. 55	50	100	500	999	1999
17 ก.ย. 55	50	100	500	1000	1999
10 ก.ย. 55	50	100	500	999	1999
3 ก.ย. 55	50	100	500	1000	1999
27 ส.ค. 55	50	100	500	1000	1999
20 ส.ค. 55	50	100	500	1000	1999
14 ส.ค. 55	50	100	500	1000	1998
6 ส.ค. 55	50	100	500	1000	1999

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดคุณสมบัติ MDS ของเครื่องมือวัด Tensile#1 และ 2



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความถี่ในการตรวจสอบ: ประจำปี

อุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ: Stop watch

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1. กำหนดอัตราการเคลื่อนที่ของชุดจับตัวอย่างกระดาษที่แขวนกับ Load cell ให้เท่ากับ 10 mm/min
2. กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่ โดยดูจาก Scale ที่อยู่ด้านข้างของเครื่องวัดเท่ากับ 10 mm
3. กำหนดจุดเริ่มต้น โดยเริ่มจากจุดต่ำสุดของ Scale เป็น Zero
4. กดปุ่ม Start เพื่อให้ชุดจับตัวอย่างกระดาษที่แขวนกับ Load cell เคลื่อนที่พร้อมกับเริ่มจับเวลา
5. กดปุ่ม Stop เมื่อชุดจับตัวอย่างกระดาษที่แขวนกับ Load cell เคลื่อนที่เป็นเวลา 1 นาที
6. จดบันทึกค่าระยะการเคลื่อนที่ของ
7. ทำซ้ำ อีก 2 ครั้ง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย

ผลการสอบเทียบการวัดคุณสมบัติ MDS ของเครื่องมือวัด Tensile#1

Function test: Speed

Nominal Value	UTM. Reading			Average Value	Relative Error	Expansion Uncertainty
	Run 1	Run 2	Run 3			
(inch/min)	(inch/min)	(inch/min)	(inch/min)	(inch/min)	(%)	(± %)
10.00	9.98	9.99	9.99	9.987	0.167	13.28

ผลการสอบเทียบการวัดคุณสมบัติ MDS ของเครื่องมือวัด Tensile#2

Function test: Speed

Nominal Value	UTM. Reading			Average Value	Relative Error	Expansion Uncertainty
	Run 1	Run 2	Run 3			
(inch/min)	(inch/min)	(inch/min)	(inch/min)	(inch/min)	(%)	(± %)
10.00	9.98	9.98	9.99	9.983	0.133	13.28

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัดคุณสมบัติ Bulk ของเครื่องมือวัด



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การตั้ง Parallel เครื่องวัด และการสอบเทียบ

ความถี่ในการตรวจสอบ: ประจำเดือน

อุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการตั้ง Parallel เครื่องวัด: ลวด Parallelism gauge ขนาด 0.010 - 0.020

ขั้นตอนการ Parallel เครื่องวัด

1. Warm เครื่องวัดก่อนการทำ Parallel เป็นเวลา 30 นาที
2. สอดลวด Parallelism gauge เข้าไปบนพื้นที่วัด ระยะประมาณ 1/8 นิ้วจากขอบ Anvil แล้วปรับ switch ไปที่ตำแหน่ง Run
3. ปลดปล่อยให้ Pressure foot เคลื่อนที่ขึ้น-ลง (ประมาณ 5 ครั้ง) อ่านค่าเฉลี่ยด้านซ้ายเทียบกับด้านขวา (ค่าที่วัดได้ระหว่างด้านซ้ายและด้านขวา ไม่ควรเกิน 20.0 (± 0.2) (หากค่าที่วัดได้ทั้งสองด้านแตกต่างกันเกิน ± 0.2 ให้ใช้สกรูปรับน็อตด้านหน้าบน Anvil)
4. ทำการวัดด้านหน้าและด้านหลังเช่นเดียวกับข้อ 3 หากด้านหลังวัดค่าได้ต่ำกว่าให้ใช้สกรูปรับน็อตด้านหลังบน Anvil ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาจนได้ค่าที่เท่ากัน (กรณีนี้ห้ามใช้สกรูปรับน็อตด้านหน้าบน Anvil เด็ดขาด)
5. ให้ทำการวัด Parallel ตามข้อ 2 และ 3 ซ้ำอีกครั้ง

ผลการวิเคราะห์ Parallel เครื่องมือวัด Bulk

Date	Measure value		Diff	Measure value		Diff
	Front	Rear		Left	Right	
30 มิ.ย. 56	0.48	0.484	0.004	0.483	0.485	0.002
31 พ.ค. 56	0.488	0.489	0.001	0.491	0.487	0.004
30 เม.ย. 56	0.484	0.485	0.001	0.488	0.486	0.002
26 มี.ค. 56	0.475	0.48	0.005	0.475	0.479	0.004
28 ก.พ. 56	0.506	0.506	0	0.508	0.509	0.001
31 ม.ค. 56	0.479	0.477	0.002	0.48	0.481	0.001
29 ธ.ค. 55	0.472	0.472	0	0.474	0.475	0.001
20 พ.ย. 55	0.483	0.483	0	0.479	0.483	0.004
18 ต.ค. 55	0.476	0.475	0.001	0.471	0.476	0.005
23 ก.ย. 55	0.478	0.476	0.002	0.478	0.478	0
17 ส.ค. 55	0.522	0.522	0	0.521	0.523	0.002
19 ก.ค. 55	0.494	0.494	0	0.494	0.495	0.001

อุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ

- Certified rectangular gauge blocks ขนาด 0.5 mm
- Certified rectangular gauge blocks ขนาด 1 mm
- Certified rectangular gauge blocks ขนาด 2 mm
- Certified rectangular gauge blocks ขนาด 2.25 mm
- Certified rectangular gauge blocks ขนาด 3 mm
- Certified rectangular gauge blocks ขนาด 5 mm

ขั้นตอนการสอบเทียบ

1. วัดความหนาของ Standard gauge ที่ความหนาต่างๆ (ค่าที่อ่านได้ต้องอยู่ในช่วง ± 0.015 mm)
2. หากค่าที่อ่านได้เบี่ยงเบนไปจากขอบเขตที่กำหนดให้ใช้ไขควงปรับที่ปุ่มด้านในทางขวา โดยการหมุนปรับตามเข็ม/ทวนเข็มนาฬิกา จนได้ค่าใน range

ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัด Bulk

Date	Measure data					
	0.5 mm	1 mm	2 mm	2.25 mm	3 mm	5 mm
30 มิ.ย. 56	0.488	0.996	1.99	2.238	2.986	5.011
31 พ.ค. 56	0.489	0.993	1.989	2.236	2.986	5.014
30 เม.ย. 56	0.492	0.997	1.99	2.239	3.008	5.014
26 มี.ค. 56	0.488	0.995	1.992	2.244	3.014	5.015
28 ก.พ. 56	0.512	1.013	2.019	2.26	3.015	5.001
31 ม.ค. 56	0.488	0.988	1.986	2.242	2.989	4.996
29 ธ.ค. 55	0.488	0.988	1.987	2.235	2.985	4.991
20 พ.ย. 55	0.511	1.015	2.019	2.264	3.015	5.02
18 ต.ค. 55	0.488	0.985	2.018	2.258	2.986	5.012
23 ก.ย. 55	0.493	1	2	2.264	3.014	5.014
17 ส.ค. 55	0.506	1.015	2.017	2.258	3.001	5.014
19 ก.ค. 55	0.489	0.991	1.991	2.238	2.987	4.986

ภาคผนวก ง
ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุม Basis weight valve



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Calibration result:

Standard value			Magnetic Flowmeter		Uncertainty of measurement \pm l/m
Percent (%)	Setting (m/s)	Indication (l/m)	Indicator (l/m)	Error (l/m)	
0	0.0000	0.0	0.1	0.1	0.058
25	0.6975	210.4	210.5	0.1	0.058
50	1.3950	420.8	420.8	-0.1	0.058
75	2.0925	631.3	631.3	0.0	0.058
100	2.7900	841.8	841.8	0.1	0.058

Output

Standard value			Magnetic Flowmeter		Uncertainty of measurement \pm mA
Percent (%)	Setting (m/s)	Indication (mA)	Indicator (mA)	Error (mA)	
0	0.0000	4.000	4.001	0.001	0.011
25	0.6975	7.999	7.996	-0.003	0.012
50	1.3950	11.997	11.995	-0.002	0.013
75	2.0925	15.996	15.993	-0.003	0.015
100	2.7900	19.994	19.993	-0.002	0.016

The uncertainty report is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor $k=2$, providing a level of confidence of approximately 95%

ภาคผนวก จ
ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไอน้ำ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Calibration result:

Main steam

Standard pressure (kg/cm ²)	Transmitter Output		Deviation (kg/cm ²)	Uncertainty (± kg/cm ²)
	(mA)	(kg/cm ²)		
0.0	3.998	0.00	0.00	0.23
1.5	5.600	1.50	0.00	0.23
3.0	7.215	3.01	0.01	0.23
4.5	8.793	4.49	-0.01	0.23
6.0	10.392	5.59	-0.01	0.23
7.5	11.995	7.50	0.00	0.23
9.0	13.600	9.00	0.00	0.23
10.5	15.196	10.50	0.00	0.23
12.0	16.798	12.00	0.00	0.23
13.5	18.401	13.50	0.00	0.23
15.0	19.999	15.00	0.00	0.23

ภาคผนวก ฉ
ตัวอย่างเอกสาร Control plan



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เอกสารตรวจสอบปัจจัยนำเข้าในการเดินเครื่อง (Centerline log sheet)

Centerline Log #2TM									
วันที่ผลิต		เกรดกระดาษ		Jumbo roll 1 ply					
No.	จุดที่ตรวจสอบ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน			กะเช้า	กะบ่าย	กะดึก	หมายเหตุ
			Min	Target	Max				
Stock Preparation									
1									
2									
3	Pressure ธิมและการทำงานของ Control Valve Virgin Chest Flow Control	kg/cm ²	2.0	3.0	4.0				
4	Pressure ธิมและการทำงานของ Control Valve Broke Chest Flow Control	kg/cm ²	3.0	4.0	5.0				
5	Pressure ธิมและการทำงานของ Control Valve DIP Flow Control	kg/cm ²	2.0	2.8	3.5				
6	ระดับเยื่อ ใน M/C Chest	%		56					
8	M/C Chest Consistency	%		3.5					
9	Pressure Oil Pump ของ DDR	kg/cm ²	60	80	90				
10	Pressure น้ำมันข้างกระบอสูบที่สู Control DDR	kg/cm ²	0	-	80				
11	Pressure เยื่อเข้า DDR	kg/cm ²	0.8	1.3	1.5				
12	Loading Amp DDR	Amp	32	34	36				
13	Pressure Switch DDR	kg/cm ²	0.6	1.0	1.2				
16	การไหลของเยื่อเข้า Mix Tank	%		บันทึก					
17	เปอร์เซ็นต์การเปิด Basis Weight Valve	%		บันทึก					
18	การใช้ Starch	cc/min	1000	2250	3500				
Formation									
19	Amp ของ Motor Fan Pump	Amp	100	200	300				
20	Pressure ของ Diffuser	kg/cm ²	0.3	0.6	1.0				
21	Pressure ของ Clutch Form Roll	kg/cm ²	3.0	4.0	5.0				
22	Pressure Air Mouth	kg/cm ²	3.0	3.8	4.0				
23	Pressure H.P. Wire	kg/cm ²	20	25	30				
25	Pressure Guide Control Wire	kg/cm ²	1.0	1.5	2.0				
28	J/W Ratio		0.94	0.96	1.0				
Wet Pressing									
29	Flooded Nip Shower Pressure	kg/cm ²	3.5	4.5	5.5				
30	Felt H.P. Shower Pressure	kg/cm ²	8.0	12	17				
31	H.P. Pump Shower	kg/cm ²	35	41	45				
33	Guide Control Felt Pressure	kg/cm ²	1.5	2.0	3.0				
34	ค่า U-Box # 1	mmhg	270	400	450				
35	ค่า U-Box # 2	mmhg	270	400	450				
36	Pressure ของ Uhle Box Sealing Shower	kg/cm ²	1.0	1.5	2.0				
37	Sealing Vacuum ตัวเล็ก Pressure	kg/cm ²	0.4	0.6	1.0				
38	Sealing Vacuum ตัวใหญ่ Pressure	kg/cm ²	0.2	0.4	0.8				
39	Vac. ของ Vacuum ตัวเล็ก	mmhg	200	340	460				
40	Vac. ของ Vacuum ตัวใหญ่	mmhg	160	280	300				
41	Vac. Pressure Roll	mmhg	160	-	300				
42	Air Deckle Pressure	kg/cm ²	0.5	1.0	1.5				
43	Pressure Loading	F	kg/cm ²	3.0	3.5	3.6			
44		B	kg/cm ²	3.0	3.3	3.4			
45	Sealing Pressure Roll Pressure	kg/cm ²	0.3	0.8	1.3				
46	Shower Pressure Roll Pressure	kg/cm ²	0.5	1.0	1.5				
47	ค่า Amp ของ Vacuum Pump ตัวใหญ่	Amp	150	180	192				
48	ค่า Amp ของ Vacuum Pump ตัวเล็ก	Amp	20	30	122				
49	แรงดันน้ำที่ Vacuum Pit TM#2	kg/cm ²	2.0	3.0	4.0				

แผนการตรวจสอบสภาพของเครื่องจักร (Prevention log sheet)

Prevention Log TM#2						
(สำหรับช่วง Shutdown และ PM)						
เอกสารเลขที่ :	ประจำเดือน : _____ ระหว่างวันที่ _____					
ตำแหน่งงาน :						
รายการ	เอกสารอ้างอิง	ความถี่	ผู้ปฏิบัติงาน	วันที่ทำ	บันทึกปัญหาและการแก้ไข	
Stock Preparation						
ถอดล้างทำความสะอาด Basis Weight Valve	TH-WI-00254/2	ทุกPM				
ตรวจสอบสภาพหมักบ่อ M/C Chest เพื่อตรวจสอบว่ามี Pitch เกาะมากน้อยเพียงใด	TH-WI-00401/2	ทุกPM				
ทำความสะอาดหมักบ่อ M/C Chest เพื่อล้าง Pitch ที่เกาะอยู่ที่หมัก	TH-WI-00401/2	ทุกเดือน				
ถอดล้างทำความสะอาด Screen plate F.N Screen TM#2 โดยสลับตัวใช้	TH-WI-00797/2	ทุกเดือน				
ล้างทำความสะอาด Mix Tank		ทุกPM				
Formation						
ตรวจสอบ Pressure ของ Wire Part Moving (Target 70 - 80 Kg/cm2)		ทุกPM				
ตรวจสอบแรงดันของน้ำมัน ของ Wire Part Moving (Target = 60Kg/cm2)		ทุกPM				
ตรวจสอบการทำงานของ Wire Part Moving		ทุกPM				
Wire Part Moving						
ล้างบ่อ Wire Pit ทุกครั้งที่หยุดเครื่อง	TH-WI-00265/2	ทุกShutdown				
เปิดล้างภายใน Head Box	TH-WI-00269/2	ทุกShutdown				
ตรวจสอบสภาพ Wire ที่ใช้งานอยู่	TH-WI-00195/2	ทุกShutdown				
หยุด Pump ของ Biocide ทุกครั้งที่หยุดเครื่อง		ทุกShutdown				
ตรวจสอบเช็ค Mark Line ของ Wire ต้องเป็นแนวเส้นตรง		ทุกStart Up				
สตาร์ท Pump ของ Biocide ทุกครั้งที่เริ่มเดินเครื่อง		ทุกStart Up				
ตั้ง Mark Line ของ Wire	TH-WI-00053/2	ทุกStart Up				
ตรวจสอบสภาพผิว Form Roll		ทุกเปลี่ยน Felt				
ตรวจสอบ Speed ของ Form Roll เทียบกับ Speed ของ Dryer ต้องเท่ากัน (วัดในขณะที่ unload pressure roll)	TH-WI-00078/2	ทุกPM				
เช็คสภาพ Water Doctor Blade ของ Form Roll		ทุกเปลี่ยน Felt				
วัดระยะห่างจากขอบ Wire ถึง ขอบ Tension Roll ให้มีระยะเท่ากันทั้งสองข้าง		ทุกเปลี่ยน Wire				
วัดค่า Tension ของ wire (Min=105 Target=110 Max=115)		ทุกเปลี่ยน Wire				
ถอดทำความสะอาดเพื่อล้าง Scale ของ Wire Shower ทุกตัว เมื่อเครื่องหยุด	TH-WI-00078/2	ทุกPM				
ตรวจสอบสภาพทั่วไปของ Tray Wire Roll ว่าอยู่ในสภาพสมบูรณ์หรือไม่		ทุกเปลี่ยน Wire				
ทำความสะอาด Filter ของ HP Wire	TH-WI-00078/2	ทุกPM				
ตรวจสอบสภาพผิวของ Wire Roll		ทุกเปลี่ยน Wire				
Wet Pressing						
ตรวจสอบสภาพและทำความสะอาดของ Nozzle ของ Felt Flooded Nip Shower		ทุกShutdown				
ตรวจสอบการอุดตันของ สลัดซ์ของ Uhle Box		ทุกShutdown				
ตรวจสอบสภาพและทำความสะอาดของ Nozzle ของ Uhle Box Sealing Shower		ทุกShutdown				
ทำความสะอาด ท่อ Uhle Box Sealing Shower		ทุกShutdown				
ตรวจสอบสภาพทั่วไปของ Felt ที่ใช้งานอยู่		ทุกShutdown				

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศิริเวทย์ อัสวไชยวงศ์ เกิดวันที่ 7 มกราคม พ.ศ.2526 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนหอวัง เมื่อปี พ.ศ.2544 และได้เข้าศึกษาต่อคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ.2548 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY