การลดของเสียในการผลิตชิ้นไม้สับโดยการออกแบบการทดลอง

นายพิทักษ์ชน วิเศษ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ได้ปริมาณในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 Graduate School.

DEFECT REDUCTION OF WOOD CHIP PRODUCTION USING EXPERIMENTAL DESIGN

Mr. Pitakchon Wises

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	การลดของเสียในการผลิตชิ้นไม้สับโดยการออกแบบการทดลอง
โดย	นายพิทักษ์ชน วิเศษ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…….. ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช)

…….. กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

…….. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

พิทักษ์ชน วิเศษ : การลดของเสียในการผลิตชิ้นไม้สับโดยการออกแบบการทดลอง. (DEFECT REDUCTION OF WOOD CHIP PRODUCTION USING EXPERIMENTAL DESIGN) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช, 131 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ โดยประเภทของเสียที่พบมากที่สุดคือขนาดชิ้นไม้สับไม่ได้มาตรฐาน จึงทำการหาสาเหตุโดยศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียที่มาจากขนาดชิ้นไม้สับไม่ได้มาตรฐาน เบื้องต้นพบว่าปัจจัยเบื้องต้น มี 4 ปัจจัย และเมื่อทำการทดลองโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อขนาดชิ้นไม้สับออกไป จึง เหลือเพียงความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ องศาใบมีดชุดสับไม้ และ ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ มีผลต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญ จากนั้นทำการทดลองอีกครั้งโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design เพื่อหาสภาวะในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ และลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับพบว่าทั้ง 3 ปัจจัยคือความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่อัตรา 7.5 รอบต่อนาที องศาใบมีดชุดสับไม้ ที่ 34 องศา และระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ที่ 3 มิลลิเมตร เป็นระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร เมื่อนำค่าปัจจัยต่าง ๆ ไปทำการผลิตจริงเพื่อยืนยันผล พบว่าค่าความเบี่ยงเบนก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีค่าเป็น 25.46±5.45 มิลลิเมตร หลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเป็น 23.80±1.61 มิลลิเมตร สามารถลดของเสียจาก 5.74% เหลือเพียง 2.79% และทำให้ดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต (C_{pk}) เพิ่มขึ้นจาก 0.16 เป็น 0.87

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2556

5470979721: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: DESIGN OF EXPERIMENTS / WOOD CHIP / DEFECT

PITAKCHON WISES: DEFECT REDUCTION OF WOOD CHIP PRODUCTION USING EXPERIMENTAL DESIGN. ADVISOR: ASSOC. PROF. JITTRA RUKIJKANPANICH, Ph.D., 131 pp,

The objective of this research was to reduce the defects in wood chip production. It was found that the defects were improper size of wood chips. Four factors were selected to the first experiment by 2^k Factorial Design. The result was shown that 3 factors were significant. They were debarking drum speed, knife angle and gap of cut. Then the redesign experiment using 3^k factorial design was held. As the result, the debarking drum speed was fixed 7.5 rpm, the knife angle was fixed 34 degree and the gap of cut was fixed 3 mm. In order to reduce the deviation of the chip length and reduce the defects in wood chip production. The results from the redesign experiment were set for the real production. It was found that the deviation of the chip length reduced from 25.46 ± 5.45 mm. to 23.80±1.61 mm. as well as the defects reduced from 5.74% to 2.79%, while C_{pk} increased from 0.16 to 0.87

Department: Industrial Engineering Student's Signature……

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature……

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็นต่างๆในงานวิจัย และคำแนะนำเกี่ยวกับความรู้ แนวทางการแก้ปัญหาให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา กรรมการ และ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องและคำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาที่เห็นความสำคัญของการนำความรู้ความสามารถจากการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้และได้อนุญาตให้สามารถทำการทดลองจริงสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา 2
1.2 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา 7
1.3 กระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ 10
1.4 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 11
1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 17
1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 18
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 18
บทที่2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) 20
2.1.1 ความหมายของการออกแบบการทดลอง 20
2.1.2 ส่วนประกอบต่างๆของการทดลอง 21
2.1.3 หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง 22
2.1.4 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง 22
2.2 การเลือกการออกแบบการทดลอง 24
2.2.1 แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design) 24

หน้า

2.2.2 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) 25
2.3 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล.....26
2.3.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R - Square).....27
2.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy checking).....27
2.4 ความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติ 29
2.4.1 ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพ.....29
2.4.2 ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะ.....30
2.4.3 การคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ.....32
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาปัจจัย.....34
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง 35
2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาโรงงานผลิตชิ้นสับ 37
บทที่ 3 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา
3.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด 40
3.1.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....41
3.1.2 ขั้นตอนการศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องมือวัดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ 42
3.2 การค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 46
3.2.1 การค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง.....47
3.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดชิ้นไม้สับ 49
3.3 การคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....53
3.3.1 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลอง 54
3.3.2 ปัจจัยที่ไม่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลอง 56
บทที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย
4.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 56
4.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables).....60

หน้า

4.3 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น....60

บทที่ 5 การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 วิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ....68

5.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ....70

5.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยต่อค่าความยาวชิ้นไม้สับ 73

5.2 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม....77

5.3 การวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม....81

5.3.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ....81

5.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ....85

5.3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของความยาวชิ้นไม้สับ.....

....88

5.3.4 การทดสอบพหุพิสัยของดันแคนค่าความเบี่ยงเบนของค่าความยาวชิ้นไม้สับ....92

5.4 การทดสอบผลิตจริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง....102

5.4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผล....107

5.4.2 แผนภูมิควบคุม....109

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย....112

6.2 ปัญหาและอุปสรรคการวิจัย....115

6.3 ข้อจำกัดของการวิจัย....115

6.4 ข้อเสนอแนะ....116

รายการอ้างอิง....117

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก คู่มืออ้างอิงในการปฏิบัติงาน....120

ภาคผนวก ข ผลทางสถิติของการออกแบบการทดลองเบื้องต้น....124

ภาคผนวก ค แบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัย....127

หน้า

ภาคผนวก ง ข้อมูลแผนภูมิควบคุม 129
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 131

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ค่าพารามิเตอร์ของชิ้นไม้สับที่โรงงานกรณีศึกษาทำการควบคุม 8

1.2 ค่ามาตรฐานของชิ้นไม้สับตามหลัก ISO9001 ของโรงงานกรณีศึกษาก่อนส่งมอบ....9

1.3 ข้อมูลของเสียเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555 โรงงานผลิตชิ้นไม้สับ....13

1.4 ข้อมูลของเสียเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555 ประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน....14

2.1 ค่าแนะนำสำหรับค่าดัชนี Cpk ขั้นต่ำ....31

2.2 ความหมายของค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ....33

3.1 แสดงขนาดของชั้นคัดแยกเครื่องคัดแยกชิ้นไม้สับ....41

3.2 การจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับขนาดชิ้นไม้สับในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ....57

4.1 สรุประดับปัจจัยที่ต้องการทำการทดลอง....60

4.2 การสุ่มตัวอย่างในการทดลองเบื้องต้น....62

4.3 เมตริกซ์การออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น....63

4.4 เวลาการเปลี่ยนใบมีดจากการทดลองเบื้องต้น....64

5.1 ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สัยที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยเทคนิคเชิงแฟคทอเรียล....70

5.2 ผลของปัจจัยหลักต่อค่าเบี่ยงเบนขนาดความยาวชิ้นไม้สับ....78

5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับเบื้องต้น....78

5.4 เมตริกซ์การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม....81

5.5 การสุ่มตัวอย่างในการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม....82

5.6 ค่าเฉลี่ยความยาวชิ้นไม้สับในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม....83

5.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ....90

5.8 ผลของปัจจัยหลักต่อค่าเบี่ยงเบนขนาดชิ้นไม้สับ....105

5.9 สัดส่วนของเสีย และค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับระหว่างการทดลอง....107

5.10 สัดส่วนของเสีย และค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับหลังการปรับปรุง....109

6.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับ....117

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กระบวนการผลิตกระดาษของโรงงานกรณีศึกษา	2
1.2	การลำเลียงไม้ท่อนที่ผ่านการตรวจสอบแล้วเข้ากระบวนการผลิต	3
1.3	การแยกเปลือกออกจากเนื้อไม้โดยชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum)	3
1.4	ความผันแปรของความต้านทานการปอกเปลือกแบบขนาน และแบบตัดขวางไม้ Birch	5
1.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ของเปลือกกับความต้านทานการปอกเปลือกไม้	5
1.6	การสับไม้จากเครื่องสับ Chipper และชิ้นไม้สับหลังการสับ	6
1.7	การคัดแยกขนาดชิ้นไม้สับ และลานกองเก็บชิ้นไม้สับ	6
1.8	ภาพรวมกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับของโรงงานกรณีศึกษา	7
1.9	เครื่องอบแห้ง (Drum dryer)	8
1.10	ขั้นตอนการผลิตชิ้นไม้สับ	10
1.11	สัดส่วนการผลิตในปี 2555 (มกราคม-มิถุนายน)	11
1.12	จำแนกประเภทของเสียรายเดือนที่ทำการเก็บข้อมูล	12
1.13	ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตชิ้นไม้สับ	12
1.14	การทดสอบความเป็นปกติข้อมูลความยาวชิ้นไม้สับก่อนการปรับปรุง	15
1.15	ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นข้อมูลความยาวชิ้นไม้สับก่อนปรับปรุง	15
1.16	การทดสอบความเป็นปกติข้อมูลความกว้างชิ้นไม้สับก่อนการปรับปรุง	16
1.17	ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นข้อมูลความยาวชิ้นไม้สับก่อนปรับปรุง	17
2.1	ปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพล และไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง	20
2.2	รูปแบบแสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ	21
2.3	แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่มีผล และไม่มีผล	25
2.4	การตรวจสอบการแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง	28
2.5	การตรวจความเป็นอิสระของข้อมูล	28
2.6	การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน	29

รูปที่ หน้า

2.7 ความสามารถของกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว 30
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกระบวนการด้านสมรรถนะระยะสั้นและระยะยาว 32
3.1 เครื่องมือวัด Chip classifier สำหรับแยกประเภทของชิ้นไม้สับ 40
3.2 รูปแบบการวัดขนาดชิ้นไม้สับ 41
3.3 ลักษณะของเวอร์เนียร์ 42
3.4 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีดที่ศูนย์ตรงกัน 43
3.5 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีด 1 ตรงกัน 43
3.6 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีดที่ 2 ตรงกัน 44
3.7 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีดที่ n ตรงกัน 44
3.8 แสดงสเกลเวอร์เนีย 45
3.9 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาขนาดชิ้นไม้สับไม่ได้ขนาดตามมาตรฐาน 48
4.1 การทดสอบความเป็นปกติข้อมูลระยะเวลาการเปลี่ยนใบมีด 65
5.1 การทดสอบความเป็นปกติของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ 72
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาการทดลอง 73
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนอง 74
5.4 Normal Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ 75
5.5 แผนภูมิพาเรโตแสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ 75
5.6 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ 76
5.7 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ 77
5.8 การทดสอบความเป็นปกติของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ 87
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาการทดลอง 88
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนอง 89
5.11 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ 93
5.12 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ 93

รูปที่ หน้า

5.13 ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้และองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่มีผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับ 99
5.14 ปัจจัยร่วมระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้และระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับที่มีผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับ 104
5.15 เปรียบเทียบ %ของเสียของแต่ละช่วงเวลา 110
5.16 ความเป็นปกติข้อมูลค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับหลังการปรับปรุง 111
5.17 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับหลังปรับปรุง 111
5.18 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ ก่อนปรับปรุงกระบวนการ 113
5.19 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ หลังปรับปรุงกระบวนการ 113
5.20 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความกว้างชิ้นไม้สับ ก่อนปรับปรุงกระบวนการ 114
5.21 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความกว้างชิ้นไม้สับ หลังปรับปรุงกระบวนการ..... 114

บทที่ 1
บทนำ

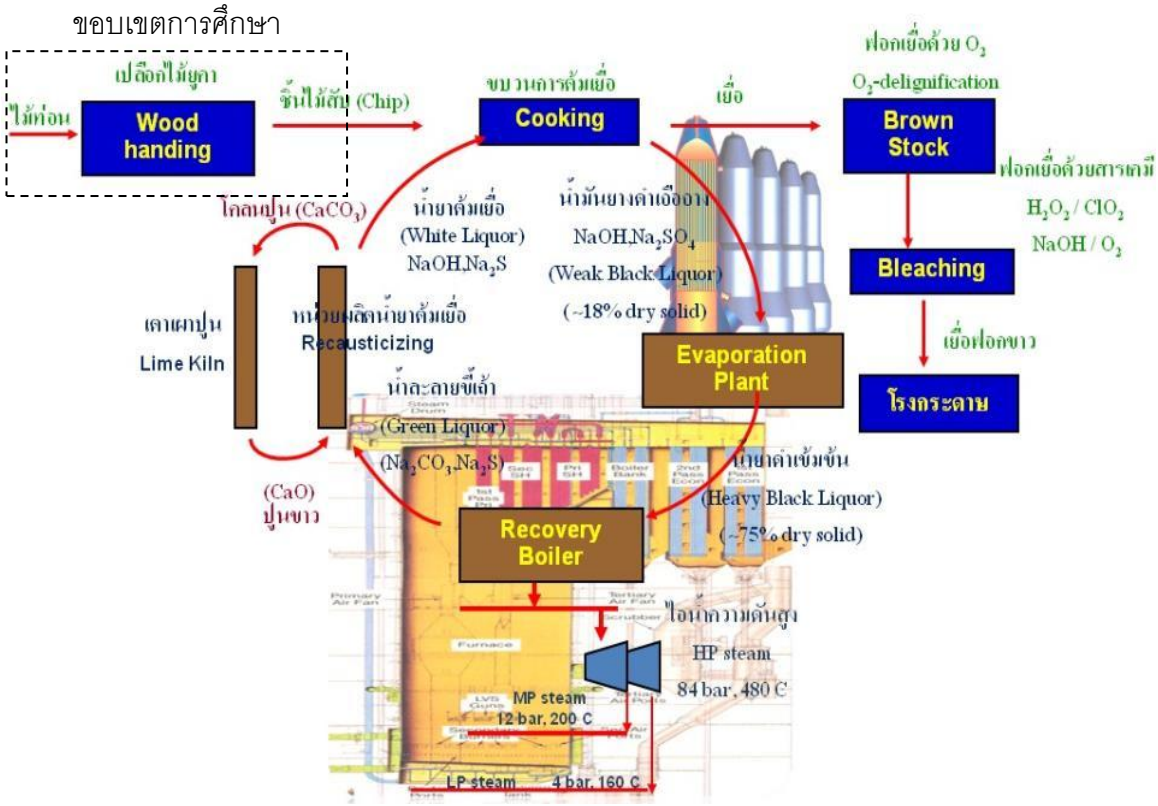
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษพิมพ์เขียนทั้งภายในและภายนอกประเทศมีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง อีกทั้งความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทางการผลิตกระดาษยังช่วยส่งเสริมให้เกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ การพัฒนาและการปรับตัวอยู่เสมอ เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในคุณภาพของสินค้า และบริการของลูกค้าจึงเป็นสิ่งสำคัญ ต้นไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตกระดาษจึงมีความสำคัญ เนื่องจากข้อจำกัดด้านพื้นที่การปลูกและระยะเวลาในการตัดส่งโรงงาน

โรงงานกรณีศึกษาผลิตชิ้นไม้สับที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบตั้งต้นเพื่อผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษพิมพ์เขียน ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากชิ้นไม้สับ เช่น กระดาษรีมเล็ก กระดาษรีมใหญ่ ผลิตภัณฑ์เครื่องเขียน และอุปกรณ์สำนักงาน เป็นต้น สำหรับกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับนั้นคุณภาพของขนาดชิ้นไม้สับเป็นอีกหนึ่งคุณสมบัติที่มีความสำคัญ เนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้น พบว่าเกิดของเสียขึ้นเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นเสี้ยนไม้หรือฝุ่นไม้ทำให้วัตถุดิบตั้งต้นมีจำนวนลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียดังกล่าว ส่งผลให้ต้องนำเสี้ยนไม้และฝุ่นไม้ส่งขายให้กับโรงไฟฟ้าในราคาที่ต่ำกว่าทุนเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าแทน ทำให้เกิดความสูญเสีย ทั้งเวลาสูญเปล่า ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะลดของเสียดังกล่าวให้น้อยลงโดยการหาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของชิ้นไม้สับ และระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อให้ได้คู่มือการปรับตั้งค่าเครื่องจักร วัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียและได้ขนาดของชิ้นไม้สับที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่กำหนด โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

1.1 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาประกอบธุรกิจหลักประเภทผู้ผลิต จำหน่ายเยื่อ และกระดาษพิมพ์เขียน โดยมีทุนจดทะเบียน 6,300,000,000 บาท มีกำลังการผลิตกระดาษ 250,000 ตันต่อปี ส่งผลให้มีความต้องการการใช้ชิ้นไม้สับซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิต 1,050,000 ตันต่อปี หรือคิดเป็นต้นไม้ที่จะต้องป้อนเข้าสู่โรงงานประมาณ 15,000,000 ล้านต้นต่อปี

จากรูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตเริ่มจากโรงงานผลิตชิ้นไม้สับ ทำหน้าที่ในการจัดหาไม้ท่อนยูคาลิปตัสซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ที่รับซื้อจากเกษตรกร และกลุ่มเครือข่ายพันธมิตรทางธุรกิจ เข้าสู่โรงงานผลิตเยื่อ จากนั้นเยื่อที่ผ่านกระบวนการแปลงสภาพจะถูกจัดส่งให้กับโรงงานผลิตกระดาษเพื่อทำการผลิตเป็นกระดาษต่อไป โดยงานวิจัยนี้มีขอบเขตการศึกษาที่โรงงานผลิตชิ้นไม้สับ



รูปที่ 1.1 กระบวนการผลิตกระดาษของโรงงานกรณีศึกษา

โดยกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ มีขั้นตอนสำคัญ 5 ขั้นตอนคือ [10]

1.1.1 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพไม้ท่อนยูคาลิปตัส (Log handling)

จากรูปที่ 1.2 เป็นขั้นตอนการตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพของไม้ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาดความยาวของไม้ท่อน ความชื้นของเปลือกไม้และเนื้อไม้ ไม้ปลอมปน และสิ่งแปลกปลอมต่างๆ จากนั้นนำไม้ที่ได้คุณภาพส่งเข้ากระบวนการผลิตต่อไป

รูปที่ 1.2 การลำเลียงไม้ท่อนที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว เข้ากระบวนการผลิต

1.1.2 ขั้นตอนการแยกเปลือกออกจากเนื้อไม้ (Debarking)

จากรูปที่ 1.3 เป็นขั้นตอนการแยกเปลือกไม้ออกจากเนื้อไม้ โดยใช้วิธีการหมุนของชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum) เพื่อให้เกิดการกระแทกของไม้จนเกิดการหลุดร่อนของเปลือก เปลือกที่ผ่านการกะเทาะจะตกลงสู่สายพานลำเลียงเพื่อเตรียมส่งให้โรงไฟฟ้า

รูปที่ 1.3 การแยกเปลือกออกจากเนื้อไม้โดยชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum)

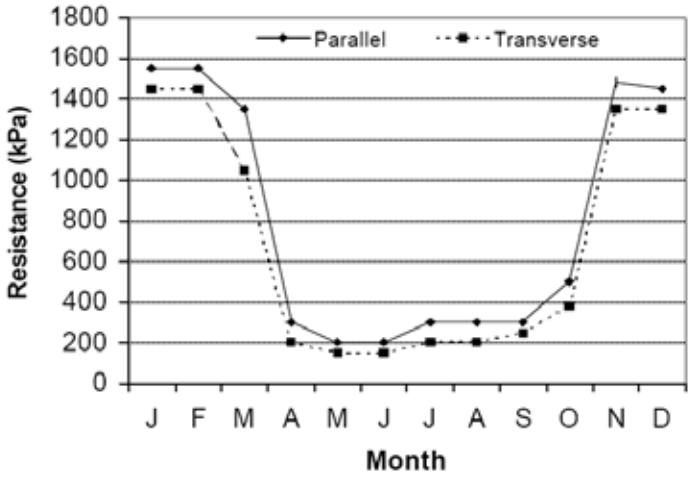
การเกาะยึดกันของเนื้อไม้กับเปลือก (Bark adhesion หรือ Bark-wood bond strength) [11] เป็นปัจจัยที่มีผลต่อขั้นตอนการปอกเปลือกไม้เป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ยูคาลิปตัสซึ่งมักมีลักษณะของเปลือกเหนียวเหมือนเชือก และเปลือกค่อนข้างหนาทำให้ไม้ท่อนยูคาลิปตัสปอกเปลือกได้ค่อนข้างยาก ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกาะยึดติดของเปลือกไม้กับเนื้อไม้ มีดังต่อไปนี้

1) **ประเภทของเปลือก**

เปลือกไม้ประกอบไปด้วยเปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน ซึ่งมีความหนาใกล้เคียงกัน เปลือกชั้นนอกมักมีเส้นใยมาก อาจมีลักษณะเป็นเกล็ดหรือเรียบก็ได้ ส่วนเปลือกชั้นในมีลักษณะคล้ายเนื้อไม้ที่มีความหนาแน่นน้อย มีความชื้นอยู่มาก เปลือกของไม้ยูคาลิปตัสมีความผันแปรตามอายุ รอยย่น ความหนา ลักษณะการผลัดเปลือก ความแข็ง และสีเปลือกไม้ที่มีความแตกต่างกัน ก็จะเกิดอิทธิพลต่อขั้นตอนการปอกเปลือกแตกต่างกัน เช่น เปลือกเหนียวเป็นเส้นคล้ายเชือกป่าน (Stringy bark) จะเข้าไปติดเกาะในเครื่องปอกเปลือกไม้ โดยเปลือกจะมีลักษณะค่อนข้างหนาประกอบไปด้วยเส้นใยยาวที่เรียงตัวขนานไปกับลำต้น ดังนั้น หากมีการตัดเปลือกตามขวางไว้เป็นระยะก็จะช่วยลดการพันกันของเปลือกกับไม้ท่อนในระหว่างการปอกเปลือกแบบโรตารี่ดรัม (Drum debarking) นอกจากนั้นเปลือกจะมีลักษณะฟู มีปริมาตรมากทำให้ต้องใช้ความพยายามอย่างมากในการที่จะกำจัดออกจากเครื่องปอกเปลือกในลักษณะที่เป็นชิ้นเล็กๆ โดยทั่วไปเปลือกไม้ยูคาลิปตัสไม่สามารถลอกออกได้ง่ายด้วยวิธีแรงกล โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเปลือกที่มีลักษณะเหนียวเป็นแนวยาวไม่แตก จะทำให้อุดตันและก่อตัวเป็นลูกบอลในเครื่องปอกเปลือก

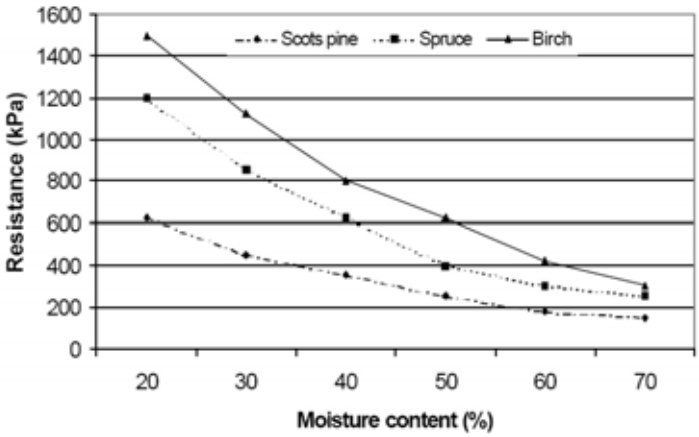
2) **ฤดูกาลและปริมาณความชื้น**

ความต้านทานการปอกเปลือกนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของไม้ท่อนซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาพภูมิอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1.4 และรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.4 ความผันแปรของความต้านทานการปอกเปลือกแบบขนาน และแบบตัดขวางไม้ Birch

จากรูปที่ 1.4 พบว่าไม้ช่วงฤดูฝนซึ่งมีความชื้นในเปลือกไม้ค่อนข้างมากกว่าฤดูกาลอื่น จะมีแรงต้านทานการปอกเปลือกน้อยไม่ว่าจะเป็นการปอกเปลอกแบบขนานหรือแบบตัดขวาง



รูปที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ของเปลือกกับความต้านทานการปอกเปลือกไม้

จากรูปที่ 1.5 พบว่าความต้านทานการปอกเปลือกของไม้แต่ละประเภท จะมีความสัมพันธ์กับความชื้นของเปลือกไม้โดยยิ่งมีความชื้นในเปลือกไม้มาก ความต้านทานการปอกเปลือกของไม้จะต่ำลง

1.1.3 **ขั้นตอนการสับไม้** (Chipping)

หลังจากไม้ท่อนที่ผ่านการกะเทาะเปลือกไม้ออกแล้ว จะผ่านระบบสายพานลำเลียง เพื่อทำการล้างสิ่งสกปรกและจัดเรียงตัว จากนั้นไม้ท่อนจะถูกสับโดยเครื่องสับ เพื่อให้ได้ชิ้นไม้สับขนาดตามที่ต้องการโดยเครื่องสับไม้ ดังรูปที่ 1.6

รูปที่ 1.6 การสับไม้จากเครื่องสับ Chipper และชิ้นไม้สับหลังการสับ

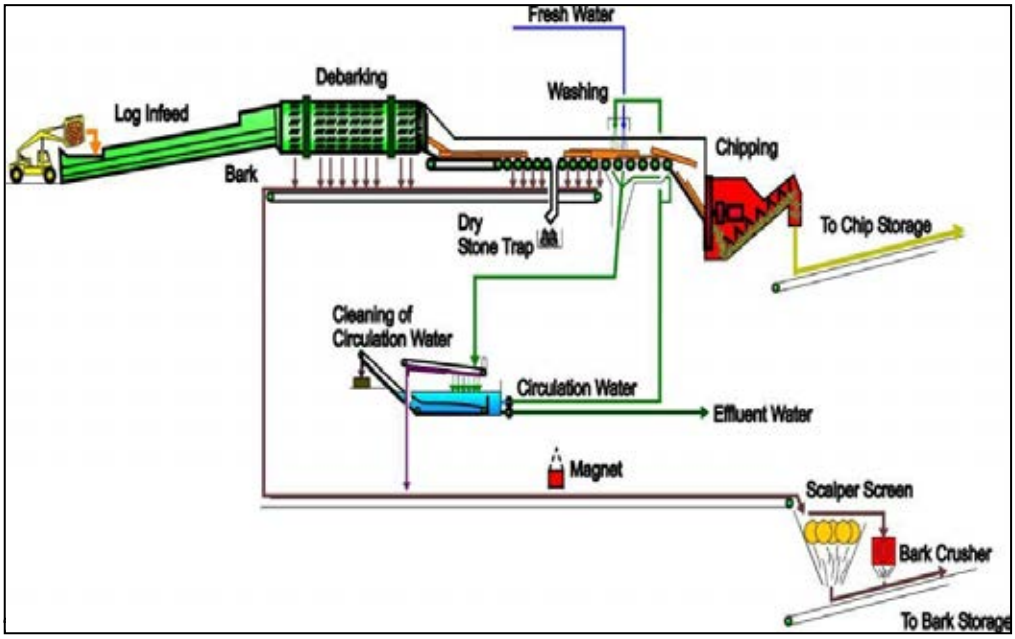
1.1.4 **ขั้นตอนการคัดแยกและการกองเก็บ** (Screening and Storage)

หลังจากผ่านการผลิตแล้ว ไม้สับที่ได้จะถูกจัดเก็บที่ลานกองเก็บ และถูกลำเลียงให้กับโรงเยื่อ โดยผ่านระบบคัดแยก (Chip screen) เพื่อส่งมอบชิ้นไม้สับที่ได้คุณภาพและกำจัดสิ่งปลอมปนออกไป โดยผ่านระบบสายพานลำเลียง ดังรูปที่ 1.7

รูปที่ 1.7 การคัดแยกขนาดชิ้นไม้สับ และลานกองเก็บชิ้นไม้สับ

1.1.5 **ขั้นตอนการบดย่อยเปลือกไม้** (Bark and Biomass handling)

จากรูปที่ 1.8 แสดงภาพรวมการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาโดยหลังจากผ่านขั้นตอนการแยกเปลือกไม้ออกจากเนื้อไม้แล้ว เปลือกไม้จะถูกนำไปเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าใช้ภายในโรงงาน โดยเปลือกไม้จะถูกลำเลียงผ่านสายพานลำเลียงเปลือก เข้าสู่เครื่องบดย่อยเปลือก เพื่อให้เปลือกไม้มีขนาดเล็ก เหมาะสมกับการผลิตกระแสไฟฟ้าจากนั้นจะผ่านกระบวนการตากแห้งเพื่อลดค่าความชื้นก่อนการนำไปใช้งาน



รูปที่1.8 ภาพรวมกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับของโรงงานกรณีศึกษา

1.2 **ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา**

ลักษณะผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

1.2.1 **ชิ้นไม้สับ** (Chip)

นำไม้ท่อนยูคาลิปตัสมาทำการสับโดยการสับไม้ท่อนให้มีขนาดตามที่ลูกค้าต้องการ เพื่อส่งชิ้นไม้สับออกขายนอกประเทศ และยังนำเข้าผลิตที่โรงงานในเครือเพื่อผลิตเป็นกระดาษ โดยมีเกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ค่าพารามิเตอร์ของชิ้นไม้สับที่โรงงานกรณีศึกษาทำการควบคุม

เกณฑ์มาตรฐานของผลิตภัณฑ์	หน่วยวัด	สำหรับส่งออก	สำหรับผลิต
ความกว้างชิ้นไม้สับ	มิลลิเมตร	10-14	10-14
ความยาวชิ้นไม้สับ	มิลลิเมตร	9-18	18-28
ความหนาชิ้นไม้สับ	มิลลิเมตร	5-8	5-8

สำหรับชิ้นไม้สับเพื่อการส่งออกจะมีขนาดเล็กกว่าชิ้นไม้สับเพื่อการผลิตของโรงงานในเครือ เนื่องจากชิ้นไม้สับเพื่อการส่งออกจะเน้นส่งออกให้กับผู้ผลิตเยื่อ และกระดาษรายสำคัญในภูมิภาคเอเชียได้แก่ ประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลี และไต้หวัน ซึ่งพื้นฐานการผลิตของแต่ละประเทศที่กล่าวมาจะใช้ชิ้นไม้สับที่มีลักษณะเล็กเหมือนกัน

1.2.2 **เปลือกไม้** (Bark)

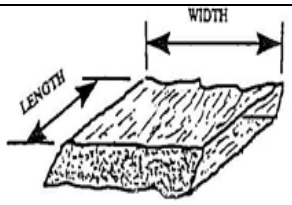
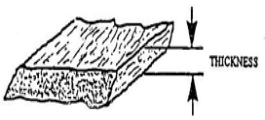
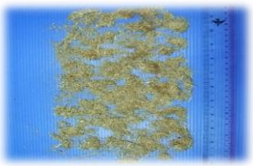
นำเปลือกไม้ที่ผ่านการคัดแยกแล้วทำการบดให้ละเอียดเพื่อส่งขายให้กับโรงไฟฟ้าเพื่อผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าใช้ในกลุ่มโรงงานในเครือโดยทำการอบแห้งเปลือกไม้ที่ผ่านการบดก่อน เพื่อลดความชื้นของเปลือกไม้ จากนั้นทำการจัดเก็บที่ลานเก็บ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมกับแกลบ เพื่อลดต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.9

รูปที่ 1.9 เครื่องอบแห้ง (Drum dryer)

1.2.3 **เสี้ยนไม้และฝุ่นชิ้นไม้สับ** (Pin and Fine)

เป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ ซึ่งจะมีการนำของเสียส่วนนี้ส่งขายให้กับหน่วยงานผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล ในส่วนของการผลิตชิ้นไม้สับเพื่อการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา นอกจากจะมีการกำหนดคุณภาพของขนาดชิ้นไม้สับที่ส่งเข้ามาแล้ว จะมีการกำหนดปัจจัยเพิ่มอีก 3 ปัจจัยได้แก่ เสี้ยนไม้ ฝุ่นผง และเปลือกไม้ โดยมีค่าควบคุมคุณภาพชิ้นไม้สับก่อนส่งให้กับโรงเยื่อ ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ค่ามาตรฐานของชิ้นไม้สับตาม ISO9001 ของโรงงานกรณีศึกษาก่อนส่งมอบ

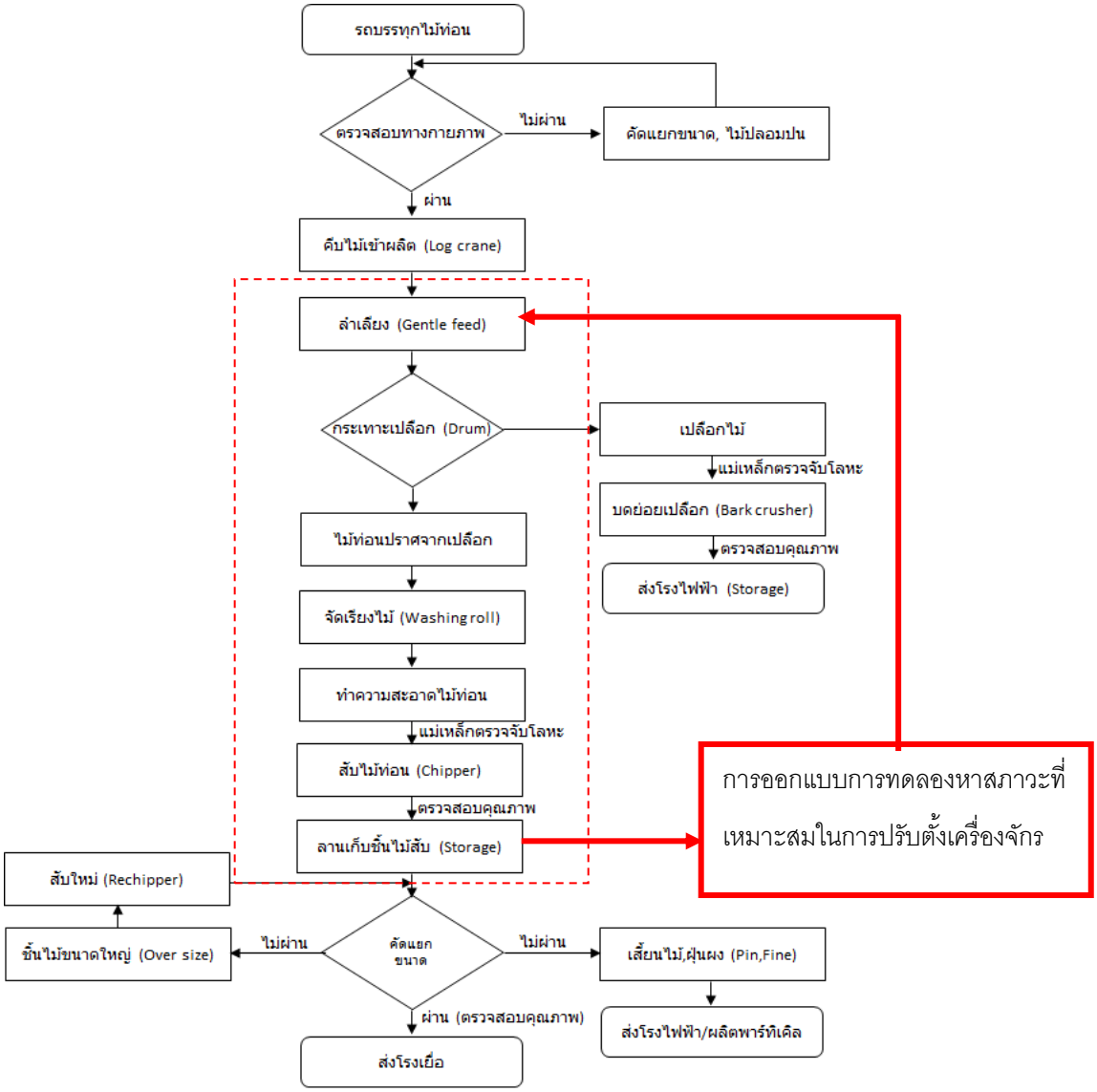
รายละเอียด	**เป้าหมาย**	**รูปภาพ**
1) ขนาดเกินมาตรฐาน (Over size)	≤ 10%	
2) ความหนาเกินมาตรฐาน (Over thick)	≤ 10 %	
3) เสี้ยนไม้เกินมาตรฐาน (Pin) ค่าควบคุม 4-7 mm.	≤ 7%	
4) ฝุ่นผงเกินมาตรฐาน (Fine) ค่าควบคุม < 3 mm.	≤ 1%	
5) เปลือกเกินมาตรฐาน (Bark)	≤ 1%	

1.3 กระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ

กระบวนการผลิตชิ้นไม้สับสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การผลิตชิ้นไม้สับส่งโรงเยื่อเพื่อนำไปผลิตเป็นเยื่อกระดาษ

2) การคัดแยกเปลือกและการบดย่อยเปลือกเพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า



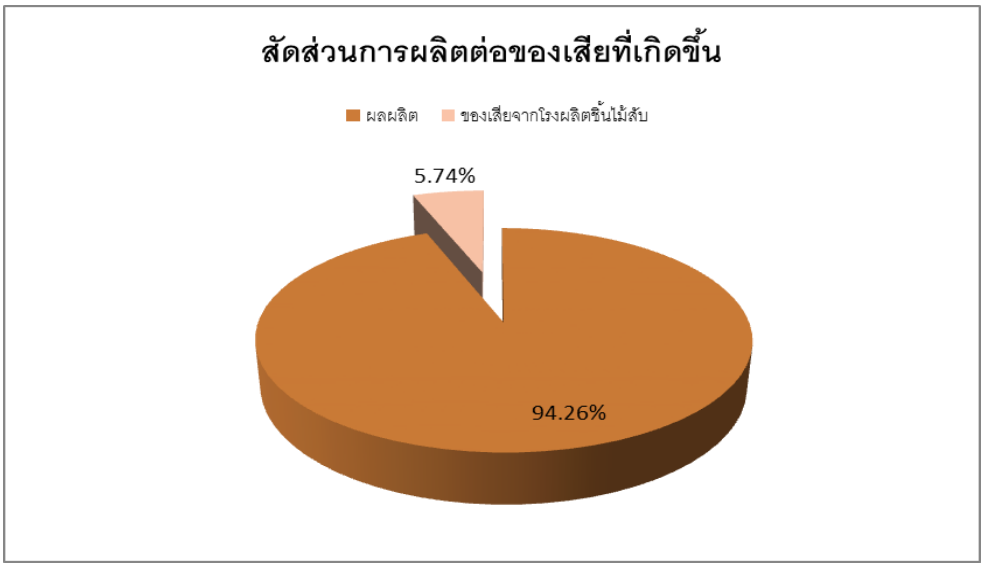
รูปที่ 1.10 ขั้นตอนการผลิตชิ้นไม้สับ

1.4 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

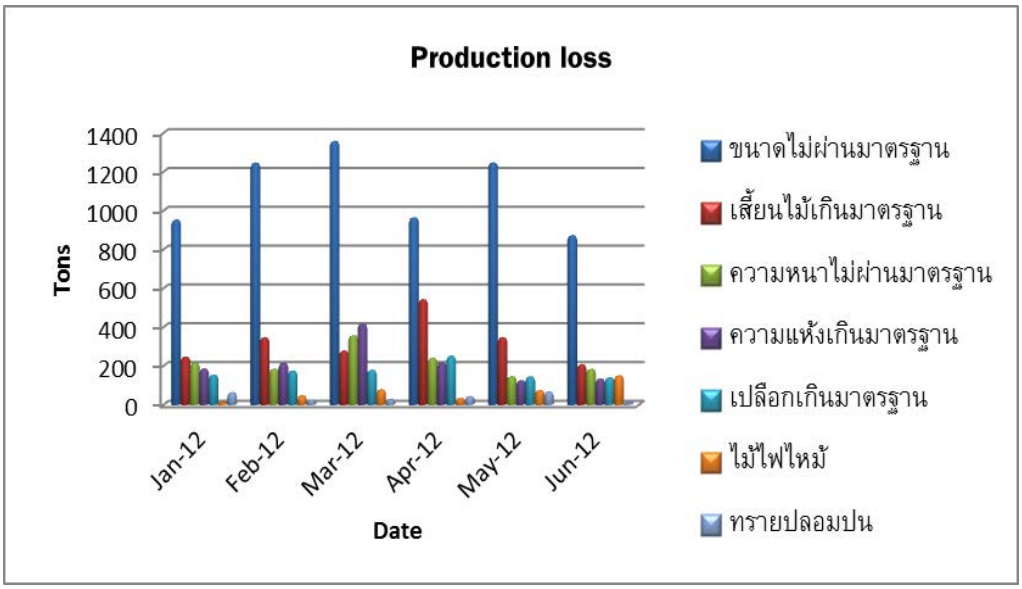
1.4.1 สภาพปัญหาที่พบ

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตชิ้นไม้สับ มีกำลังการผลิตชิ้นไม้สับ 3,000 ตันต่อวัน จากข้อมูลในปี 2555 (มกราคม-มิถุนายน) ดังรูปที่ 1.11 พบว่าผลผลิตที่ได้คิดเป็น 94.26% และของเสียคิดเป็น 5.74%

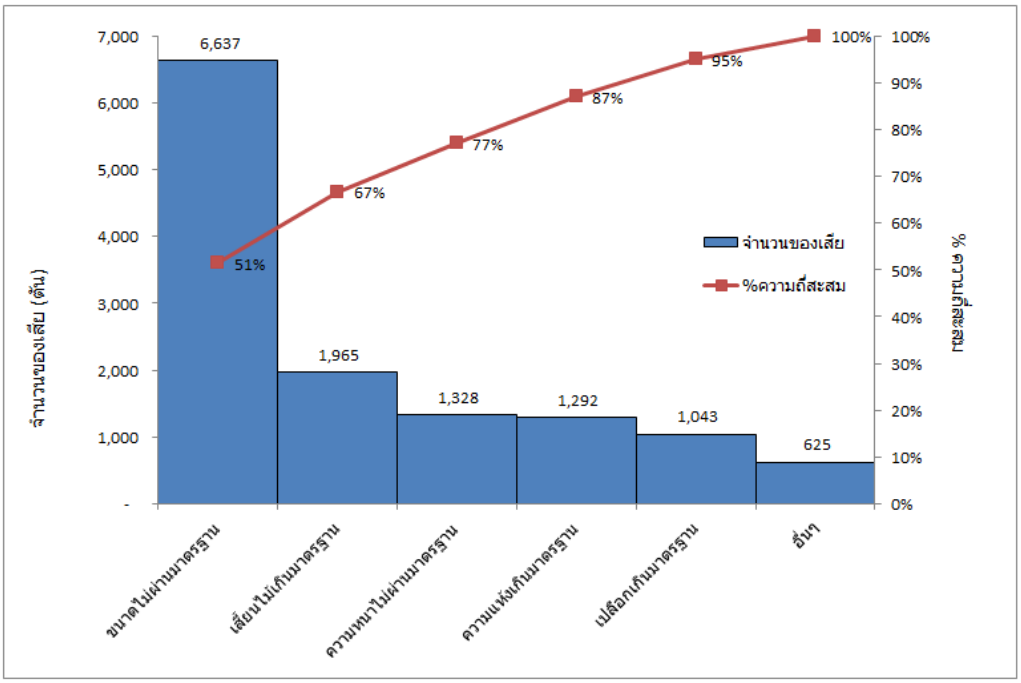


รูปที่ 1.11 สัดส่วนการผลิตในปี 2555 (มกราคม-มิถุนายน)

จากข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555 รวบรวมของเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตชิ้นไม้สับ พบว่าประเภทของเสียที่เกิดมากที่สุดคือปัญหาชิ้นไม้สับที่มีขนาดไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด ประมาณ 51% ของของเสียทั้งหมด ดังรูปที่ 1.12 และรูปที่ 1.13 ดังนั้นกรณีศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การลดความผันแปรของกระบวนการเพื่อลดของเสียในระบบ โดยจะเลือกขนาดชิ้นไม้สับที่มีการผลิตมากที่สุด นั่นก็คือขนาดความกว้างคูณความยาว 14x28 มิลลิเมตร



รูปที่ 1.12 จำแนกประเภทของเสียรายเดือนที่ทำการเก็บข้อมูล



รูปที่ 1.13 ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตชิ้นไม้สับ

จากตารางที่ 1.3 เป็นข้อมูลของเสียรวมของปี 2555 ตั้งแต่เดือนมกราคม-มิถุนายน ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งของเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ขนาดชิ้นไม้สับไม่ผ่านมาตรฐาน มีจำนวนถึง 6,637 ตัน จากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด 12,890 ตัน และมี

จำนวนของเสียสูงสุด จึงมุ่งเน้นการลดความผันแปรของกระบวนการเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลของเสียเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555 โรงงานผลิตชิ้นไม้สับ

ปัญหาที่พบ	**จำนวนที่ผลิต (ตัน)**	**จำนวนของเสีย (ตัน)**	**เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)**	PPM
ขนาดไม่ผ่านมาตรฐาน	224,565	6,637	51.49	29,555
เสี้ยนไม้เกินมาตรฐาน		1,965	15.24	8,750
ความหนาไม่ผ่านมาตรฐาน		1,328	10.30	5,914
ความแห้งเกินมาตรฐาน		1,292	10.09	5,753
เปลือกเกินมาตรฐาน		1,043	8.09	4,646
ไม้ไฟไหม้		394	3.06	1,755
ทรายปลอมปน		231	1.79	1,029
รวม	**224,565**	**12,890**	**100**	**5.74%**

จากตารางที่ 1.3 เมื่อพิจารณาข้อมูลพบว่าประเภทของเสียที่เกิดมากที่สุดคือขนาดชิ้นไม้สับไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งขนาดไม่ผ่านมาตรฐานสามารถแบ่งเป็นขนาดความยาว และขนาดความกว้าง จากตารางที่ 1.4 จึงทำการพิจารณาของเสียที่เกิดเฉพาะขนาดไม่ผ่านมาตรฐานพบว่าของเสีย 93 % เกิดจากขนาดความยาวไม่ผ่านมาตรฐาน

ตารางที่ 1.4 ข้อมูลของเสียเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555 ประเภทขนาดไม่ผ่านมาตรฐาน

เดือน	ของเสียจากด้านยาว (Tons)	ของเสียจากด้านกว้าง (Tons)	รวม (Tons)
มกราคม	943	85	1,028
กุมภาพันธ์	1,129	68	1,197

ตารางที่ 1.4 ข้อมูลของเสียเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555 ประเภทขนาดไม่ผ่านมาตรฐาน (ต่อ)

เดือน	ของเสียจากด้านยาว (Tons)	ของเสียจากด้านกว้าง (Tons)	รวม (Tons)
มีนาคม	1,053	97	1,150
เมษายน	996	48	1,044
พฤษภาคม	942	75	1,017
มิถุนายน	1,142	59	1,201
รวม	6,205	432	6,637
%	93%	7%	100%

1.4.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของสภาพปัญหาที่พบ

ทำการเก็บตัวอย่างชิ้นไม้สับ จากนั้นทำการวัดค่าขนาดชิ้นไม้สับทั้งด้านกว้างและด้านยาว เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติก่อนการปรับปรุง

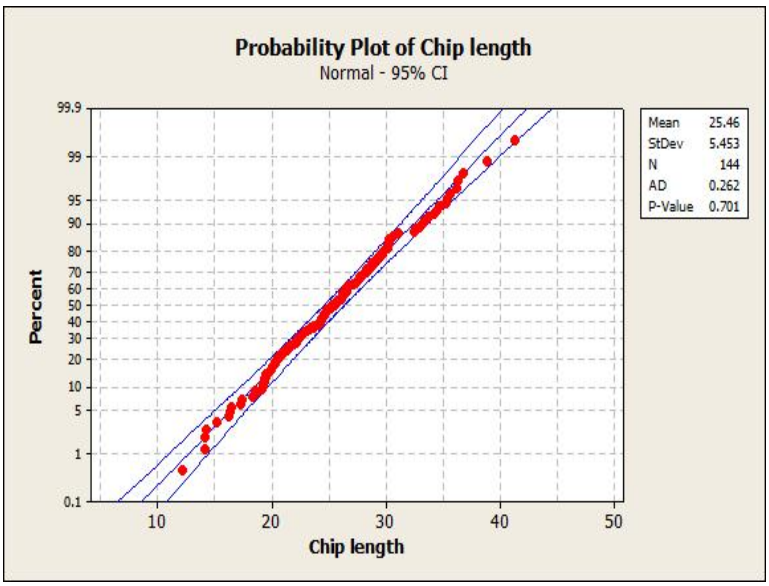
1) วิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติของความยาวของชิ้นไม้สับก่อนการปรับปรุง

ทำการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) เพื่อทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บตัวอย่าง มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยในการทดสอบจะใช้โปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งจะให้ค่า P-Value โดยทดสอบสมมุติฐานที่ว่า

H_o : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

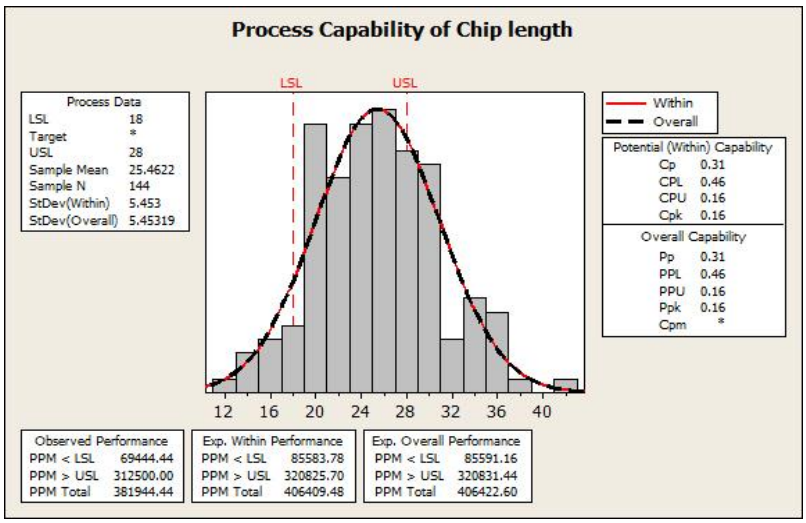
H_1 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ข้อมูลของความยาวชิ้นไม้สับมีการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value > α (0.05) จะสรุปได้ว่าไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธสมมุติฐาน H_o กล่าวคือ ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ ดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 การทดสอบความเป็นปกติข้อมูลความยาวชิ้นไม้สับก่อนการปรับปรุง

จากผลการทดสอบทางสถิติ ดังรูปที่ 1.14 และรูปที่ 1.15 พบว่าค่าเฉลี่ยความยาวชิ้นไม้สับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 25.46±5.45 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 0.16 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับมีโอกาสทำให้เกิดของเสียมาก และควรปรับปรุงให้มีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ความสามารถของกระบวนการมีความสามารถอยู่ในเกณฑ์ดีมีค่า $C_{pk} > 1.33$



รูปที่ 1.15 ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นข้อมูลความยาวชิ้นไม้สับก่อนปรับปรุง

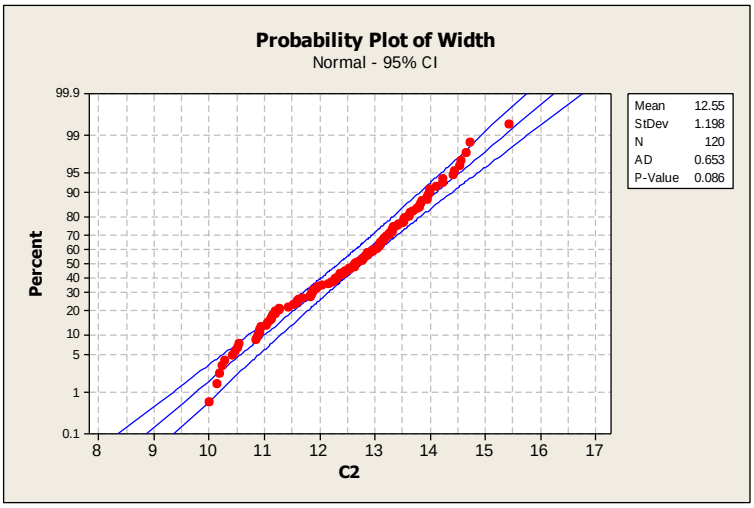
2) **วิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติของความกว้างของชิ้นไม้สับก่อนการปรับปรุง**

ทำการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) เพื่อทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บตัวอย่าง มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยในการทดสอบจะใช้โปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งจะให้ค่า P-Value โดยทดสอบสมมุติฐานที่ว่า

H_o : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

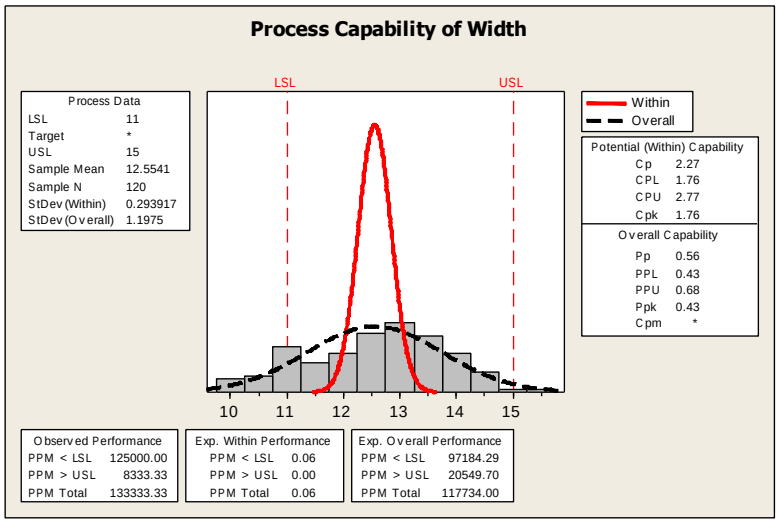
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ข้อมูลของความกว้างชิ้นไม้สับมีการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value > α (0.05) จะสรุปได้ว่าไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธสมมุติฐาน H_o กล่าวคือ ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ ดังรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 การทดสอบความเป็นปกติข้อมูลความกว้างชิ้นไม้สับก่อนการปรับปรุง

จากผลการทดสอบทางสถิติ ดังรูปที่ 1.16 และรูปที่ 1.17 พบว่าค่าเฉลี่ยความกว้างชิ้นไม้สับมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.6±1.2 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.76 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับอยู่ในเกณฑ์ดีมาก เนื่องจาก เกณฑ์

ความสามารถของกระบวนการมีความสามารถอยู่ในเกณฑ์ดีมีค่า C_{pk} > 1.33 แสดงให้เห็นว่า ของเสียที่เกิดขึ้น ก่อนการปรับปรุง มีโอกาสเกิดจากความยาวที่ไม่ได้มาตรฐาน มากกกว่าที่จะเกิดจากความกว้างไม่ได้มาตรฐาน อีกทั้งของเสียที่เกิดขึ้นจากขนาดไม่ได้มาตรฐาน 93% เกิดจากด้านความยาว จึงทำการตัดของเสียที่เกิดจากด้านกว้างออกจากงานวิจัย



รูปที่ 1.17 ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นข้อมูลความยาวชิ้นไม้สับก่อนปรับปรุง

จากผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้น จึงได้มีการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง เพื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดความยาวของชิ้นไม้สับที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถปรับปรุงคุณภาพการผลิตชิ้นไม้สับให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน อย่างต่อเนื่องโดยที่ความสามารถของกระบวนการผลิตอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดของเสียในการผลิตชิ้นไม้สับของโรงงานกรณีศึกษาโดยอาศัยหลักการของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ขอบเขตของการวิจัย

1) ศึกษาเฉพาะชิ้นไม้สับที่ผลิตจากไม้ยูคาลิปตัสสายพันธุ์คามาลดูเลนซิส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-3.0 นิ้ว ความยาว 2.5-2.7 เมตร
2) ศึกษาเฉพาะปัญหาชิ้นไม้สับไม่ได้ขนาดความยาวตามมาตรฐาน ที่เครื่องจักร Rauma chipper กำลังการผลิต 3,000 ตันต่อวัน เท่านั้น
3) ศึกษาเฉพาะไม้ท่อนที่ส่งเข้าโรงงานโดยตรง (Direct Load) ไม่ผ่านการกองไม้สต๊อกที่ลานกองไม้ของโรงงาน
4) ไม่พิจารณากรณีที่เครื่องจักรเสีย หรือเหตุฉุกเฉินอื่นๆ

1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบการทดลอง
2) ศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา
3) ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับ
4) วิเคราะห์เลือกปัจจัยที่จะนำมาศึกษาปัญหาความเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับ
5) วางแผนการออกแบบการทดลอง
6) ดำเนินการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลอง
7) วิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักสถิติเชิงวิศวกรรมเพื่อออกแบบคู่มือปฏิบัติงาน
8) นำปัจจัยที่สรุปได้จากการทดลองมาทำการทดลองจริงที่โรงงานกรณีศึกษา
9) เปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับ และของเสียที่เกิดขึ้นจากสภาวะก่อน-หลังการปรับปรุง
10) สรุปผลงานการวิจัยและข้อเสนอแนะ
11) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อทราบถึงปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อขนาดชิ้นไม้สับ
2) เพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ
3) เพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตามที่กำหนด

4) เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นและความพึงพอใจของลูกค้าที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามที่กำหนด
5) เพื่อใช้เป็นคู่มืออ้างอิงในการปฏิบัติงาน และเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาต่อไป

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่จำเป็นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่ทำการศึกษา การคัดเลือกปัจจัย หลักการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาโรงงานผลิตชิ้นไม้สับ

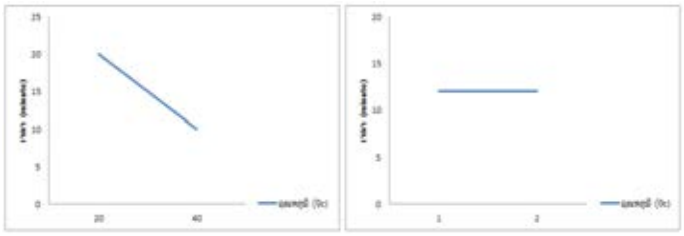
2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ความหมายของการออกแบบการทดลอง

หมายถึง การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบดูว่าปัจจัยนำเข้าใด (Input Factors) เป็นสาเหตุที่เกี่ยวข้องต่อกระบวนการ โดยมีจุดมุ่งหมาย เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) และเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration)

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาว่าปัจจัยนำเข้าที่ศึกษานั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนำเข้าอย่างน้อย 2 ระดับ เพื่อทราบถึงผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง แล้วทำการทดลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยมีปัจจัยนำเข้าที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ และตัวแปรตอบสนองที่สนใจคือ เวลาในการทำปฏิกิริยาเคมี กรณีที่ปัจจัยนำเข้ามีอิทธิพล ลักษณะของกราฟจะมีแนวโน้มเกิดความชัน ในขณะที่ปัจจัยนำเข้าไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ลักษณะของกราฟจะมีลักษณะความชันเท่ากับศูนย์ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพล และไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง

2.1.2 ส่วนประกอบต่าง ๆของการทดลอง [3]

1) ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ วิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลองเพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

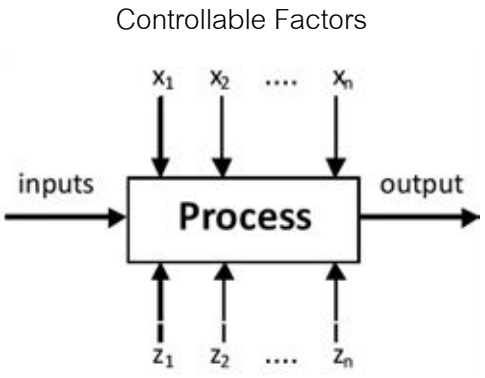
2) หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นหน่วยซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์

3) ปัจจัย (Factor) ได้แก่กลุ่มของทรีทเมนต์ที่มีความเกี่ยวข้องกัน หรืออาจจะใช้คำว่าตัวแปรอิสระแทนก็ได้ ซึ่งปัจจัยนั้นเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ และข้อมูลเชิงปริมาณ โดยปัจจัยสามารถแบ่งแยกย่อยได้อีกดังนี้

3.1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึงปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการทดลอง

3.2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึงปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อันเนื่องมาจาก ขีดความสามารถของเครื่องจักรและเครื่องมือ โดยสามารถแบ่งออกเป็น ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น และ Nuisance Variable คือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่เราไม่ทราบมาก่อน ซึ่งสามารถลดผลกระทบดังกล่าวลงได้ โดยทำการสุ่มลำดับการทดลอง

4) ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง หรือเรียกอีกอย่างว่าตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง



รูปที่ 2.2 ปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ

2.1.3 หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง [8]

1) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การสุ่มลำดับของการทดลองเพื่อกระจายโอกาสให้แต่ละหน่วยทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์เท่าๆกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อขจัดอคติหรือความเอนเอียงของผู้ทำการทดลอง การสุ่มจึงเป็นการประกันว่าจะไม่มีอคติใดๆเกิดขึ้นในการทดลอง แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1.1) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

1.2) การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

1.3) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2) การทำซ้ำ (Replication) คือ การที่ทรีทเมนต์หนึ่งกระทำต่อหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยทดลอง วัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความเที่ยง (Precision) ของการทดลองโดยการลดขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

3) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มการทดลองเพื่อลดผลปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

2.1.4 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง [2]

1) การระบุปัญหา (Recognition of and Statement of the problem)

เพื่อที่จะสามารถแก้ไขปัญหาให้ตรงจุดตรงตามวัตถุประสงค์ จำเป็นที่จะต้องทราบปัญหาที่แท้จริงก่อน โดยต้องทำการระบุปัญหาที่ชัดเจน และตรงประเด็น

2) การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต (Choice of Factors and Levels)

ทำการระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดระดับปัจจัย และขอบเขต โดยหากต้องการคัดกรองปัจจัยในเบื้องต้น การกำหนดระดับปัจจัยนั้นควรมีขอบเขตที่กว้างและจำนวนช่วงน้อย เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง จากนั้นเมื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุด จึงค่อยกำหนดขอบเขตให้แคบลง โดยสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

2.1) แบบกำหนดตายตัว (Fixed levels) กำหนดค่าระดับปัจจัยได้แน่นอน

2.2) แบบสุ่ม (Random levels) ไม่สามารถกำหนดค่าระดับปัจจัยได้แน่นอน

2.3) แบบผสม (Mixed levels) การผสมระดับปัจจัยระหว่างแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of Response Variable)

ตัวแปรตอบสนอง คือค่าตัวแปรตามที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้า ซึ่งในการวิจัยจำเป็นต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) แสดงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดด้วย เพื่อช่วยยืนยันที่มาของผลการตรวจสอบ

4) การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)

การเลือกลักษณะการออกแบบการทดลองให้เหมาะสม จะคำนึงถึงวัตถุประสงค์งานวิจัยเป็นหลัก อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับข้อจำกัดต่างๆในการทดลอง เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย ดังนั้นการเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมตั้งแต่ต้นจะทำให้ประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง

5) การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

ทำการทดลองโดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ในการทำการทดลองและขั้นตอนการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่ต้น

6) การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of data)

ใช้หลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูล ส่งผลให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับในวงกว้าง สามารถพิสูจน์ได้

7) การสรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations)

ทำการสรุปผลการทดลองให้มีความกระชับ ครบทุกองค์ประกอบ ตรงตามวัตถุประสงค์ โดยอาจแสดงในรูปของ กราฟ ตาราง ผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ อีกทั้งให้ข้อเสนอแนะ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

2.2 การเลือกการออกแบบการทดลอง [8]

2.2.1 แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)

1) แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

เป็นแผนการทดลองแบบที่ง่ายที่สุด เนื่องจากเป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่นๆ หรืออาจมีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แต่ส่งผลกระทบน้อย และไม่มีปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) หลักการสำคัญคือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองจะใช้หลักการทำแบบสุ่มและการทำซ้ำโดยมี

- ข้อดี คือเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายที่สุดในบรรดาแผนการทดลองทั้งหมด
- ข้อเสีย คือไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมได้ (Interaction Effect)

2) การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Block Design: CRB)

ในบางครั้งการทดลองมีปัจจัยรบกวนโดยไม่ทราบที่มาและไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลไม่ได้ขึ้นอยู่กับผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นโดยการบล็อก (Blocking) เพื่อกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออก และให้แน่ใจว่าผลการทดลองมาจากปัจจัยที่ทำการศึกษาเท่านั้น

- ข้อดีคือ เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่มีความเที่ยงตรงสูงกว่าแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
- ข้อเสียคือ ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตาม

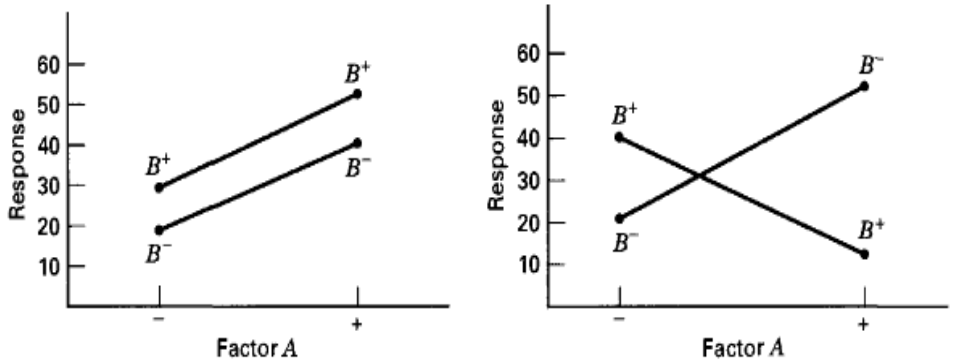
2.2.2 **แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล** (Factorial Design) [4]

การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มีปัจจัยหลายปัจจัย มุ่งศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมๆกันโดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) โดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่าการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆแฟคเตอร์พร้อมกันโดยแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น
2) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน

รูปแบบทั่วไปของการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับโดยมีทั้งหมด k ปัจจัย
2) การออกแบบการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียลใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับโดยมีทั้งหมด k ปัจจัย



ร่วมไม่มีผล (2) อิทธิพลร่วมมีผล

รูปที่ 2.3 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่มีผล และไม่มีผล

รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย

		Factor *B*			
		1	2	...	*b*
Factor *A*	1	$y_{111}, y_{112}, \ldots, y_{11n}$	$y_{121}, y_{122}, \ldots, y_{12n}$		$y_{1b1}, y_{1b2}, \ldots, y_{1bn}$
	2	$y_{211}, y_{212}, \ldots, y_{21n}$	$y_{221}, y_{222}, \ldots, y_{22n}$		$y_{2b1}, y_{2b2}, \ldots, y_{2bn}$
	⋮				
	a	$y_{a11}, y_{a12}, \ldots, y_{a1n}$	$y_{a21}, y_{a22}, \ldots, y_{a2n}$		$y_{ab1}, y_{ab2}, \ldots, y_{abn}$

สามารถเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model) คือ

$$\mathbf{y_{ijk}} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \begin{cases} j = 1, 2, \ldots, a \\ k = 1, 2, \ldots, n \end{cases} \quad j = 1, 2, \ldots, b$$

โดยที่ y_{ijk} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2.3 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้แน่ใจในผลการทดลอง จึงจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ และการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 **การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ** (R - Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือ ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดี จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\%$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

1) เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
2) ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่
3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square) ยังต่ำอยู่แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

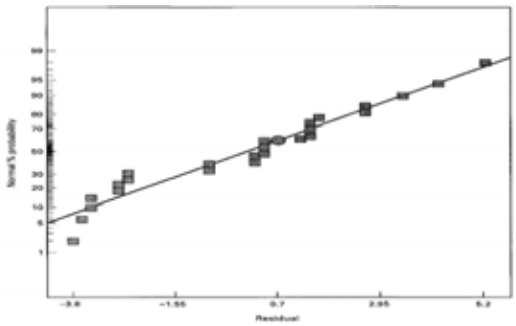
2.3.2 **การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ** (Model Adequacy Checking) [8]

การตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าข้อมูลจากการทดสอบถูกต้องและเพียงพอหรือไม่ เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป ซึ่งการตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) การตรวจสอบการกระจายเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ตัวแปรตอบสนองมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ใช้การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) เพื่อวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (ε) มีการกระจายแบบปกติหรือไม่ คือมีการแจกแจงแบบ ε_{ij} $N(0,\sigma^2)$ และการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง หากการแจกแจงของความผิดพลาดนั้นเป็นแบบปกติ ลักษณะกราฟจะเป็นเส้นตรง โดยใน

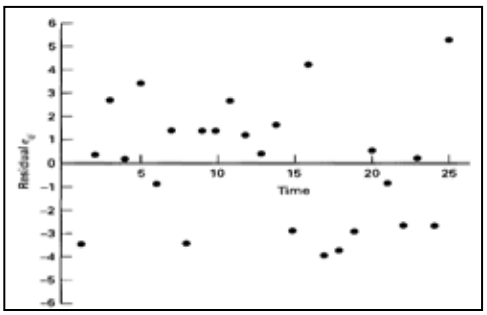
งานวิจัยจะพิจารณาจากค่า P-Value เป็นหลัก ถ้าหาก P-Value มากกว่าค่านัยสำคัญ (α=0.05) ที่กำหนดไว้ แสดงว่า ε_{ij} มีการกระจายเป็นแบบแจกแจงปกติ จำนวนข้อมูลทดลองเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผล แต่ถ้า P-Value น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนดไว้นั้นแสดงว่า ε_{ij} มีการกระจายไม่เป็นแบบแจกแจงปกติ ซึ่งหมายถึงจำนวนข้อมูลไม่เพียงพอที่จะสรุปผล ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

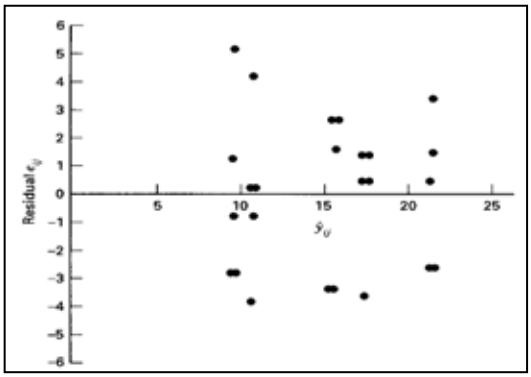
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลทำได้โดยการพล็อตส่วนตกค้างกับลำดับเวลาในการทดลอง โดยใช้แผนภูมิกระจาย (Scatter Plot) ของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) โดยเขียนจุดของค่าความคลาดเคลื่อนเรียงตามลำดับของการเก็บข้อมูลการทำการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) ข้อมูลจะมีลักษณะการกระจายเป็นอิสระแล้วพิจารณาลักษณะการกระจายของจุดบนแผนภูมิเป็นรูปแบบอิสระกระจายตัวรอบๆค่าศูนย์หรือไม่ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การตรวจความเป็นอิสระของข้อมูล

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับค่าฟิต (Fit) หรือค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นรูปแบบเฉพาะ (Pattern) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การตรวจสอบความเสถียรภาพของความแปรปรวน

2.4 ความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติ [1, 2]

ความสามารถของกระบวนการเป็นตัวบ่งบอกว่ากระบวนการการผลิตของโรงงานมีความสามารถที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่ ดังนั้นการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการประกอบด้วย การวิเคราะห์ความเสถียรภาพของกระบวนการ (Stability) การวิเคราะห์ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential Capability, C_p) การวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถะของกระบวนการด้วยค่าความถูกต้องและค่ากลาง (Performance Capability, C_{pk}, C_{pm}) ทำให้เป็นเครื่องมือที่จะสามารถนำมาประเมินและหาสาเหตุของปัญหาในการผลิตและปรับปรุงคุณภาพได้อย่างต่อเนื่อง

2.4.1 ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพ

การศึกษาว่ากระบวนการมีความสามารถตรงตามขอบเขตของข้อกำหนดโดยให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนการตรงกับค่าเป้าหมายของข้อกำหนดเฉพาะ จะใช้ตัวชี้วัดคือค่า

ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพ (Potential Capability) แบ่งออกได้ดังนี้

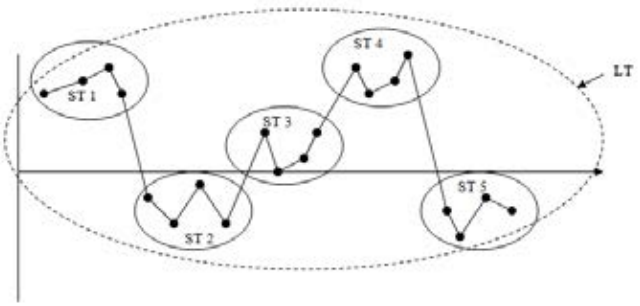
ดัชนี C_p = Potential Capability Indices ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพระยะสั้น

ดัชนี P_p = Potential Capability Indices ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพระยะยาว

ดัชนี C_R = Potential Capability Ration อัตราส่วนของความสามารถกระบวนการด้านศักยภาพระยะสั้น

ดัชนี P_R = Potential Capability Ration อัตราส่วนของความสามารถกระบวนการด้านศักยภาพระยะยาว

การศึกษาระยะสั้นๆคือการศึกษาที่รวบรวมข้อมูลระยะสั้นเพื่อพอที่จะกำจัดความผันแปรที่ผิดธรรมชาติออกไปเท่านั้น อาจใช้ข้อมูล 30-50 ตัวอย่างเท่านั้น อาจแสดงความผันแปรที่ไม่แตกต่างกันเลย แต่เมื่อศึกษาในระยะยาว แล้ว อาจเกิดความผันแปร ขนาดใหญ่มากได้ ใช้ข้อมูล 100-200 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสามารถของกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว

2.4.2 ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะ

การศึกษาว่ากระบวนการมีความสามารถตรงตามขอบเขตของข้อกำหนดโดยให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนนั้นทำได้จริงและตรงกับค่าเป้าหมายของข้อกำหนดเฉพาะมากน้อยเพียงไรดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบี่ยงเบนไป

ดัชนี C_{pk} = Performance Capability Indices ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบี่ยงเบนไประยะสั้น

ดัชนี P_{pk} = Performance Capability Indices ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบี่ยงเบนไประยะยาว

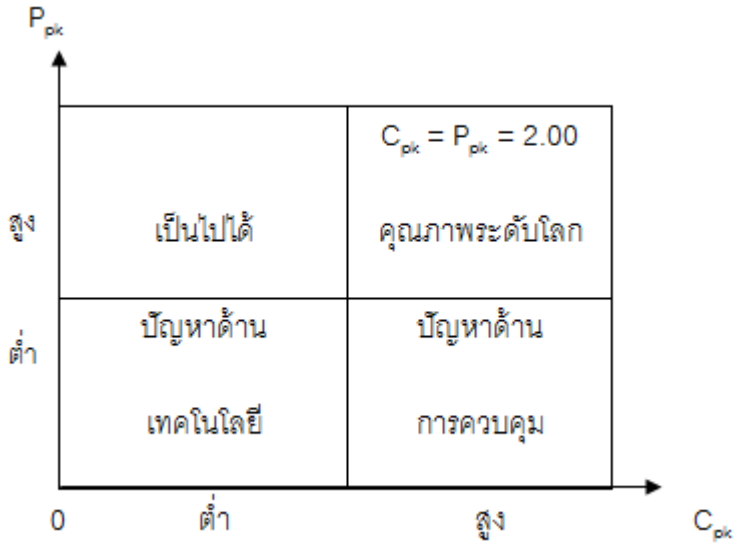
ดัชนี C_{pm} = Performance Capability Indices ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะด้วยค่ากลางจากข้อกำหนดเฉพาะระยะสั้น

ดัชนี P_{pm} = Performance Capability Indices ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะด้วยค่ากลางจากข้อกำหนดเฉพาะระยะยาว

ตารางที่ 2.1 ค่าแนะนำสำหรับค่าดัชนี C_{pk} ขั้นต่ำ

ประเภทกระบวนการ	**ระดับคุณภาพ**	**ค่าดัชนี C_{pk} ขั้นต่ำ**	
		กรณีข้อกำหนดเฉพาะสองด้าน	**กรณีข้อกำหนดเฉพาะด้านเดียว**
กระบวนการทั่วไป ใช้อยู่เดิม	4σ	1.33	1.25
กระบวนการทั่วไป ใหม่	4.5σ	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัย เดิม	4.5σ	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัย ใหม่	5σ	1.67	1.60

เมื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกระบวนการด้านสมรรถนะระยะสั้นและระยะยาว จะสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกระบวนการด้านสมรรถนะระยะสั้นและระยะยาว

2.4.3 การคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ [1]

โดยทั่วไปการวัดสมรรถภาพในการทำงานของกระบวนการจะวัดในรูปของ C_p และ C_{pk} ซึ่งค่า C_p พิจารณาถึงการกระจายตัวโดยรวมของกระบวนการเมื่อเทียบกับความกว้างของสเปคเท่านั้น ไม่มีการพิจารณาถึงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะอยู่ที่ตำแหน่งใด ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายหรือไม่ (โดยปกติค่าเป้าหมายคือค่ากลางของสเปค) เนื่องจากค่า C_p ไม่ได้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงไปจากจุดกึ่งกลาง จึงต้องคำนวณค่า C_{pk} ซึ่งเป็นอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการที่สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่ากลางจากเป้าหมายได้ โดย C_{pk} คือค่าอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการด้านที่ใกล้กับข้อกำหนดมากที่สุด

การคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพระยะสั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ข้อกำหนด 2 ด้าน มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$C_P = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

เมื่อ Upper Specification Limit (USL) คือ ค่าสเปคด้านสูง

Lower Specification Limit (LSL) คือ ค่าสเปคด้านต่ำ

σ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

2) ข้อกำหนดด้านเดียว มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$C_{PU} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \text{ หรือ } C_{PL} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$$

เมื่อ C_{PU} คือ ค่าดัชนีวัดด้านบน

C_{PL} คือ ค่าดัชนีวัดด้านล่าง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

หลังจากนั้นนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ สามารถสรุปความหมายของค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความหมายของค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

ค่า C_p ที่คำนวณได้	**ความหมาย**
$C_p < 1$	กระบวนการไม่มีความสามารถ ภายใต้การกระจายของข้อมูลเมื่อเทียบกับขอบเขตข้อกำหนดบน-ล่าง (USL-LSL)
$C_p = 1$	กระบวนการมีความสามารถค่อนข้างต่ำ
$C_p > 1$	กระบวนการมีความสามารถ กรณีที่ C_p มีค่ามากจะชี้ว่ากระบวนการมีความสามารถมาก

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้มีการแบ่งออกเป็นสามส่วน ได้แก่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาปัจจัยต่างๆที่จะนำมาทำการทดลอง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับการออกแบบการทดลอง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาโรงงานกรณีศึกษา

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาปัจจัย

ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา [5] เริ่มจากการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องของโรงงานกรณีศึกษาโดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม เพื่อเลือกปัจจัยทั้งหมดในการคัดเลือกปัจจัย โดยใช้เครื่องมือพื้นฐานทางสถิติ คือแผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา โดยใช้หลักการ 4M ได้แก่ คน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Method) และสิ่งแวดล้อม (Environment)

สุทธิดา เอี่ยมเจริญ และ ระพี กาญจนะ [6] ได้นำแผนภูมิพาเรโต วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล เพื่อสามารถตัดสินใจศึกษาเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญลำดับต้นๆมาทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหาก่อน โดยใช้หลักการที่ว่า ของดีมีน้อย (Vital few and trial many) หมายความว่า สาเหตุสำคัญของปัญหามักจะมีเพียงไม่กี่อย่าง นั่นคือ สาเหตุส่วนน้อยทำให้เกิดปัญหาส่วนใหญ่ ซึ่งอาจถือเป็นหลักการว่าประมาณร้อยละ 80 ของปัญหา เกิดจากสาเหตุเพียงไม่กี่ประการเท่านั้น แผนภูมิพาเรโตจึงเป็นแผนภูมิทางสถิติที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพของการผลิต โดยอาศัยหลักการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการผลิต เพื่อจะได้พิจารณาเลือกเรื่องที่มีความสำคัญมาก มาทำการแก้ไขปรับปรุงก่อนเป็นลำดับแรก

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

ธีรยุทธิ์ ยกชิ้ว [3] ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล โดยมีตัวแปรตอบสนองที่สนใจ 2 ตัวคือ ขนาดกระเบื้องด้าน 8 นิ้ว และด้าน 10 นิ้ว โดยมีปริมาณของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐานเกิดขึ้นในระหว่างการผลิตก่อนการปรับปรุงคือ 19,117 และ 10,625 DPPM มีดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) เป็น 0.69 และ 0.83 ตามลำดับ จากการใช้แผนผังก้างปลาและการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ พบว่าปัจจัยที่ถูกเลือกและใช้ในการทดลองเบื้องต้นโดยเทคนิคการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Fractional Factorial Design) มี 4 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนผงดิน แรงอัดขึ้นรูปกระเบื้อง อัตราการเผาไม้ภายในเตาเผา และอุณหภูมิในการเผา แล้วทำการทดสอบผลการทดลอง โดยผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีปริมาณของเสียกระเบื้องบิสกิตที่เกิดจากด้าน 8 นิ้วและ 10 นิ้ว เหลือเพียง 8,196 และ 1,378 DPPM โดยมีดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) เพิ่มขึ้นเป็น 0.81 และ 1.02 ตามลำดับ

สิ่งที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยนี้ คือ ดัชนีความสามารถในการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) สามารถใช้เป็นสิ่งชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ นอกเหนือจากการสนใจที่ปริมาณของเสียเพียงอย่างเดียว

สรียา กสิกพันธุ์ [4] ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลโดยสนใจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิล และหาเงื่อนไขส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิต โดยการวิจัยเริ่มจากการทำการทดลองศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัย คือ ปริมาณเศษแผ่นพาร์ทิเคิล ปริมาณกาวผิว ปริมาณกาวไส้ และปริมาณสารเร่งแข็ง ใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 3^k แฟคทอเรียล และใช้วิธีการสุ่มแบบบล็อกสมบูรณ์ วิเคราะห์การทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมโดยยึดตามข้อกำหนดของ มอก.876-2532 เป็นมาตรฐาน แล้วทำการทดสอบผลการทดลอง สรุปส่วนผสมที่เหมาะสมที่ระดับนัยสำคัญ α= 0.05 ได้ดังนี้ ปริมาณเศษพาร์ทิเคิล 5% ของไม้ทั้งหมด ปริมาณกาวผิว 16% ของเนื้อไม้แห้ง และปริมาณกาวไส้ 9% ของเนื้อไม้แห้ง ซึ่งเมื่อนำสภาวะการทดลองที่ได้ไปทดลอง

ผลิตจริง พบว่าได้ผลของค่าความแข็งแรงและความคงขนาดใกล้เคียงกับที่ได้ในการทดลอง

สิ่งที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยนี้ คือ เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่มีความรู้และความเชี่ยวชาญ จากนั้นทำการสร้างแผนภูมิเหตุและผลขึ้นมาเพื่อทำการเลือกปัจจัยเพื่อทำการศึกษา

ปาริชาติ นาทะสัน [7] ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างระหว่างร่องกาวและลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวของฝาบนและฝาล่างเป็น 6.61±1.69 และ 5.50±1.40 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิต (C_{pk}) ของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 0.67 และ0.84 ตามลำดับ โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาวอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย จากนั้นใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design แล้วทำการทดสอบผลการทดลอง ซึ่งผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 6.05±0.74 และ 5.93±0.70 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) ของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 1.77 และ 1.87 ตามลำดับ

สิ่งที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยนี้ คือ ในบางครั้งการทดลองพบว่ามีปัจจัยที่ต้องศึกษาเป็นจำนวนมาก เช่น ปัจจัยนำเข้าจำนวนมาก ซึ่งปัจจัยทั้งหมดมีความสำคัญไม่เท่ากัน ไม่สามารถตัดปัจจัยใดออกไปได้ การทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะเกิดจำนวนในการทดลองจำนวนมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทดลองสูง ระยะเวลาในการทดลองมากเกินไป ดังนั้น เทคนิค Taguchi จึงถูกนำมาใช้เพื่อลดจำนวนของปัจจัยที่มีมากออกไป

Anuj Narang,Amos Ben-Zvi, Artin Afacan, David Sharp, Sirish L. Shah, Biao Huang [9] ในวารสารเล่มนี้ได้นำเสนอการใช้การออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อวิเคราะห์และหาจุดเหมาะสมในการกลั่นเพื่อแยกเมทานอลภายในหอกลั่น โดยเลือกใช้

วิธีการ Full Factorial Design และ 2^k Fractional Factorial Design เพื่อเปรียบเทียบผลลัพท์ทั้งสองวิธี โดยพบว่ามีปัจจัยที่มีอิทธิพลที่ทำให้การกลั่นเพื่อแยกเมทานอลออกมาได้ดีอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ Feed flow rate Reflux ratio และ Steam flow แล้วทำการทดสอบผลการทดลอง ซึ่งผลการทดลองทั้งสองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การเพิ่ม Reflux ratio ให้สูงขึ้นและการลด Steam rate ลง จะทำให้การกลั่นเมทานอลดีขึ้น และทำให้ทราบว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย มีอิทธิพลร่วมระหว่างกัน สามารถสรุปได้ว่าวิธีการแบบ 2^k Fractional Factorial Design เหมาะสำหรับการทดลองที่มีความจำกัดด้านทรัพยากร ได้แก่ เวลา งบประมาณ โดยให้ผลลัพท์ที่ใกล้เคียงกับการทดลองแบบ Full Factorial Design จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เพราะสามารถลดจำนวนการทดลองลงไปได้ถึงครึ่งหนึ่ง พร้อมทั้งมีการทำการทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้จากการทดลองเพื่อการสรุปผลต่อไป

สิ่งที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยนี้ คือการเลือกปัจจัยเพื่อนำมาศึกษา ควรคำนึงถึงทรัพยากรที่มีของการทดลองในแต่ละครั้ง เนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งมีค่าใช้จ่ายสูง การใช้แผนการทดลองแบบ 2^k Fractional Factorial Design จึงเหมาะสำหรับการทดลองที่มีความจำกัดด้านทรัพยากร

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาโรงงานผลิตชิ้นไม้สับ

วรพงษ์ อธิหิรัญวงศ์ [12] ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียเนื้อไม้ในการปอกเปลือกแบบ Drum โดยทำการทดลองเรื่องผลของอัตราเร็วรอบหมุน drum ต่อการเกิดการสูญเสียเนื้อไม้และคุณภาพชิ้นไม้สับที่ผลิตได้ โดยศึกษาด้วยการปรับเปลี่ยนอัตราเร็วรอบหมุนของ Drum ที่ 3 ระดับ คือ 80% speed, 65% speed และ 50% speed ยูคาลิปตัส K58 และ K7 ซึ่งถูกใช้เป็นชนิดตัวแทนไม้ท่อนที่เปลือกเหนียว และเปลือกปกติตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการสูญเสียเนื้อไม้ดีไปกับสายพานลำเลียงเปลือกมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการใช้อัตรารอบหมุน drum ที่ช้าลง อย่างไรก็ตาม ไม้ท่อนทั้ง K58 และ K7 ในแต่ละอัตราเร็วรอบ Drum ก็มีการสูญเสียเนื้อไม้สูงสุดไม่เกิน 0.7%

ดังนั้นแนวทางการเดินเครื่องจักรเพื่อให้เกิดการสูญเสียเนื้อไม้น้อยที่สุดของไม้ทั้งสองประเภท (เปลือกเหนียวและเปลือกไม่เหนียว) คือการเดินที่อัตรารอบหมุน 80% speed ซึ่งจะพบว่ายิ่งเวลาไม้ท่อนกลิ้งนานอยู่ใน Drum ก็จะเกิดการสูญเสียเนื้อไม้ไปที่สายพานลำเลียงเปลือกได้มาก จึงอธิบายได้ว่าในการทดลองนี้ ระยะเวลาที่ไม้ท่อนกลิ้งอยู่ใน Drum คือปัจจัยที่สร้างผลกระทบหลักของการเกิดการสูญเสียเนื้อไม้นั่นเอง

สิ่งที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยนี้ คือ การปรับแต่งความเร็วรอบของเครื่องปอกเปลือกแบบ Drum มีส่วนที่ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อไม้โดยตรงและยังส่งผลกระทบต่อขนาดชิ้นไม้สับอีกด้วย เนื่องจากมีโอกาสเกิดการแตกหักใน Drum สูง ไม้ที่เข้าสู่เครื่องสับไม้จึงมีขนาดสั้นกว่าเดิม

Twaddle, A.A. and W.F. Watsan [13] ในงานวิจัยฉบับนี้ได้จัดทำขึ้น เพื่อรวบรวมข้อมูลโรงงานผลิตชิ้นไม้สับทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา จำนวน 76 โรงงาน โดยสนใจเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องสับไม้ (Chipper) และขนาดของชิ้นไม้สับ พบว่าโรงงานชิ้นไม้สับทั้ง 76 โรงงานมีความแตกต่างกันของกระบวนการผลิตอย่างชัดเจน เช่น รอบการหมุนของเครื่องสับไม้มีค่าตั้งแต่300-450 รอบต่อนาที จำนวนใบมีดที่ใช้สับตั้งแต่ 4-15 ใบต่อดิสก์ ประเภทของไม้เข้าผลิต (ไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน) ประเภทของเครื่องสับไม้ (แนวตั้ง แนวนอน) ความยาวของไม้ที่สับตั้งแต่ 2.4-3.0 เมตร พบว่าการปรับแต่งเครื่องสับไม้ประเภทสับแนวนอนมุม 35 องศา สัดส่วนของความยาวชิ้นไม้สับที่ต้องการจะสัมพันธ์กับความหนา โดยมีความสัมพันธ์เป็น 5:1 เสมอ

สิ่งที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยนี้ คือ การปรับแต่งเครื่องสับไม้มีผลโดยตรงต่อขนาดและความหนาของชิ้นไม้สับ โดยมีความสัมพันธ์เป็น 5:1 แต่งานวิจัยนี้ยังขาดการวิเคราะห์ปัญหาที่ดี เนื่องจากเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานและทำเป็นตัวเลขเชิงสถิติเท่านั้น โดยไม่ได้สนใจปัจจัยอื่นที่อาจจะมีผลกระทบต่อขนาดของชิ้นไม้สับ

William S.Fuller [14] ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาถึงแนวทางในการเพิ่มอัตราการผลิตเยื่อโดยใช้หลักการ 4M 1E ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุ (Material)

วิธีการ (Method) และสิ่งแวดล้อม (Environment) เป็นแนวทางในการพิจารณารายละเอียดของปัจจัย เพื่อให้ได้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพและอัตราการผลิตคือชิ้นไม้สับ โดยตัวแปรที่สำคัญคือ ขนาดของชิ้นไม้สับ (Size Distribution) ค่าความชื้น (Moisture Content) สายพันธุ์ (Species) การกองไม้ก่อนเข้าผลิต (Stored) และการนำไม้เข้าผลิตโดยตรง (Fresh Wood) จากนั้นทำการพล็อตกราฟของเสียที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการของพาเรโตโดยอาศัยการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อนำเรื่องที่สำคัญมาทำการปรับปรุงก่อน พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียมากที่สุดคือ ขนาดและความหนาไม่ได้มาตรฐาน

สิ่งที่ได้จากการค้นคว้างานวิจัยนี้คือ การนำหลักการ 4M 1E และการทำแผนภาพสาเหตุและผล มาใช้เป็นแนวทางในการพิจารณา ซึ่งพบว่ามีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์ของโรงงานกรณีศึกษา แต่งานวิจัยนี้ไม่มีการการบอกถึงวิธีการในการปรับปรุงชิ้นไม้สับให้ได้ขนาดตามมาตรฐานได้อย่างไร เพียงแค่บอกถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตเยื่อเท่านั้น

บทที่ 3
ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

ในบทนี้ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จากนั้นเป็นการศึกษากระบวนการผลิต เพื่อค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ โดยผลการศึกษามีดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) จะใช้เครื่องมือวัด Chip classifier-100 ซึ่งเป็นเครื่องวัดที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัด Chip classifier สำหรับแยกประเภทของชิ้นไม้สับ

1) พนักงานเก็บตัวอย่างทำการเก็บตัวอย่างชิ้นไม้สับปริมาณ 1 ถังหรือ 5 กิโลกรัม
2) ทำการเทลงเครื่องคัดแยกขนาดชิ้นไม้สับ (Chip classifier) กดปุ่มทำงานให้เครื่องทำการเขย่า ระยะเวลาเขย่า 15 นาที
3) ดึงถาดแต่ละชั้นเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก
4) ทำการเปรียบเทียบน้ำหนักตัวอย่างในแต่ละชั้นเพื่อเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์
5) พนักงานนำตัวอย่างจากชั้นที่ยอมรับได้ (Accept) มาทำการวัดขนาดของชิ้นไม้สับ

หมายเหตุ : เครื่องมือวัด Chip classifier-100 ทำการวัดเพื่อสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO9001:2008 ความถี่การสอบเทียบอย่างน้อย 1 ครั้งต่อปี

โดยเครื่องมือวัดประกอบด้วยถาดรองทั้งหมด 6 ถาดเพื่อคัดแยกประเภทชิ้นไม้สับ ดังตารางที่ 3.1

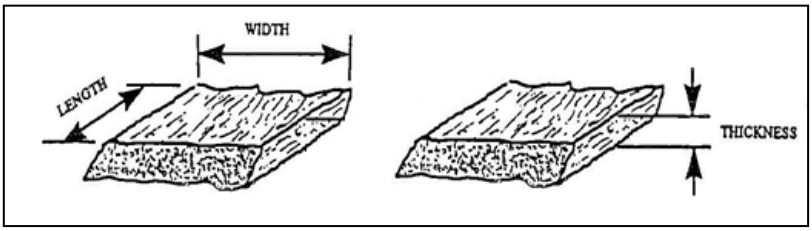
ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของชั้นคัดแยกเครื่องคัดแยกชิ้นไม้สับ

รูปภาพประกอบ	ขนาดของถาดแต่ละชั้น	ประเภทของชิ้นไม้สับ
	รูขนาด 45 mm.	Over size
	ช่องขนาด 10 mm.	Over thick
	ช่องขนาด 8 mm.	Accept1
	รูขนาด 7 mm.	Pin
	รูขนาด 3 mm.	Fine
	ถาดชั้นรองฝุ่น	Dust

3.1.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

เนื่องจากขั้นตอนการคัดแยกชิ้นไม้สับจะมีขั้นตอนการวัดขนาดที่ใช้พนักงานเป็นผู้ตรวจวัด ในงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำ โดยวางแผนขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1) เครื่องมือวัด โดยการใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร
2) วิธีการวัด จะทำการวัดเฉพาะขนาดความยาวของชิ้นไม้สับโดยขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.2 รูปแบบการวัดขนาดชิ้นไม้สับ

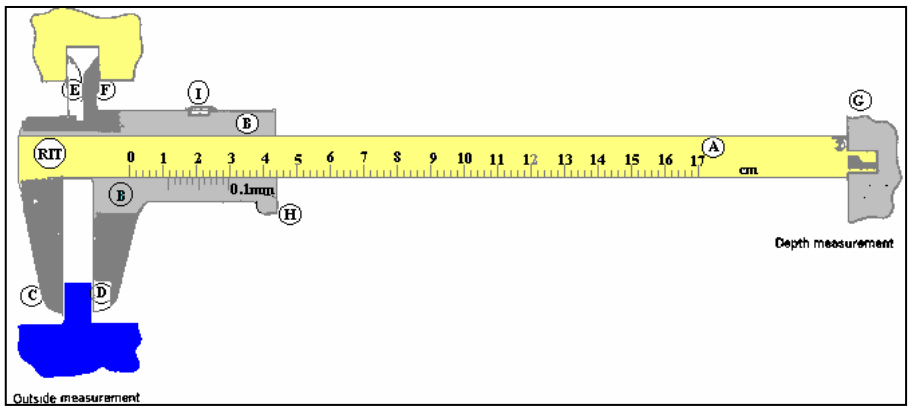
3) พนักงานวัด โดยพนักงานทั้งหมดจะแบ่งเป็น 2 ช่วงคือกะเช้าและกะดึก โดยในการทดลองได้เลือกพนักงานจำนวน 2 คน และทำการสุ่มลำดับชิ้นไม้สับที่ใช้ในการวัดชิ้นละ 2 ครั้ง

4) ทำการวัดขนาดชิ้นไม้สับ และบันทึกผลการวัด

5) วิเคราะห์ผลความแม่นยำของระบบการวัดด้วยโปรแกรม Minitab โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อแยกประเภทความผันแปรต่างๆ

3.1.2 **ขั้นตอนการศึกษาวิธีการใช้งานเครื่องมือวัดเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์** (Vernier Caliper)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความยาวของวัตถุทั้งภายใน และภายนอกของชิ้นงาน ระดับมิลลิเมตร ทศนิยม 2 ตำแหน่ง เวอร์เนียร์มีลักษณะโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะของเวอร์เนียร์

ประกอบด้วย

สเกลหลัก A เป็นสเกลไม้บรรทัดธรรมดา ซึ่งเป็นมิลลิเมตร (mm) และนิ้ว (inch)

สเกลเวอร์เนีย B ซึ่งจะเลื่อนไปมาได้บนสเกลหลัก

ปากวัด C – D ใช้หนีบวัตถุที่ต้องการวัดขนาด

ปากวัด E – F ใช้วัดขนาดภายในของวัตถุ

ปลาย G ใช้วัดความลึก

ปุ่ม H ใช้กดเลื่อนสเกลเวอร์เนียร์ไปบนสเกลหลัก

สกรู I ใช้ยึดสเกลเวอร์เนียร์ให้ติดกับสเกลหลัก

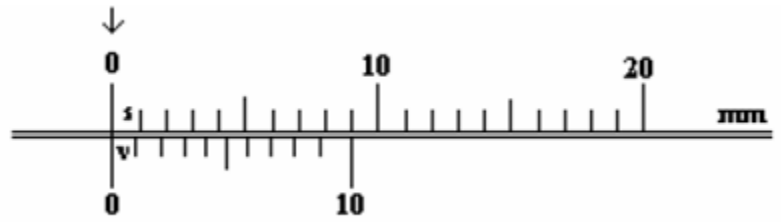
ตัวอย่างการวัดความละเอียดของสเกลเวอร์เนียร์

ถ้าให้ S เป็นความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก

V เป็นความยาว 1 ช่องของสเกลเวอร์เนียร์

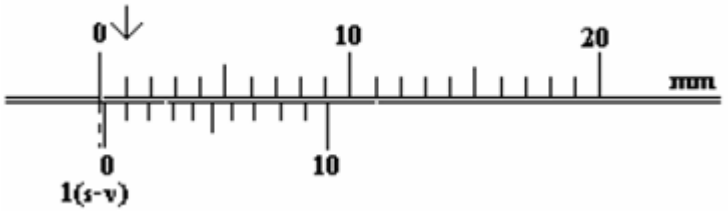
n เป็นจำนวนช่องบนสเกลเวอร์เนียร์

เมื่อเริ่มให้ขีดที่ศูนย์ของทั้งสองตรงกัน แล้วขีดสุดท้าย (ขีดที่ n) ของสเกลเวอร์เนียร์จะตรงกับขีดที่ n-1 ของสเกลหลัก ขีดอื่น ๆ จะไม่ตรงกันดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีดที่ศูนย์ตรงกัน

ถ้าเลื่อนสเกลเวอร์เนียร์ไปทางขวาเล็กน้อย โดยให้ขีดที่ 1 ของสเกลเวอร์เนียร์ตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลักดังแสดงในรูปที่ 3.5



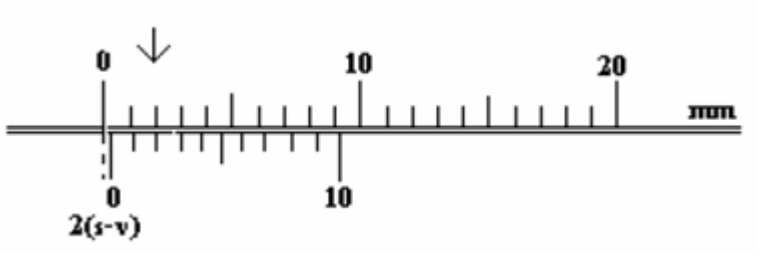
รูปที่ 3.5 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีด 1 ตรงกัน

ถ้า S = 1 mm

และ V = 0.9 mm (10 ช่องของสเกลเวอร์เนีย = 9 mm)

จากรูปที่ 3.6 จะได้ว่า

$$1(S - V) = 0.1$$

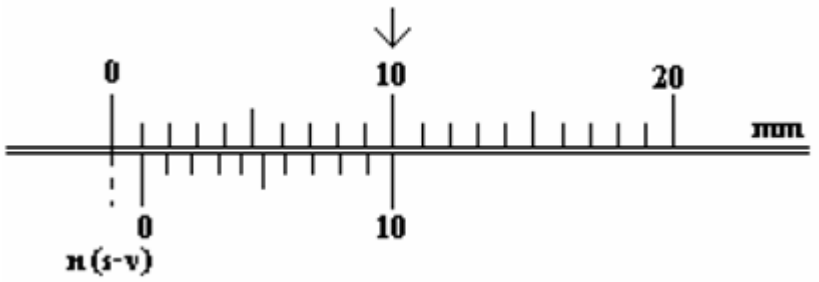


รูปที่ 3.6 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีดที่ 2 ตรงกัน

จะได้ว่า $2(S - V) = 2(0.1) = 0.2$

ถ้าขีดที่ 3 ตรงกันจะได้ว่า $3(S - V) = 3(0.1) = 0.3$

และเมื่อเลื่อนจนกระทั่งขีดที่ 10 (หรือ n) ของสเกลทั้งสองตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงผลของการวัดค่าเมื่อขีดที่ n ตรงกัน

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่า ขีดที่ศูนย์ของสเกลเวอร์เนียร์จะตรงกับขีดที่ 1 ของสเกลหลักพอดี นั่นคือ สเกลเวอร์เนียร์เลื่อนไปเป็นระยะทางเท่ากับ S พอดี ดังนั้น

$$n(S - V) = S$$

หรือ $S - V = Sn$ ..... (1)

เมื่อ S - V เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดที่สามารถอ่านได้จากเครื่องวัดชนิดนี้ เรียกว่า ค่าที่น้อยที่สุดที่อ่านได้ (Least Count) ซึ่งเป็น ความละเอียดที่สุดของเครื่องวัด

ดังนั้น ค่าความละเอียดของเครื่องวัดมีค่าเท่ากับ Sn หรือ Least Count = Sn ……..……(2)

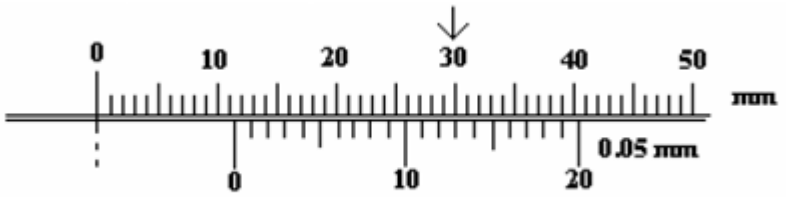
เมื่อ S = ความยาว 1 ช่องของสเกลหลัก

n = จำนวนช่องของสเกลเวอร์เนียร์

โดยปกติแล้ว ตัวเลขที่แสดงค่าความละเอียดที่สุดของเครื่องวัดนี้ มักจะเขียนไว้บนสเกลเวอร์เนียร์ในหน่วยต่าง ๆ เสมอ เช่น 0.1 mm. สำหรับสเกลเวอร์เนียร์ชนิด 10 ช่อง (n = 10) 0.05 mm. สำหรับสเกลเวอร์เนียร์ชนิด 20 ช่อง (n = 20) และ 0.02 mm. เมื่อสเกลเวอร์เนียร์มีจำนวนช่อง 50 ช่อง (n = 50)

การอ่านสเกลเวอร์เนียร์

เมื่อผลการวัดของวัตถุอันหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงสเกลเวอร์เนีย

จากรูปที่ 3.8 อ่านได้ดังนี้

1) ขณะนี้ขีดที่ 0 ของสเกลเวอร์เนียอยู่ที่ตำแหน่งที่ 11.00 มิลลิเมตร เลยออกมาเล็กน้อยบนสเกลหลัก
2) และขีดที่ 13 ของสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดบนสเกลหลัก จึงนำเอาเลข 13 คูณกับ least count จะได้เป็นค่าเศษของมิลลิเมตร คือ 13 x 0.05 = 0.65 มิลลิเมตร
3) นำค่าที่อ่านได้จากข้อ 1 บวกกับค่าที่อ่านได้ในข้อ 2 ก็จะเป็นผลการวัดในครั้งนี้ นั่นคือ

ค่าที่วัดได้ = 11.00 + 0.65 มิลลิเมตร

= 11.65 มิลลิเมตร

ลำดับการอ่านค่าผลการวัด

1) ก่อนใช้เวอร์เนียร์ ต้องตรวจสอบดูว่ามีค่า least count เท่าใด โดยดูจากตัวเลขที่เขียนไว้บนสเกลเวอร์เนีย หรืออาจจะคำนวณจากสูตร least count = nS ก็ได้
2) ต้องดูว่าขีดที่ศูนย์ของสเกลเวอร์เนียอยู่ที่ตำแหน่งใดบนสเกลหลัก แล้วอ่านค่าบนสเกลหลักในหน่วยมิลลิเมตร หรือนิ้วก็ได้ ตามที่เราต้องการ
3) ต่อไปดูว่ามีเศษของมิลลิเมตรหรือนิ้ว หรือไม่ ถ้ามีดูว่าขีดที่เท่าใดบนสเกลเวอร์เนียตรงกับขีดใดขีดหนึ่งบนสเกลหลัก แล้วเอาคูณกับค่า least count จะได้เป็นเศษของหน่วยวัดนั้น
4) ผลการวัดคือผลรวมของค่าที่ได้จากข้อ 2 และ 3

การสอบเทียบเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper)

ขั้นตอนการตรวจสอบ อ้างอิงตามมาตรฐาน Measuring Uncertainty และ Measuring Face ดังนี้

1) ความไม่แน่นอนในการวัดตามมาตรฐาน Measuring Uncertainty วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสเกล
2) ผิวหน้าปากจับตามมาตรฐาน Measuring Face วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความเรียบของปากจับและความขนานของปากจับเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์

ข้อควรระวังในการอ่านค่าเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์

1) ค่าความผิดพลาดเนื่องจากแรงที่ใช้ในการวัด (Measuring Force Error) ของบุคคลที่ทำการวัด
2) ค่าความผิดพลาดเนื่องจากการมองสเกล (Parallax Error) ของบุคคลที่ทำการวัด

หมายเหตุ : เครื่องมือวัดเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ทำการวัดเพื่อสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO9001:2008 ความถี่การสอบเทียบอย่างน้อย 1 ครั้งต่อปี

3.2 การค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับเท่านั้น เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อขนาดชิ้นไม้สับ ในเบื้องต้นจะใช้การระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้เชี่ยวชาญ

และผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องของโรงงานกรณีศึกษาโดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม ข้อมูลจากการทดลองในอดีตที่ผ่านมา เพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อขนาดชิ้นไม้สับที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

3.2.1 การค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

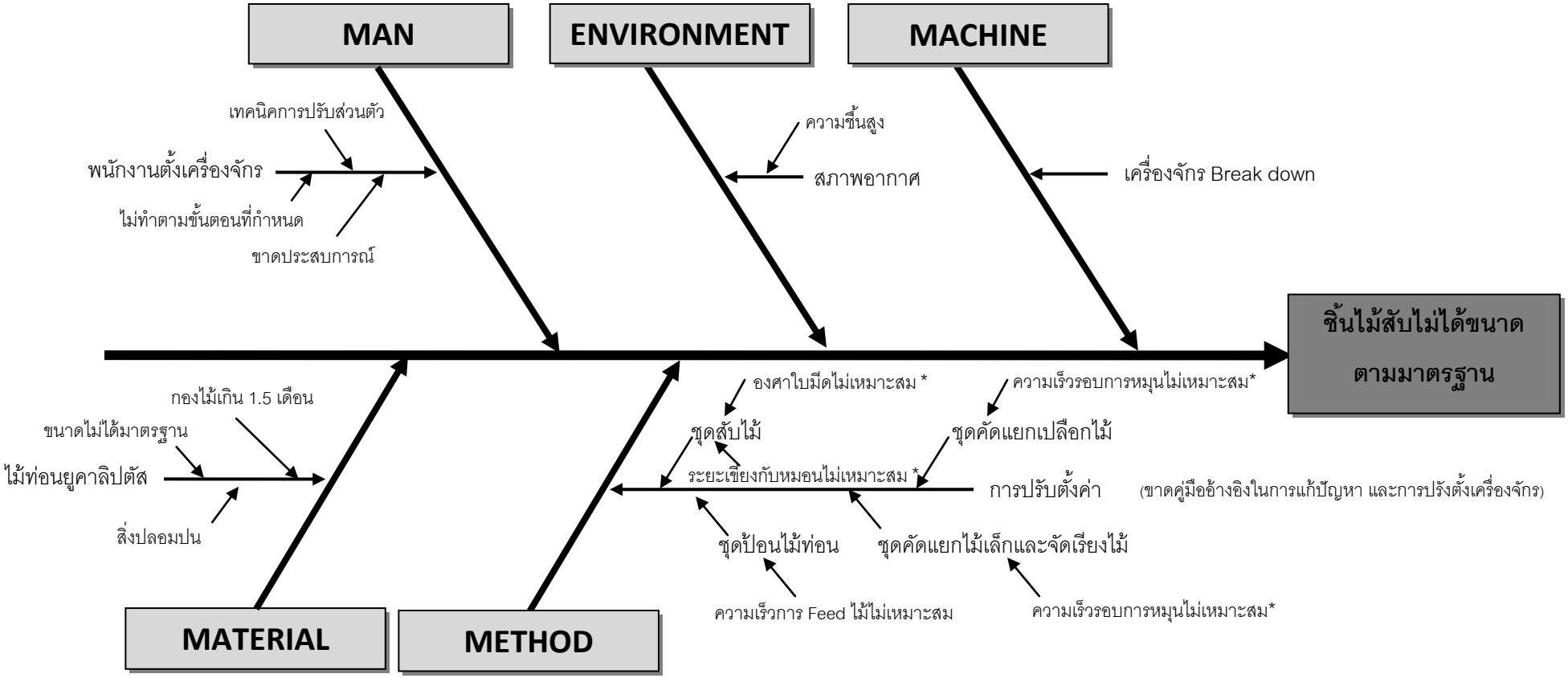
จะใช้หลักการ 4M 1E ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุ (Material) วิธีการ (Method) และสิ่งแวดล้อม (Environment) เป็นแนวทางในการพิจารณารายละเอียดของปัจจัย เพื่อให้ได้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ดังรูปที่ 3.9

ในส่วนของเครื่องจักร (Machine) จะมีอยู่ 4 ส่วนหลักคือ

1) ชุดป้อนไม้ท่อน (Gentle feed)
2) ชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum)
3) ชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียงไม้ (Washing roll)
4) ชุดสับไม้ (Chipper unit)

จากรูปที่ 3.9 ทำการคัดเลือกปัจจัยที่นำมาใช้ในการวิจัยโดยการระดมสมองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดชิ้นไม้สับไม่ได้มาตรฐานกับปัจจัยต่างๆ ซึ่งมีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1) เป็นปัจจัยที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร
2) เป็นปัจจัยที่ไม่กระทบต่อการปรับตั้งค่าเครื่องจักรจนเป็นเหตุให้ลดกำลังการผลิต
3) เป็นปัจจัยที่ต้องควบคุมพนักงานปรับตั้งค่าให้มีความชำนาญ โดยการฝึกอบรมก่อนการทดลอง เพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น
4) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร จะไม่นำมาพิจารณาและกำหนดเป็นปัจจัยควบคุม



รูปที่ 3.9 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาขนาดชิ้นไม้สับไม่ได้ขนาดตามมาตรฐาน

* หมายถึง ปัจจัยที่เลือกใช้ในการศึกษานี้

3.2.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดชิ้นไม้สับ

จากรูปที่ 3.9 พบว่าในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 13 ปัจจัย ซึ่งสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดของเสียชิ้นไม้สับไม่ได้ขนาดตามมาตฐาน จึงทำการแยกรายละเอียดแต่ละปัจจัย ดังต่อไปนี้

1) ปัจจัยประเภทบุคลากร

พนักงานตั้งเครื่องจักร ทำหน้าที่ในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องจักรเพื่อให้สามารถผลิตชิ้นไม้สับได้ตามปริมาณและคุณภาพที่กำหนด โดยปัจจัยที่มีผลต่อของเสียชิ้นไม้สับไม่ได้ขนาดตามมาตรฐาน ดังนี้

1.1) ขาดประสบการณ์ ทำให้การปรับตั้งค่าเครื่องจักรเกิดจากการสุ่มแก้ปัญหาไม่ตรงจุด เมื่อเกิดปัญหาที่ไม่คาดคิดจึงไม่สามารถหาวิธีแก้ปัญหาได้

1.2) ไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนด การทำงานโดยไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนดไว้โดยละเว้นหรือข้ามบางขั้นตอนของข้อกำหนดการใช้เครื่องจักรให้ถูกต้องตามที่ได้ฝึกอบรม ทำให้ส่งผลกระทบต่อทั้งเครื่องจักร และคุณภาพของชิ้นไม้สับ

1.3) เทคนิคการปรับส่วนตัว เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาผลิตชิ้นไม้สับ 24 ชั่วโมงทำให้พนักงานทำงานเป็นกะ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ในแต่ละกะขึ้นอยู่กับเทคนิคการปรับส่วนตัวของพนักงานหรือหัวหน้างาน โดยไม่มีการถ่ายทอดให้พนักงานกะอื่น

2) ปัจจัยประเภทวิธีการ

ปัญหาประเภทวิธีการที่ส่งผลกระทบต่อขนาดชิ้นไม้สับโดยตรง คือ การขาดคู่มืออ้างอิงในการแก้ปัญหา ทำให้วิธีการปรับขึ้นอยู่กับพนักงานแต่ละกะ การปรับตั้ง

ค่าแต่ละครั้งมีความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสถานการณ์และประสบการณ์ของพนักงาน โดยปัจจัยที่มีผลต่อของเสียชิ้นไม้สับไม่ได้ขนาดตามมาตรฐาน ดังนี้

2.1) ชุดป้อนไม้ท่อน (Gentle feed Unit)

ชุดป้อนไม้ท่อน ทำหน้าที่ลำเลียงไม้ท่อนที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว เข้าสู่ชุดคัดแยกเปลือกไม้ ซึ่งการลำเลียงของชุดนี้ไม่สามารถปรับตั้งค่าความเร็วของเครื่องจักรได้

2.2) ชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum)

ชุดคัดแยกเปลือกไม้ ทำหน้าที่แยกเปลือกไม้ออกจากเนื้อไม้โดยอาศัยการตกกระแทกของไม้ท่อน เปลือกไม้ที่หลุดร่อนจะตกลงสู่สายพานตามรูที่อยู่รอบๆชุดคัดแยกเปลือกไม้ ส่วนไม้ที่ผ่านการคัดแยกเปลือกไม้แล้ว จะลำเลียงสู่สายพานลำเลียงเพื่อกระจายทิศทางการไหลของไม้ให้เหมาะสมก่อนทำการสับที่เครื่องสับไม้ โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อขนาดชิ้นไม้สับ ดังนี้

ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum speed) สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 3.5-7.5 รอบต่อนาที ขึ้นอยู่กับปริมาณไม้ที่นำเข้าผลิต การใช้ความเร็วรอบหมุนต่ำเกินไป ทำให้โอกาสการกระแทกของไม้นานขึ้น ทำให้ไม้ท่อนเกิดการแตกหัก และสูญเสียเนื้อไม้ที่ติดไปกับเปลือกไม้มากเกินไปอีกทั้งปริมาณผลผลิตต่ำ ส่วนการใช้ความเร็วรอบหมุนสูงเกินไป ทำให้เวลาในการแยกเปลือกออกจากไม้น้อยเกินไป ไม้ที่ผ่านการแยกเปลือก จะมีเปลือกไม้ติดไปมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการผลิตชิ้นไม้สับ ที่ไม่ต้องการเปลือกติดไปกับชิ้นไม้สับ

2.3) ชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง (Washing roll)

ชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง ทำหน้าที่แยกไม้เล็กที่แตกหักจากชุดคัดแยกเปลือกไม้ออก หลังจากนั้นจะผ่านระบบจัดเรียง เพื่อกระจายให้ทิศทางการไหลของไม้ท่อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจะผ่านขั้นตอนการล้างทำความสะอาดไม้ท่อนก่อนทำการสับไม้ โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อขนาดชิ้นไม้สับ ดังนี้

ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง (Washing speed) สามารถปรับได้ 3 ระดับคือ 1.0 เมตรต่อนาที 1.2 เมตรต่อนาที และ 1.4 เมตรต่อนาที การใช้ความเร็วต่ำเกินไป จะทำให้การกระจายตัวของไม้ไม่ดี ส่งผลให้ระยะการสับของเครื่องสับเบี่ยงเบนไป ส่วนการใช้ความเร็วสูงเกินไป จะทำให้ไม้กระจายตัวกันดีมากกว่าการใช้ความเร็วรอบต่ำ แต่อาจส่งผลกระทบต่อมุมการสับของเครื่องสับ เพราะไม้ท่อนไม่ไหลตามรางบังคับทิศทาง ส่งผลให้ระยะการสับของเครื่องสับเบี่ยงเบนไป

2.4) ชุดสับไม้ (Chipper)

ชุดสับไม้ ทำหน้าที่สับไม้ท่อนที่ผ่านการล้างและการปอกเปลือกออกแล้ว จากนั้นชิ้นไม้สับที่ได้จะผ่านการคัดแยกขนาดก่อนส่งให้กับโรงเยื่อเพื่อใช้ผลิตเป็นเยื่อกระดาษต่อไป โดยมีปัจจัยที่มีผลต่อขนาดชิ้นไม้สับ ดังนี้

ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (Gap of cut) เป็นตัวกำหนดขนาดความยาวของชิ้นไม้สับที่ต้องการสามารถปรับระยะได้ตั้งแต่ 3-5 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นไม้สับที่ต้องการ การตั้งระยะใกล้กันเกินไปจะส่งผลต่อชิ้นไม้สับที่เล็กและโอกาสที่ใบมีดจะสับถูกเขียงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของใบมีด ส่วนการตั้งระยะห่างเกินไป จะทำให้ขนาดชิ้นไม้สับใหญ่เกินไป

2.5) องศาใบมีดชุดสับไม้ (Knife angle)

ใบมีดที่ใช้จะควบคุมที่ 34-36 องศา เนื่องจากการใช้ใบมีดที่มุมเล็กเกินไปจะทำให้ใบมีดสึกไว เกิดการสิ้นเปลืองใบมีดและต้องหยุดเพื่อเปลี่ยนบ่อย ส่วนการใช้ใบมีดที่มุมใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดปัญหาสับไม้ไม่เข้าเนื่องจากลักษณะการสับเป็นการกระแทกมากกว่าการตัด

3) **ปัจจัยประเภทสิ่งแวดล้อม**

โรงงานกรณีศึกษามีการควบคุมความชื้นของไม้ท่อนยูคาลิปตัสก่อนเข้าผลิตเนื่องจากไม้ท่อนที่มีความชื้นสูง จะทำให้การสับไม้ง่ายกว่าการสับไม้ท่อนยูคาลิปตัสที่แห้ง อีกทั้งยังทำให้อายุการใช้งานของใบมีดยาวนั้นขึ้น

4) **ปัจจัยประเภทวัตถุดิบ**

ปัจจัยวัตถุดิบที่ส่งผลกระทบต่อขนาดชิ้นไม้สับโดยตรง คือ

4.1) ขนาดไม่ได้มาตรฐาน กำหนดที่ความยาวไม้ 2.50-2.70 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5- 3.0 นิ้ว กรณีไม้เล็กจะส่งผลทำให้เกิดความสูญเสีย เนื่องจากการสับไม้ขนาดเล็กจะทำให้เกิดฝุ่นชิ้นไม้สับ เสี้ยนไม้ แทนที่จะได้ไม้สับตามเป้าหมาย และการแตกหักของไม้มีโอกาสค่อนข้างสูง ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อไม้ติดไปกับเปลือกในขั้นตอนการแยกเปลือกออกจากเนื้อไม้ที่ชุดคัดแยกเปลือกไม้

4.2) กองไม้ท่อนเกิน 1.5 เดือน เนื่องจากไม้ที่ผ่านการกองเป็นระยะเวลานาน คุณภาพของไม้ท่อนจะลดลง ทั้งจากสภาพอากาศ จากเชื้อรา ทำให้ไม้ท่อนเกิดการผุกร่อน เกิดการแตกหักในกระบวนการผลิต

4.3) สิ่งปลอมปนที่มากับไม้ เช่น ตะปู หิน เหล็ก คอนกรีต ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเครื่องจักร โดยเฉพาะเครื่องสับไม้ (Chipper unit) ทำให้

ใบมีดเกิดการสึกหรอและเสียรูป ชิ้นไม้สับที่ผลิตได้จึงไม่ผ่านมาตรฐาน

5) **ปัจจัยประเภทเครื่องจักร**

เครื่องจักรไม่สามารถเดินเครื่องได้ตามที่ออกแบบไว้ (Break down) ไม่ว่าจะเป็นการขาดการซ่อมบำรุงตามรอบ หรือการซ่อมแซมไม่ถูกวิธี ทำให้ต้องหยุดการผลิตเพื่อแก้ไขปัญหา เกิดการสูญเสียทั้งเวลา และต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น

3.3 การคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง [7]

จากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) รูปที่ 3.9 พบว่า ในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 13 ปัจจัย เนื่องจากปัจจัยมีจำนวนมากเกินไป ดังนั้นในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการพิจารณาการตัดบางปัจจัยออกจากการทดลอง เพื่อให้เหมาะกับทรัพยากรและเวลาที่มีอย่างจำกัด โดยปัจจัยที่ควบคุมได้ พิจารณาจากความสามารถในการจำกัดขอบเขตค่าของปัจจัยเป็นหลัก แบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

- ปัจจัยที่ทราบค่าอยู่แล้ว และสามารถจำกัดค่าให้อยู่ในขอบเขตศึกษา เช่นค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรแต่ละชนิด
- ปัจจัยที่ไม่ทราบค่ามาก่อน แต่สามารถจำกัดค่าให้อยู่ในขอบเขตศึกษา เช่น ความชื้นไม้ท่อนที่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาว่าแต่ละปัจจัยจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้หรือไม่

- ควบคุมได้ (Controllable Factors) พิจารณาต่อขั้นตอนที่ 2
- ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) พิจารณาต่อขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาความสามารถในการปรับเปลี่ยนค่า

- ปรับเปลี่ยนง่ายในแต่ละสภาวะการทดลอง พิจารณาขั้นตอนที่ 3

- ปรับเปลี่ยนยาก ให้กำหนดปัจจัยนั้นควบคุมให้มีค่าคงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งในการทดลอง (Held Constant Factor)

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาว่าปัจจัยดังกล่าวส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงความสามารถของเครื่องจักรหรือไม่

- ส่งผล ให้กำหนดปัจจัยนั้นควบคุมให้มีค่าคงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งในการทดลอง (Held Constant Factor)
- ไม่ส่งผล จะนำปัจจัยนั้นไปใช้ในการออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors)

- ส่งผลกระทบต่อขนาดชิ้นไม้สับมาก ให้พิจารณาว่าสามารถควบคุมในระหว่างการทดลองได้หรือไม่
    - ถ้าควบคุมได้ ให้ทำการบล็อกปัจจัยดังกล่าวในการทดลอง
    - ถ้าควบคุมไม่ได้ให้ดำเนินการออกแบบวิเคราะห์ตัวแปรร่วม (Analysis of Covariance)

- ไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดชิ้นไม้สับมาก สามารถจัดปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยรบกวน (Noise Factor) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กน้อยที่ไม่สามารถควบคุมได้

3.3.1 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลอง

เหตุผลในการเลือกปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

1) ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum speed)

พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ สามารถปรับได้ตั้งแต่ 3.5-7.5 รอบต่อนาที ขึ้นอยู่กับปริมาณไม้ที่นำเข้าผลิต การใช้ความเร็วรอบหมุนต่ำเกินไป ทำให้โอกาสการกระแทกของไม้นานขึ้น ทำให้ไม้ท่อนเกิดการแตกหัก และสูญเสียเนื้อไม้ที่ติด

ไปกับเปลือกไม้มากเกินไป ส่วนการใช้ความเร็วรอบหมุนสูงเกินไป ทำให้เวลาในการแยกเปลือกออกจากไม้น้อยเกินไป ไม้ที่ผ่านการแยกเปลือก จะมีเปลือกไม้ติดไปมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการผลิตชิ้นไม้สับ ที่ไม่ต้องการเปลือกติดไปกับชิ้นไม้สับ จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

2) ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง (Washing roll speed) พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ สามารถปรับได้ 3 ระดับคือ 1.0 เมตรต่อนาที, 1.2 เมตรต่อนาที และ 1.4 เมตรต่อนาที การใช้ความเร็วต่ำเกินไป จะทำให้การกระจายตัวของไม้ไม่ดี ส่งผลให้ระยะการสับของเครื่องสับเบี่ยงเบนไป ส่วนการใช้ความเร็วสูงเกินไป จะทำให้ไม้กระจายตัวกันดีมากกว่าการใช้ความเร็วรอบต่ำ แต่อาจส่งผลกระทบต่อมุมการสับของเครื่องสับเพราะไม้ท่อนไม่ไหลตามรางบังคับทิศทาง ส่งผลให้ระยะการสับของเครื่องสับเบี่ยงเบนไป จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

3) องศาใบมีดชุดสับไม้ (Knife angle) พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ใบมีดที่ใช้จะควบคุมที่ 34-36 องศา เนื่องจากการใช้ใบมีดที่มุมเล็กเกินไปจะทำให้ใบมีดสึกไว เกิดการสิ้นเปลืองใบมีดและต้องหยุดเพื่อเปลี่ยนบ่อย ส่วนการใช้ใบมีดที่มุมใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดปัญหาสับไม้ไม่เข้าเนื่องจากลักษณะการสับเป็นการกระแทกมากกว่าการตัด จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

4) ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (Gap of cut) พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ เป็นตัวกำหนดขนาดความยาวของชิ้นไม้สับที่ต้องการสามารถปรับระยะได้ตั้งแต่ 3-5 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นไม้สับที่ต้องการ การตั้งระยะใกล้กันเกินไปจะ

ส่งผลต่อชิ้นไม้สับที่เล็กและโอกาสที่ใบมีดจะสับถูกเขียงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของใบมีด ส่วนการตั้งระยะห่างเกินไป จะทำให้ขนาดชิ้นไม้สับใหญ่เกินไป จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

3.3.2 ปัจจัยที่ไม่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลอง

เหตุผลในการไม่เลือกปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

1) ความเร็วชุดป้อนไม้ท่อน (Gentle Feed) จัดเป็นปัจจัยที่มีค่าตายตัว เนื่องจากไม่สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้ จึงตั้งค่าปัจจัยดังกล่าวให้คงที่ตามมาตรฐานเครื่องจักร
2) ขนาดไม้ท่อนยูคาลิปตัส จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ เนื่องจากศึกษาเฉพาะวัตถุชนิดเดียว คือไม้ท่อนยูคาลิปตัส ขนาด 2.5-3.0 นิ้ว เท่านั้น
3) การกองไม้ท่อน 1.5 เดือน จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ เนื่องจากศึกษาเฉพาะไม้ท่อนยูคาลิปตัสที่ตัดพร้อมส่งเข้ากระบวนการผลิต ไม่ผ่านขั้นตอนการกองที่ลานไม้ (Direct load)
4) สิ่งปลอมปน จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ เนื่องจากไม้ท่อนไม่ผ่านขั้นตอนการกองที่ลานไม้ ทำให้ลดโอกาสการคีบสิ่งแปลกปลอมเช่น หิน คอนกรีต เหล็ก ติดมากับไม้ท่อน
5) พนักงานปรับตั้งเครื่องจักร ในการทดลองควบคุมเลือกพนักงานที่มีประสบการณ์และความชำนาญ โดยในทุกการทดลองจะใช้กลุ่มพนักงานปรับตั้งค่าเครื่องจักรชุดเดียวกัน อีกทั้งงานวิจัยมุ่งหวังที่จะได้คู่มือหรือระเบียบปฏิบัติงานสำหรับการผลิตชิ้นไม้สับ เพื่อสามารถนำไปฝึกอบรมพนักงานให้สามารถปรับตั้งเครื่องจักรให้ได้ขนาดชิ้นไม้สับตามต้องการทั้งพนักงานใหม่หรือพนักงานปัจจุบัน

6) ปริมาณความชื้นของไม้ท่อนยูคาลิปตัส จัดเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าว สามารถใช้การกองสต๊อกเพื่อลดค่าความชื้นของไม้ก่อนเข้าผลิตโดยกำหนดอายุการกองไม่เกิน 1.5 เดือนในช่วงฤดูฝน
7) อายุการกองไม้ก่อนเข้าผลิต จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ เนื่องจากการศึกษาเฉพาะไม้ท่อนที่ส่งเข้าโรงงานโดยตรง (Direct Load) ไม่ผ่านการกองไม้ที่ลานกองไม้ของโรงงาน
8) ความพร้อมของเครื่องจักร จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่พิจารณากรณีที่เครื่องจักรเสีย หรือเหตุฉุกเฉินอื่นๆ

สามารถสรุปผลเป็นการจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับขนาดชิ้นไม้สับได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับขนาดชิ้นไม้สับในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ

ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factor)		**ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้** (Uncontrollable Factor)
ปัจจัยที่ปรับค่าได้	**ปัจจัยควบคุมให้คงที่**	
- ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ - ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง - องศาใบมีดชุดสับไม้ - ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้	- ความเร็วชุดป้อนไม้ท่อน - ขนาดไม่ได้มาตรฐาน - ความชื้นของไม้ท่อนยูคาลิปตัส - กองไม้ท่อนเกิน 1.5 เดือน - สิ่งปลอมปน - เทคนิคการปรับส่วนตัว - ขาดประสบการณ์ - ไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนด - เครื่องจักร Break down	

บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนต่อไปที่จะกล่าวถึงในบทนี้ จะทำการคัดเลือกปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่ได้มาตรฐานในการทดลองเบื้องต้น

4.1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากการตัดปัจจัยที่ได้จากการพิจารณาในบทที่ 3 สามารถนำปัจจัยที่มีทั้ง 4 ปัจจัย มาทำการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัย ซึ่งได้ผลดังนี้

1) **ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้** (Debarking drum speed)

พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ สามารถปรับได้ตั้งแต่ 3.5-7.5 รอบต่อนาที ขึ้นอยู่กับปริมาณไม้ที่นำเข้าผลิต การใช้ความเร็วรอบหมุนต่ำเกินไป ทำให้โอกาสการกระแทกของไม้นานขึ้น ทำให้ไม้ท่อนเกิดการแตกหัก และสูญเสียเนื้อไม้ที่ติดไปกับเปลือกไม้มากเกินไป ส่วนการใช้ความเร็วรอบหมุนสูงเกินไป ทำให้เวลาในการแยกเปลือกออกจากไม้น้อยเกินไป ไม้ที่ผ่านการแยกเปลือก จะมีเปลือกไม้ติดไปมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการผลิตชิ้นไม้สับ ที่ไม่ต้องการเปลือกติดไปกับชิ้นไม้สับ ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ความเร็วของเครื่องจักร 3.5 รอบต่อนาที

ระดับ 2 ความเร็วของเครื่องจักร 7.5 รอบต่อนาที

2) **ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง** (Washing roll speed)

พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ สามารถปรับได้ 3 ระดับคือ 1.0 เมตรต่อนาที, 1.2 เมตรต่อนาที และ 1.4 เมตรต่อนาที การใช้ความเร็วต่ำเกินไป จะทำให้การกระจายตัวของไม้ไม่ดี ส่งผลให้ระยะการ

สับของเครื่องสับเบี่ยงเบนไป ส่วนการใช้ความเร็วสูงเกินไป จะทำให้ไม้กระจายตัวกันดีมากกว่าการใช้ความเร็วรอบต่ำ แต่อาจส่งผลกระทบต่อมุมการสับของเครื่องสับ เพราะไม้ท่อนไม่ไหลตามรางบังคับทิศทาง ส่งผลให้ระยะการสับของเครื่องสับเบี่ยงเบนไป ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ความเร็วของเครื่องจักร 1.0 เมตรต่อนาที

ระดับ 2 ความเร็วของเครื่องจักร 1.4 เมตรต่อนาที

3) **องศาใบมีดชุดสับไม้** (Knife angle)

พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ใบมีดที่ใช้จะควบคุมที่ 34-36 องศา เนื่องจากการใช้ใบมีดที่มุมเล็กเกินไปจะทำให้ใบมีดสึกไว เกิดการสิ้นเปลืองใบมีดและต้องหยุดเพื่อเปลี่ยนบ่อย ส่วนการใช้ใบมีดที่มุมใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดปัญหาสับไม้ไม่เข้าเนื่องจากลักษณะการสับเป็นการกระแทกมากกว่าการตัด ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 มุมใบมีด 34 องศา

ระดับ 2 มุมใบมีด 36 องศา

4) **ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้** (Gap of cut)

พิจารณาจากปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ เป็นตัวกำหนดขนาดความยาวของชิ้นไม้สับที่ต้องการสามารถปรับระยะได้ตั้งแต่ 3-5 มิลลิเมตรขึ้นอยู่กับขนาดชิ้นไม้สับที่ต้องการ การตั้งระยะใกล้กันเกินไปจะส่งผลต่อชิ้นไม้สับที่เล็กและโอกาสที่ใบมีดจะสับถูกเขียงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของใบมีด ส่วนการตั้งระยะห่างเกินไป จะทำให้ขนาดชิ้นไม้สับใหญ่เกินไป ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะห่าง 3 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะห่าง 5 มิลลเมตร

จากการพิจารณาข้างต้น สรุประดับของแต่ละปัจจัย ทั้งหมด 4 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ โดยระดับต่ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ (-) และระดับสูง แทนด้วยสัญลักษณ์ (+) จากนั้นทำการแทนแต่ละปัจจัยด้วยอักษรภาษาอังกฤษ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุประดับปัจจัยที่ต้องการทำการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น	**แทน**	**ระดับปัจจัย**		**หน่วย**
		(-) **ต่ำ**	(+) **สูง**	
1. ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้	A	3.5	7.5	รอบต่อนาที
2. ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง	B	1.0	1.4	เมตรต่อนาที
3. องศาใบมีดชุดสับไม้	C	34	36	องศา
4. ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้	D	3	5	มิลลิเมตร

4.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

จากการคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่ามีอิทธิพลสำหรับปัญหาที่น่าสนใจนั้น เพื่อให้สามารถกำหนดค่าปัจจัยที่มีผลต่อของเสียที่เกิดจากการผลิต โดยตัวแปรตอบสนองคือ ขนาดความยาวของชิ้นไม้สับ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งตัวแปรตอบสนองจัดเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data)

4.3 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการทางสถิติ เพื่อให้ทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ดังนี้

แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

1. **วัตถุประสงค์**

   เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อขนาดชิ้นไม้สับออกไป

2. **ข้อมูลพื้นฐาน**

พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานกรณีศึกษาเกิดจากขนาดความยาวของชิ้นไม้สับไม่เป็นไปตามมาตรฐานมากที่สุด

3. **ตัวแปรในการทดลอง**

ตัวแปรตอบสนองคือ ขนาดความยาวของชิ้นไม้สับ

4. **ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง**

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น	**แทน**	**ระดับปัจจัย**		**หน่วย**
		(-) **ต่ำ**	(+) **สูง**	
1. ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้	A	3.5	7.5	รอบต่อนาที
2. ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง	B	1.0	1.4	เมตรต่อนาที
3. องศาใบมีดชุดสับไม้	C	34	36	องศา
4. ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้	D	3	5	มิลลิเมตร

5. **ตัวแปรควบคุม**

ตัวแปรควบคุม	**การควบคุม**
1. ความเร็วชุดป้อนไม้ท่อน	1.0 เมตรต่อนาที
2. ขนาดไม้ท่อนยูคาลิปตัส	เส้นผ่านศูนยกลาง 2.5-3.0 นิ้ว ความยาว 2.5-2.7 เมตร
3. อายุการกองไม้ก่อนเข้าผลิต	ตัดแล้วส่งเข้าผลิตโดยตรง (Direct Load)

6. **การออกแบบการทดลอง**

การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) การทดลอง 16 การทดลอง จำนวน 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง โดยทำการสุ่มลำดับการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การสุ่มตัวอย่างในการทดลองเบื้องต้น

Run	**ลำดับการทดลอง**	Run	**ลำดับการทดลอง**
1	12	17	24
2	18	18	2
3	5	19	23
4	19	20	25
5	21	21	17
6	6	22	31
7	7	23	1
8	30	24	4
9	27	25	20
10	28	26	3
11	10	27	29
12	26	28	15
13	11	29	8
14	13	30	9
15	16	31	22
*16	14	32	32

จากนั้นทำการออกแบบเมตริกซ์การทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เมตริกซ์การออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

ลำดับการทดลอง	**ปัจจัย**			
	A	B	C	D
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
*16	+	+	+	+

หมายเหตุ เครื่องหมาย (-) แทนระดับต่ำของปัจจัย

เครื่องหมาย (+) แทนระดับสูงของปัจจัย

ตัวอย่างการนำข้อมูลจากตารางที่ 4.2 และ 4.3 มาทำการทดลอง ทำการสุ่มการทดลองที่ 16 มีหมายเลขลำดับที่ 14 หมายความว่า จะทำการปรับตั้งค่าระดับปัจจัยก่อนเดินเครื่องดังนี้

1) ปัจจัย A คือ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ ที่ระดับสูง คือ 7.5 รอบต่อนาที
2) ปัจจัย B คือ ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง ที่ระดับสูง คือ 1.4 เมตรต่อนาที
3) ปัจจัย C คือ องศาใบมีดชุดสับไม้ ที่ระดับสูง คือ 36 องศา
4) ปัจจัย D คือ ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ ที่ระดับสูง คือ 5 มิลลิเมตร

สำหรับปัจจัยด้านการปรับเปลี่ยนใบมีดเนื่องจากหมดความคม ในงานวิจัยนี้โรงงานกรณีศึกษามีการเพิ่มความถี่ในการเปลี่ยนใบมีดจากเดิม 2 ครั้งต่อวันเป็น 3 ครั้งต่อวัน จึงมีความเชื่อถือได้ว่าผลของความคมของใบมีดไม่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย จากนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจว่าความแปรปรวนจากการเปลี่ยนใบมีดไม่ส่งอิทธิพลต่อการออกแบบการทดลอง จากนั้นทำการเก็บบันทึกรอบระยะเวลาการหยุดเปลี่ยนใบมีด แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เวลาการเปลี่ยนใบมีดจากการทดลองเบื้องต้น

วันที่	เวลาเปลี่ยน (8:00) (ชั่วโมง)	เวลาเปลี่ยน (16:00) (ชั่วโมง)	เวลาเปลี่ยน (24:00) (ชั่วโมง)	เฉลี่ย (ชั่วโมง)
16-พ.ค.-56	8.02	7.84	8.13	8.00
17-พ.ค.-56	7.54	7.50	7.54	7.53
18-พ.ค.-56	8.30	7.56	7.84	7.90
19-พ.ค.-56	8.11	8.21	7.59	7.97
20-พ.ค.-56	8.32	8.34	8.29	8.32
21-พ.ค.-56	8.21	8.49	8.31	8.34
22-พ.ค.-56	8.20	8.30	8.10	8.20
23-พ.ค.-56	8.28	7.79	8.23	8.10

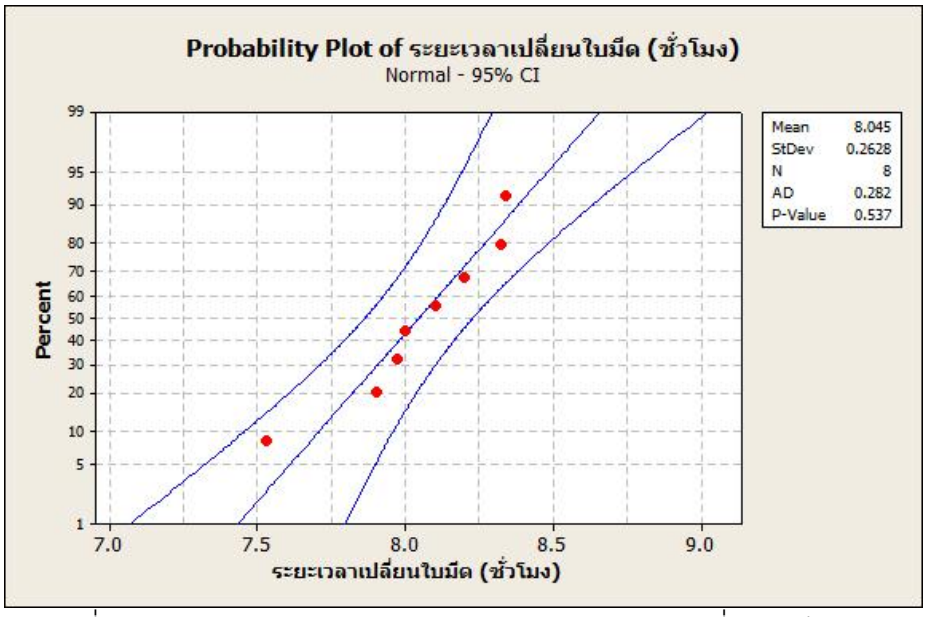
การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

ทำการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) เพื่อทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บตัวอย่าง มีการกระจายตัวเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยในการทดสอบจะใช้โปรแกรม Minitab สำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งจะให้ค่า P-Value โดยทดสอบสมมุติฐานที่ว่า

H_o : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบไม่ปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ข้อมูลของความยาวชิ้นไม้สับมีการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากค่า P-Value > α (0.05) จะสรุปได้ว่าไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธสมมุติฐาน H_o กล่าวคือ ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบความเป็นปกติข้อมูลระยะเวลาการเปลี่ยนใบมีด

จากข้อมูลที่ได้มาทราบว่า ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร และตัวอย่างมีขนาดเล็ก (ไม่ทราบค่า $\sigma 2$ และ n < 30)

ให้ μ แทนระยะเวลาการเปลี่ยนใบมีดที่ 8 ชั่วโมง

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน

H_0 : μ = 8 ชั่วโมง

H_1 : μ $\neq$ 8 ชั่วโมง

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

$$= \frac{8.00+7.53+\ldots+8.10}{8}$$

$$= 8.05$$

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} x^2{}_i - n\bar{x}^2}{n-1}$$

$$= \frac{(8.00)^2+(7.53)^2+\ldots+(8.10)^2}{7}$$

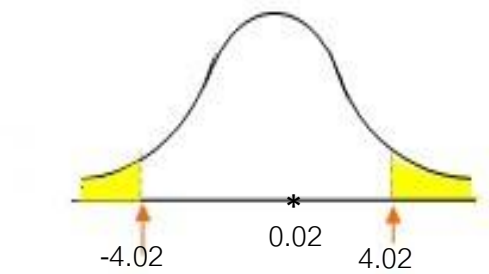
$$= 8.60$$

เนื่องจากการแจกแจงของปริมาณน้ำยาหล่อเย็นเป็นแบบปกติ ไม่ทราบค่า σ^2 และ n < 30 สถิติที่ใช้ทดสอบคือ t โดยที่

$$t = \frac{\bar{X}-\mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

$$= 0.02$$

ขั้นที่ 3 กำหนดระดับนัยสำคัญ α = 0.05



ขั้นที่ 4 กำหนดอาณาเขตวิกฤต

จะปฏิเสธ H_0 ถ้า $t > t_{0.025;7} = 4.02$ หรือ $t < -t_{0.025;7} = -4.02$

ขั้นที่ 5 การสรุปผล

เนื่องจาก $t=0.02<4.02$ ไม่ตกอยู่ในอาณาเขตวิกฤต จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0

ดังนั้น เวลาในการเปลี่ยนใบมีดของโรงงานกรณีศึกษา มีค่าเฉลี่ยเป็น 8 ชั่วโมง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

บทที่ 5
การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนต่อไปที่จะกล่าวถึงในบทนี้ เป็นการนำปัจจัยที่ได้วางแผนไว้ในบทที่ 4 มาทำการทดลองจากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ

5.1 วิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

ทำการทดลอง 16 การทดลอง จำนวน 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ดังตารางที่ 4.3 หลังจากทำการทดลอง ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคเชิงแฟคทอเรียล

ลำดับการทดลอง	ปัจจัย				ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)		
	A	B	C	D	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ยรวม
1	-	-	-	-	32.5	27.32	29.91
2	+	-	-	-	20.33	25.80	23.07
3	-	+	-	-	15.70	20.4	18.05
4	+	+	-	-	22.00	28.30	25.15
5	-	-	+	-	22.30	19.46	20.88
6	+	-	+	-	27.50	17.15	22.33
7	-	+	+	-	27.50	19.54	23.52
8	+	+	+	-	21.40	26.40	23.90

ตารางที่ 5.1(ต่อ) ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคเชิงแฟคทอเรียล

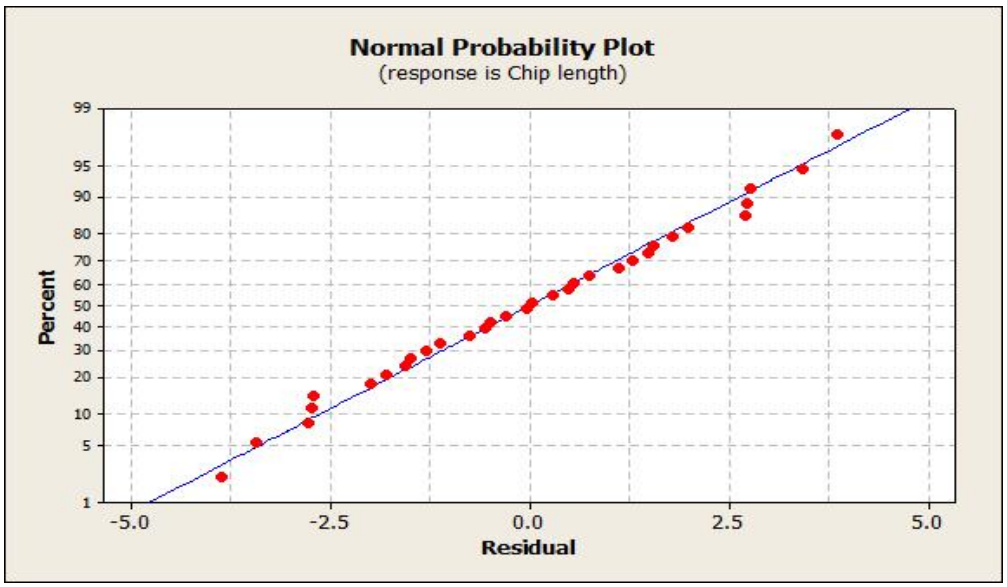
ลำดับการทดลอง	ปัจจัย				ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)		
	A	B	C	D	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ยรวม
9	-	-	-	+	26.30	25.80	26.05
10	+	-	-	+	27.30	26.0	26.65
11	-	+	-	+	29.50	19.67	24.59
12	+	+	-	+	25.70	24.00	24.85
13	-	-	+	+	29.30	20.50	24.90
14	+	-	+	+	32.70	25.20	28.95
15	-	+	+	+	25.20	30.10	27.65
16	+	+	+	+	28.08	28.30	28.19

5.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบความผิดพลาดตามสมมุติฐาน 3 ข้อ ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

1) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล

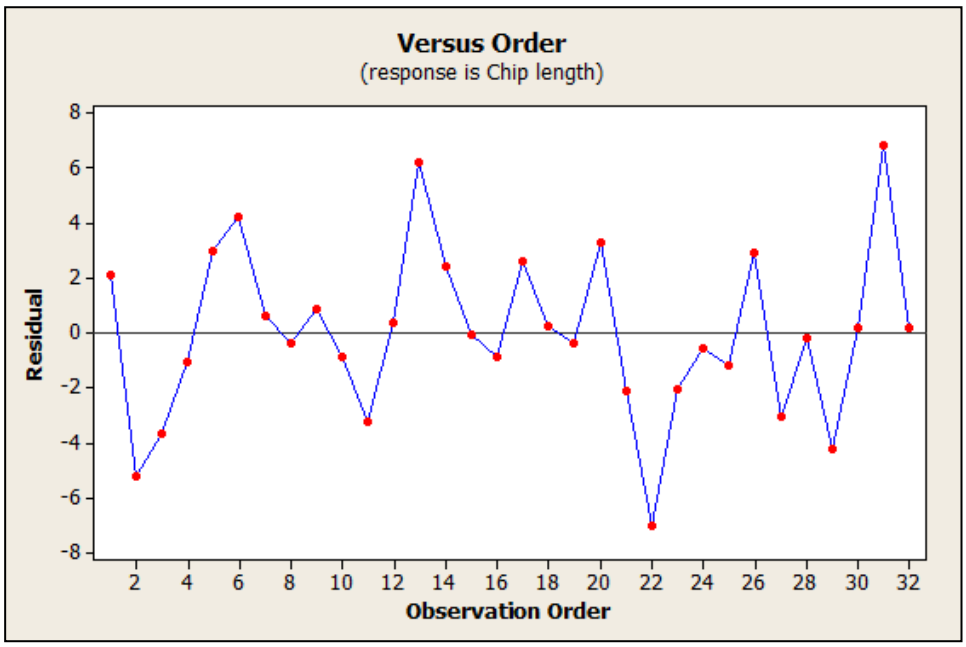
ตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายตัวแบบปกติ กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณากราฟ Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.1 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.1 การทดสอบความเป็นปกติของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

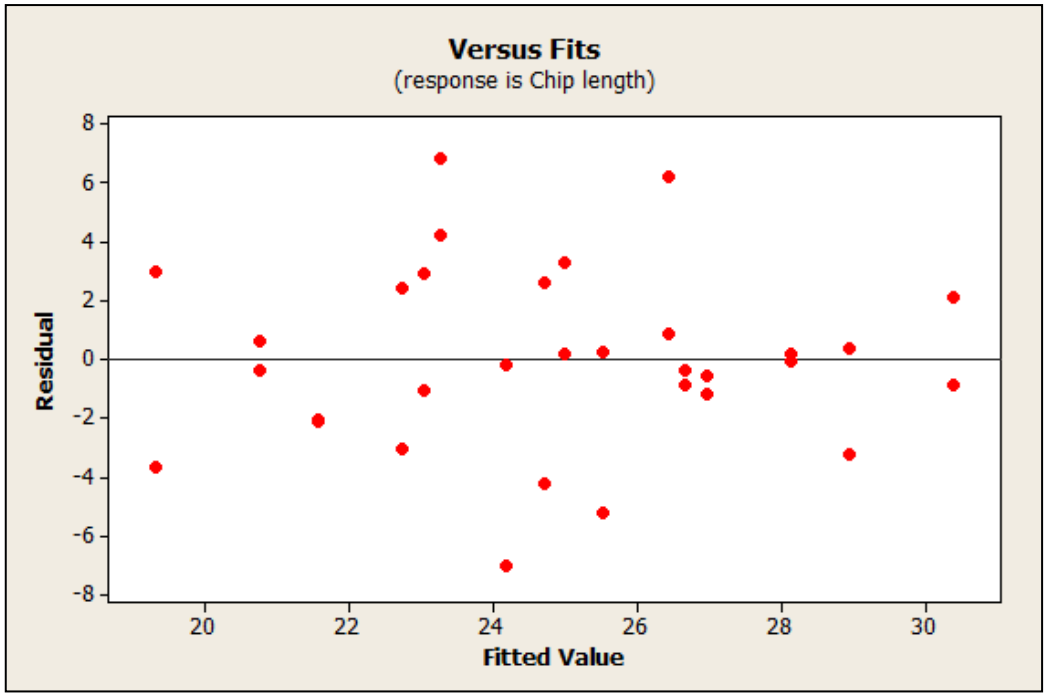
เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.2 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาการทดลอง

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาการทดสอบดังรูปที่ 5.3 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน สรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร

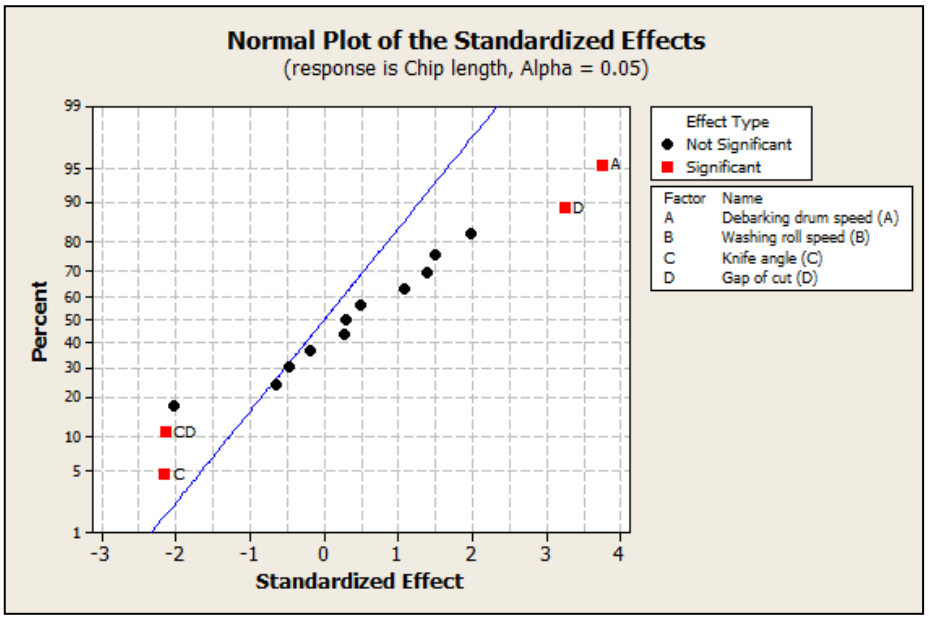


รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนอง

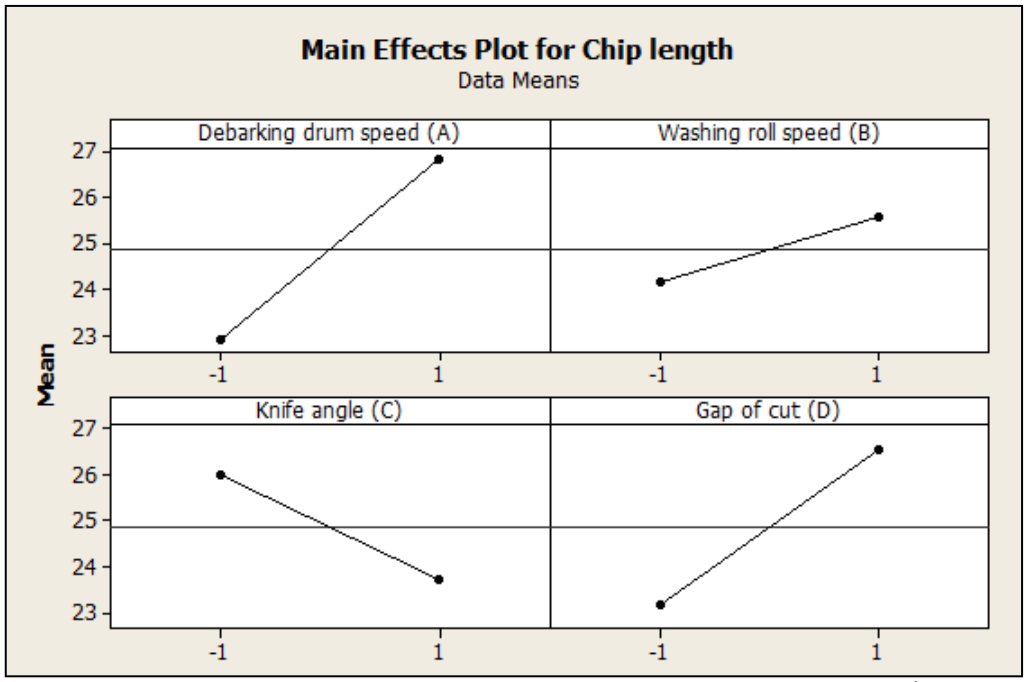
สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) ของตัวแปรตอบสนอง คือ ขนาดความยาวชิ้นไม้สับ พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID $(0,\sigma^2)$ ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้น จึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยต่อค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

จากการพิจารณา Normal Plot of the Effects และแผนภูมิพาเรโต ซึ่งแสดงในรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 สำหรับพิจารณาว่าปัจจัยใดมีนัยสำคัญต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับ นอกจากนี้ได้แสดงผลของปัจจัยหลัก และผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อขนาดชิ้นไม้สับ ดังรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 ตามลำดับ



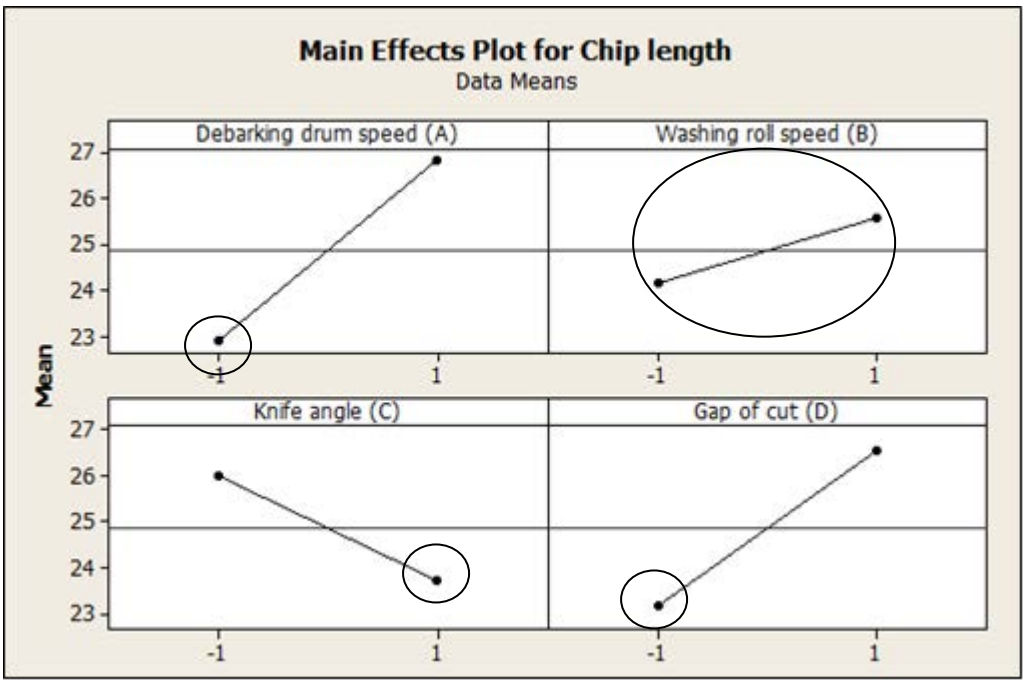
รูปที่ 5.4 Normal Plot of the Effects แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ



รูปที่ 5.5 แผนภูมิพาเรโตแสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ

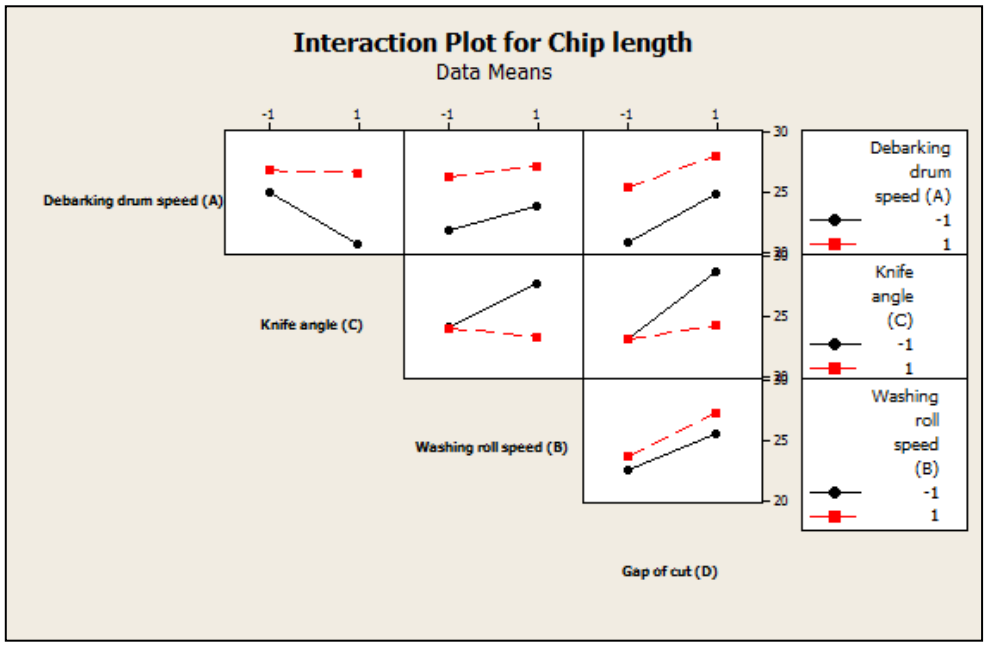
จากรูปที่ 5.4 และ รูปที่ 5.5 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่า ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ (Debarking drum speed) องศาใบมีดชุดสับไม้ (Knife angle) และ ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (Gap of cut) เป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 5.4 อย่างชัดเจนจึงสรุปได้ว่าอันตรกิริยาของทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาอันตรกิริยา (Interaction Effect) พบว่าอันตรกิริยาขององศาใบมีดชุดสับไม้ (Knife angle) กับ ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (Gap of cut) เป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 5.4 อย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าอันตรกิริยาของทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 5.6 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ

จากรูปที่ 5.6 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่าความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียงไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่ายังอยู่ในแนวเส้นตรงจากรูปที่ 5.4 ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าไม่ส่งผลต่อการผลิตชิ้นไม้สับ



รูปที่ 5.7 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ

จากรูปที่ 5.7 เมื่อพิจารณาอันตรกิริยา (Interaction Effect) พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับรูปที่ 5.5 นั่นคืออันตรกิริยาขององศาใบมีดชุดสับไม้ (Knife angle) กับ ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (Gap of cut) ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ

สามารถสรุปผลของการปรับตั้งค่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนขนาดความยาวชิ้นไม้สับ ดังนี้

ตารางที่ 5.2 ผลของปัจจัยหลักต่อค่าเบี่ยงเบนขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

ปัจจัย	ทิศทางการปรับ	ค่าเบี่ยงเบนขนาดชิ้นไม้สับ
ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้	ลด	ลด
องศาใบมีดชุดสับไม้	เพิ่ม	ลด
ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้	ลด	ลด

ยกตัวอย่างการตั้งค่าปัจจัยความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้มีทิศทางการปรับใช้ความเร็วรอบที่ต่ำ เพื่อลดค่าเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับไม่ให้เกิดของเสียจากการผลิต

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับเบื้องต้น

Source	Sum of Square	DF	Mean Square	F	P
A	123.69	1	123.69	11.45	0.002
B	16.75	1	16.75	1.55	0.224
C	40.75	1	40.75	3.77	0.063
D	92.64	1	92.64	8.58	0.007
Error	291.60	27	10.80		
Total	565.44	31			

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้

สัญลักษณ์ B หมายถึง ความเร็วชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง

สัญลักษณ์ C หมายถึง องศาใบมีดชุดสับไม้

สัญลักษณ์ D หมายถึง ระยะเขียงกับหมอนชุดสับไม้

จากตารางที่ 5.3 พิจารณาค่า P-value พบว่า มีเพียง ความเร็วชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียงเท่านั้นที่ไม่ส่งผลต่อค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการออกแบบการทดลองโดยละเว้น ความเร็วชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียงเป็นปัจจัยควบคุม

5.2 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่นำมาทำการทดลองมี 3 ปัจจัยคือพบว่า

1) ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้
2) องศาใบมีดชุดสับไม้
3) องศาใบมีดชุดสับไม้

โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้แผนการออกแบบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอก โดยมีตัวแปรตอบสนองคือค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ และสัดส่วนของเสียโดยรวม สรุปแผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมดังนี้

แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

1. **วัตถุประสงค์**

เพื่อหาสภาวะในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ และลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ

2. **ข้อมูลพื้นฐาน**

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองเบื้องต้น

3. **ตัวแปรในการทดลอง**

ตัวแปรตอบสนองคือ ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ และสัดส่วนของเสียโดยรวม

4. **ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง**

ปัจจัยใช้ในการทดลองเบื้องต้น	ระดับปัจจัย		
	(-) ต่ำ	(0) กลาง	(+) สูง
1. ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ (รอบต่อนาที)	3.5	5.5	7.5
2. องศาใบมีดชุดสับไม้ (องศา)	34	35	36
3. ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (มิลลิเมตร)	3	4	5

5. **ตัวแปรควบคุม**

ตัวแปรควบคุม	การควบคุม
1. ความเร็วชุดป้อนไม้ท่อน	1 เมตรต่อนาที
2. ขนาดไม้ท่อนยูคาลิปตัส	เส้นผ่านศูนยกลาง 2.5-3.0 นิ้ว ความยาว 2.5-2.7 เมตร
3. อายุการกองไม้ก่อนเข้าผลิต	ตัดแล้วส่งเข้าผลิตโดยตรง (Direct Load)
4. ความเร็วชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง	1.2 เมตรต่อนาที

6. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) การทดลอง 27 การทดลอง จำนวน 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จำนวนการทดลองทั้งหมด 54 การทดลอง ทำการออกแบบเมตริกซ์การออกแบบการทดลองและทำการสุ่มลำดับการทดลอง แสดงดังตารางที่ 5.4 และตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.4 เมตริกซ์การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

A	C								
	-			0			+		
	D			D			D		
	-	0	+	-	0	+	-	0	+
-	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
+	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	46	47	48	49	50	51	52	53	54

เครื่องหมาย (-) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับต่ำ

เครื่องหมาย (0) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับกลาง

เครื่องหมาย (+) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับสูง

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้

สัญลักษณ์ C หมายถึง องศาใบมีดชุดสับไม้

สัญลักษณ์ D หมายถึง ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้

ตารางที่ 5.5 การสุ่มตัวอย่างในการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ลำดับการทดลอง	การทดลอง
1	13	21	38	41	26
2	37	22	46	42	39
3	14	23	9	43	45
4	1	24	42	44	7
5	41	25	10	45	50
6	12	26	15	46	40
7	21	27	22	47	19
8	35	28	2	48	8
9	32	29	11	49	47
10	36	30	23	50	24
11	6	31	27	51	34
12	20	32	25	52	33
13	44	33	3	53	51
14	5	34	31	54	18
15	30	35	17		
16	54	36	48		
17	29	37	4		
18	53	38	28		
19	49	39	52		
20	43	40	16		

5.3 การวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการหาระดับที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

จากการดำเนินการทดลอง โดยปัจจัยที่ทำการทดลองได้แก่ ของเครื่องจักรชุดคัดแยกเปลือกไม้ องศาใบมีดชุดสับไม้ ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.6

ตาราง 5.6 ค่าเฉลี่ยค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)
		ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ (รอบต่อนาที)	องศาใบมีดของชุดสับไม้ (องศา)	ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ (มิลลิเมตร)	
1	13	5.5	35	3	25.6
2	37	5.5	34	3	19.8
3	14	5.5	35	4	28.2
4	1	3.5	34	3	24.6
5	41	5.5	35	4	21.8
6	12	5.5	34	3	28.8
7	21	7.5	34	5	21.8
8	35	3.5	36	4	24.3

ตาราง 5.6 ค่าเฉลี่ยค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)
		ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ (รอบต่อนาที)	องศาใบมีดชุดสับไม้ (องศา)	ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (มิลลิเมตร)	
9	32	3.5	35	4	26.6
10	36	3.5	36	5	23.0
11	6	3.5	34	5	29.1
12	20	7.5	34	4	24.6
13	44	5.5	36	4	28.2
14	5	3.5	35	4	26.9
15	30	3.5	34	5	25.3
16	54	7.5	36	5	28.8
17	29	3.5	34	4	27.5
18	53	7.5	36	4	28.2
19	49	7.5	35	3	29.1
20	43	3.5	36	3	22.7
21	38	5.5	34	4	27.5
22	46	7.5	34	3	27.8
23	9	3.5	36	5	29.8
24	42	5.5	35	5	26.2

ตาราง 5.6 ค่าเฉลี่ยค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)
		ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ (รอบต่อนาที)	องศาใบมีดชุดสับไม้ (องศา)	ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (มิลลิเมตร)	
25	10	5.5	34	3	28.8
26	15	5.5	35	5	29.4
27	22	7.5	35	3	27.5
28	2	3.5	34	3	29.8
29	11	5.5	34	4	24.3
30	23	7.5	35	4	27.8
31	27	7.5	36	5	25.9
32	25	7.5	36	3	26.2
33	3	3.5	34	5	28.5
34	31	3.5	35	4	27.5
35	17	5.5	36	4	27.8
36	48	7.5	34	5	28.2
37	4	3.5	35	3	25.6
38	28	3.5	34	3	25.9
39	52	7.5	36	5	28.8
40	16	5.5	36	3	26.2
41	26	7.5	36	4	27.8

ตาราง 5.6 ค่าเฉลี่ยค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

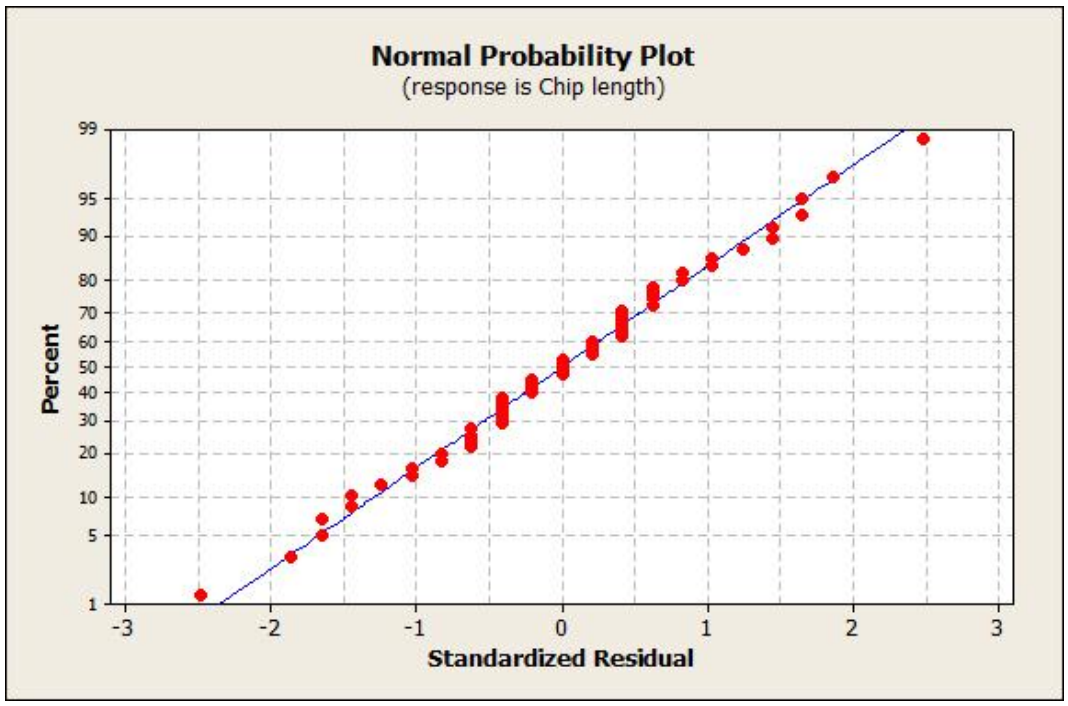
ลำดับการทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)
		ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ (รอบต่อนาที)	องศาใบมีดชุดสับไม้ (องศา)	ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ (มิลลิเมตร)	
42	39	5.5	34	5	29.1
43	45	5.5	36	5	27.8
44	7	3.5	36	3	24.3
45	50	7.5	35	4	23.7
46	40	5.5	35	3	28.8
47	19	7.5	34	3	28.2
48	8	3.5	36	3	29.4
49	47	7.5	34	4	25.0
50	24	7.5	35	5	25.0
51	34	3.5	36	3	27.2
52	33	3.5	35	5	18.9
53	51	7.5	35	5	28.8
54	18	5.5	36	5	26.6

5.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบความผิดพลาดตามสมมุติฐาน 3 ข้อ ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนดังนี้

1) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล

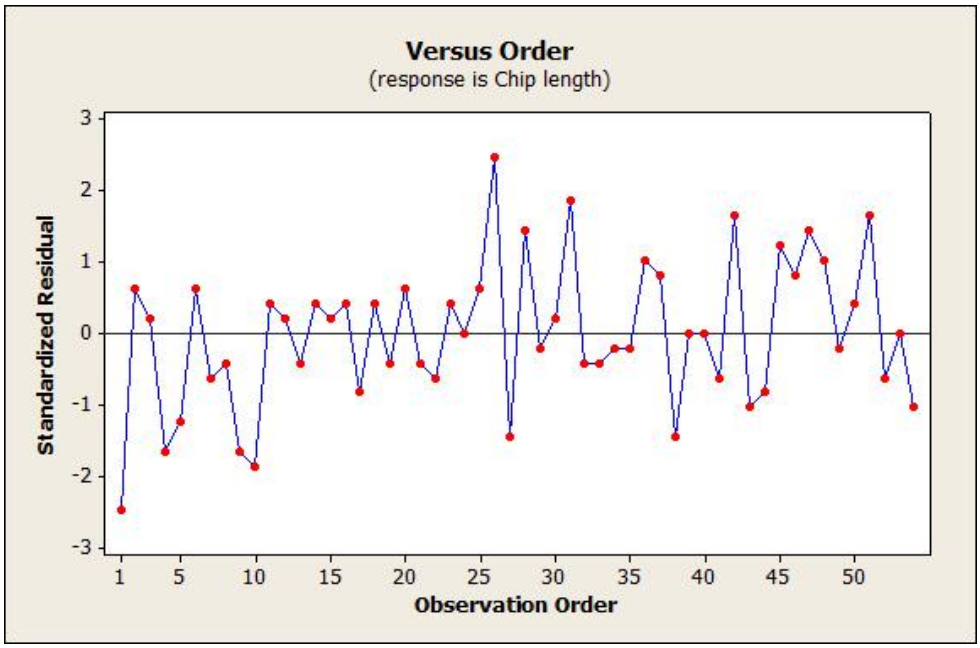
ตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายตัวแบบปกติ กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อพิจารณากราฟ Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.8 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.8 การทดสอบความเป็นปกติของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

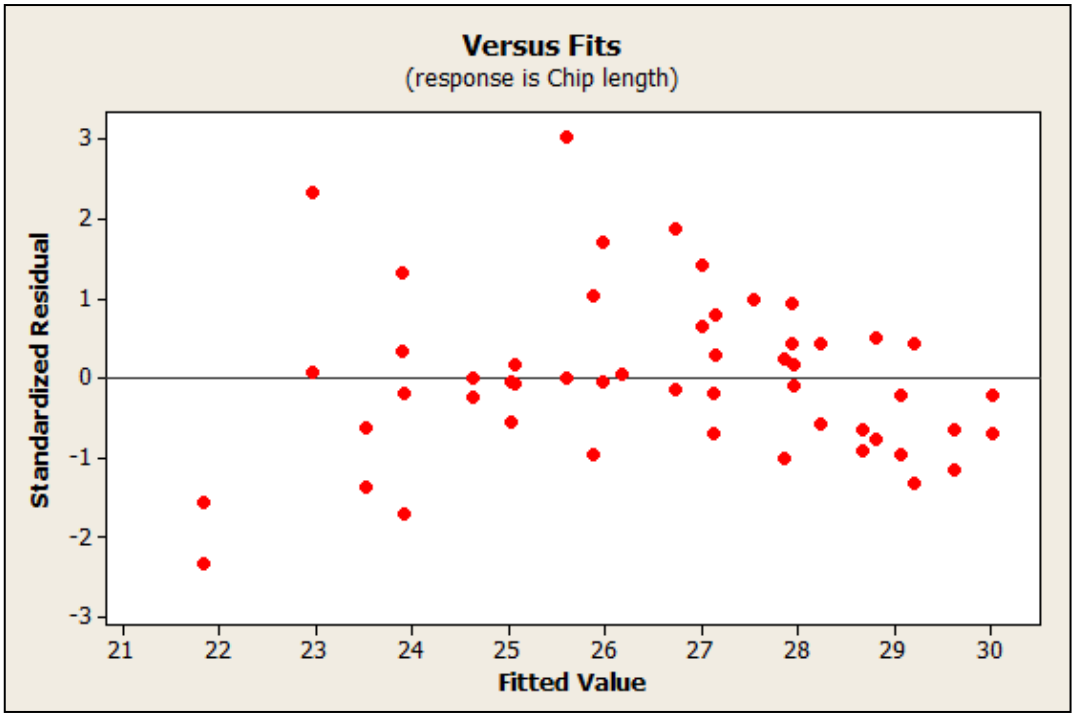
เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.9 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาการทดลอง

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาการทดสอบดังรูปที่ 5.10 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน สรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนอง

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) ของตัวแปรตอบสนอง คือ ขนาดความยาวชิ้นไม้สับ พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID $(0,\sigma^2)$ ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้น จึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้ว จะทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรด้วยโปรแกรม Minitab วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ANOVA) แสดงดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

Source	Sum of Square	DF	Mean Square	F	P
A	163.851	2	81.926	68.25	0.000
C	39.014	2	19.507	16.25	0.000
D	43.190	2	21.595	17.99	0.000
A*C	13.130	4	3.282	2.73	0.050
A*D	8.818	4	2.204	1.84	0.151
C*D	14.529	4	3.632	3.03	0.035
A*C*D	18.557	8	2.320	1.93	0.096
Error	32.410	27	1.200		
Total	333.500	53			

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้

สัญลักษณ์ C หมายถึง องศาใบมีดชุดสับไม้

สัญลักษณ์ D หมายถึง ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้

จากตารางที่ 5.5 สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

H_0 : Main Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับ

H_1 : Main Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับ

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effect ในตารางที่ 5.5 สรุปผลได้ดังนี้

- ค่า F วิกฤติ ของ A เท่ากับ 3.35 ($f_{0.05\ ,\ 2,27}$)
- ค่า F วิกฤติ ของ C เท่ากับ 3.35 ($f_{0.05\ ,\ 2,27}$)
- ค่า F วิกฤติ ของ D เท่ากับ 3.35 ($f_{0.05\ ,\ 2,27}$)

1) Main Effect A มีค่า F เท่ากับ 68.25 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 นั่นคือ ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) Main Effect C มีค่า F เท่ากับ 16.25 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 นั่นคือ องศาใบมีดของชุดสับไม้ มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) Main Effect D มีค่า F เท่ากับ 17.99 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 นั่นคือ ระยะเขียงกับหมดรองของชุดสับไม้ มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

การทดสอบสมมติฐานของอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

H_0 : Interaction Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับ

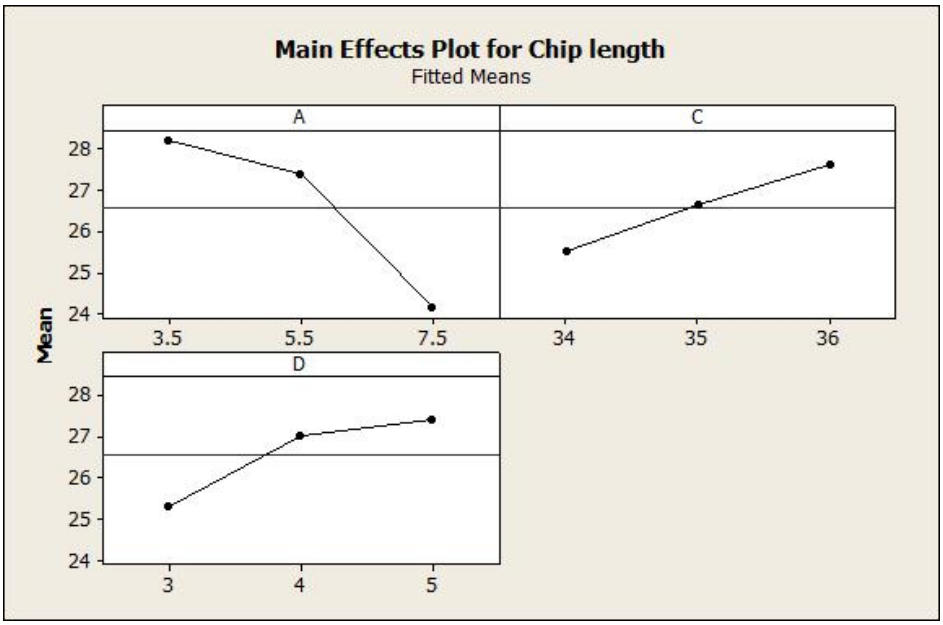
H_1 : Interaction Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับ

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effect ในตารางที่ 5.5 สรุปผลได้ดังนี้

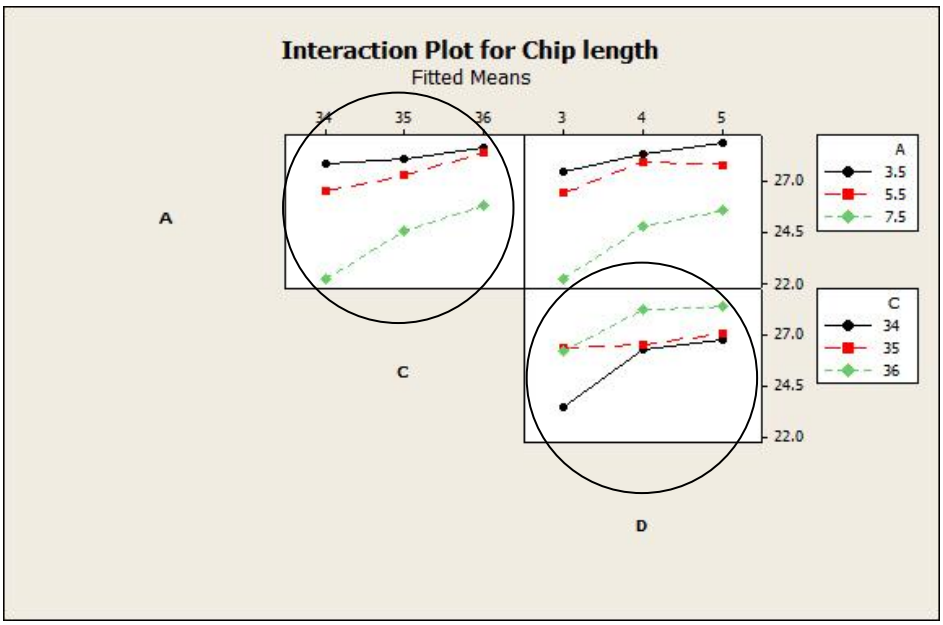
- ค่า F วิกฤติ ของ A*C เท่ากับ 2.73 ($f_{0.05\ ,\ 4,27}$)
- ค่า F วิกฤติ ของ A*D เท่ากับ 2.73 ($f_{0.05\ ,\ 4,27}$)
- ค่า F วิกฤติ ของ C*D เท่ากับ 2.73 ($f_{0.05\ ,\ 4,27}$)
- ค่า F วิกฤติ ของ A*C*D เท่ากับ 2.31 ($f_{0.05\ ,\ 8,27}$)

1) Interaction Effect A*C มีค่า F เท่ากับ 2.73 ซึ่งเท่ากับค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้กับองศาใบมีดของชุดสับไม้ มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) Interaction Effect A*D มีค่า F เท่ากับ 1.84 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้กับระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) Interaction Effect C*D มีค่า F เท่ากับ 3.03 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้กับระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
4) Interaction Effect A*C*D มีค่า F เท่ากับ 1.93 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้กับองศาใบมีดของชุดสับไม้กับระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนความยาวชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

นอกจากนี้ได้แสดงผลของปัจจัยหลัก และผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อขนาดชิ้นไม้สับ ดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 ผลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ



รูปที่ 5.12 อันตรกิริยาของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นไม้สับ

แต่เนื่องจากมีผลของอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ (A) กับองศาใบมีดของชุดสับไม้ (C) และอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้ (C) กับ

ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ (D) ซึ่งจะใช้วิธีการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน (Duncan's Multiple Range Test) เพื่อทราบลักษณะความสัมพันธ์ของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีต่อกัน

5.3.4 การทดสอบพหุพิสัยของดันแคนค่าความเบี่ยงเบนของค่าความยาวชิ้นไม้สับ

ทำการทดสอบความสัมพันธ์ของอันตรกริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ และอันตรกริยาปัจจัยร่วมระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ ที่แต่ละระดับปัจจัยว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ดังนี้

1) การทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้

1.1) การเปรียบเทียบความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ระดับสูงที่ 7.5 รอบต่อนาที

a) เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่างๆจากน้อยไปหามาก

$$\bar{y}_{1\cdot} = \frac{(21.8+24.6+27.8+28.2+28.2+25.0)}{6} = 25.93 \quad (1)$$

$$\bar{y}_{2\cdot} = \frac{(29.1+27.5+27.8+23.7+25.0+28.8)}{6} = 26.98 \quad (2)$$

$$\bar{y}_{3\cdot} = \frac{(28.2+25.9+26.2+28.8+27.8+28.8)}{6} = 27.62 \quad (3)$$

b) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยนำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วชุดแยกเปลือกไม้สัมพันธ์กับองศาใบมีดของชุดสับไม้ทั้งสามระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.6 นำค่า MS_E = 1.200, N = 54, n = 6 มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (Standard Error) ดังต่อไปนี้

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{1.200}{6}}$$

$$= 0.4472$$

c) คำนวณหาค่าช่วงวิกฤติ Least Significant Range จากตารางพิสัยนัยสำคัญของ Duncan (Duncan's Table of Significant Ranges) โดยการคำนวณ $R_p = r_\alpha(p,f) S_{\bar{y}_{i\cdot}}$

$$R_{0.05(2,\ 27)} = 2.91 \text{ และ } R_{0.05(3,\ 27)} = 3.06$$

$$R_2 = (2.91)(0.4472) = 1.3014$$

$$R_3 = (3.06)(0.4472) = 1.3684$$

d) ทำการเปรียบเทียบรายคู่ ดังต่อไปนี้

(3) คู่กับ (1): 27.62-25.93 = 1.67 > 1.3684 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับสูง กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับสูงให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับแตกต่างกัน

(3) คู่กับ (2): 27.62-26.98 = 0.64 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับสูง กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับกลางให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(2) คู่กับ (1): 26.98-25.93 = 1.05 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับสูง กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

1.2) การเปรียบเทียบความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ระดับกลางที่ 5.5 รอบต่อนาที

a) เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่างๆจากน้อยไปหามาก

$$\bar{y}_{1\cdot} = \frac{(19.8+28.8+27.5+28.8+24.3+29.4)}{6} = 26.43 \quad (4)$$

$$\bar{y}_{2\cdot} = \frac{(25.6+28.2+21.8+26.2+29.2+28.8)}{6} = 26.63 \quad (5)$$

$$\bar{y}_{3.} = \frac{(24.3+28.2+27.8+26.2+27.8+26.6)}{6} = 26.82 \quad (6)$$

b) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยนำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วชุดแยกเปลือกไม้สัมพันธ์กับองศาใบมีดของชุดสับไม้ทั้งสามระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.6 นำค่า MS_E = 1.200, N = 54, n = 6 มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (Standard Error) ดังต่อไปนี้

$$S_{\bar{y}_{i.}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_{i.}} = \sqrt{\frac{1.200}{6}}$$

$$= 0.4472$$

c) คำนวณหาค่าช่วงวิกฤติ Least Significant Range จากตารางพิสัยนัยสำคัญของ Duncan (Duncan's Table of Significant Ranges)

$R_{0.05(2,\ 27)}$ = 2.91 และ $R_{0.05(3,\ 27)}$ = 3.06

R_2 = (2.91)(0.4472) = 1.3014

R_3 = (3.06)(0.4472) = 1.3684

d) ทำการเปรียบเทียบรายคู่ ดังต่อไปนี้

(6) คู่กับ (4): 26.82-26.43 = 0.39 < 1.3684 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับกลาง กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับสูงให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(6) คู่กับ (5): 26.82-26.63 = 0.19 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับกลาง กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับกลางให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(5) คู่กับ (4): 26.63-26.43 = 0.20 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับกลาง กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

1.3) การเปรียบเทียบความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ระดับต่ำที่ 3.5 รอบต่อนาที

a) เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่างๆจากน้อยไปหามาก

$$\bar{y}_{1\cdot} = \frac{(24.6+27.5+29.8+28.5+25.9+25.3)}{6} = 26.93 \quad (7)$$

$$\bar{y}_{2\cdot} = \frac{(26.6+29.1+26.9+27.5+25.6+18.9)}{6} = 25.77 \quad (8)$$

$$\bar{y}_{3\cdot} = \frac{(24.3+23.0+29.8+24.3+29.4+27.2)}{6} = 26.33 \quad (9)$$

b) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยนำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วชุดแยกเปลือกไม้สัมพันธ์กับองศาใบมีดของชุดสับไม้ทั้งสามระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.6 นำค่า MS_E = 1.200, N = 54, n = 6 มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (Standard Error) ดังต่อไปนี้

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{1.200}{6}}$$

$$= 0.4472$$

c) คำนวณหาค่าช่วงวิกฤติ Least Significant Range จากตารางพิสัยนัยสำคัญของ Duncan (Duncan's Table of Significant Ranges)

$R_{0.05(2,\ 27)}$ = 2.91 และ $R_{0.05(3,\ 27)}$ = 3.06

R_2 = (2.91)(0.4472) = 1.3014

R_3 = (3.06)(0.4472) = 1.3684

d) ทำการเปรียบเทียบรายคู่ ดังต่อไปนี้

(9) คู่กับ (7): 26.33-26.93 = 0.60 < 1.3684 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับต่ำ กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับสูงให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

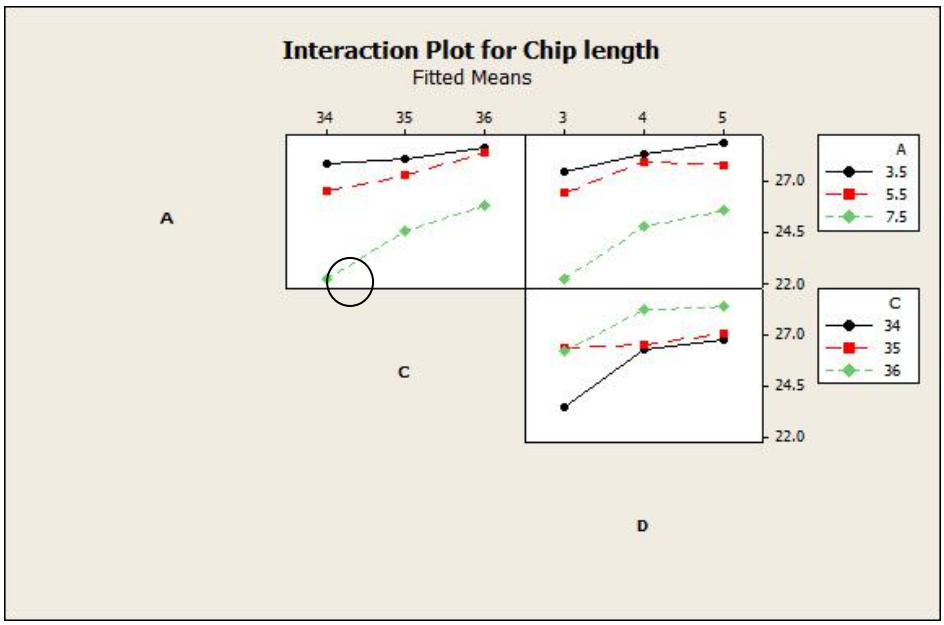
(9) คู่กับ (8): 26.33-25.77 = 0.56 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับต่ำ กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับกลางให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(8) คู่กับ (7): 25.77-26.93 = -1.66 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับต่ำ กับ องศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

รูปที่ 5.13 พบว่าปัจจัยความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับสูง 7.5 รอบต่อนาที และปัจจัยองศาใบมีดของชุดสับไม้ ที่ระดับต่ำ 34 องศา จะทำให้ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับเบี่ยงเบนน้อยที่สุด



รูปที่ 5.13 ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้และองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่มีผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

2) การทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้

2.1) การเปรียบเทียบองศาใบมีดของชุดสับไม้ระดับสูงที่ 36 องศา

a) เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่างๆจากน้อยไปหามาก

$$\bar{y}_{1\cdot} = \frac{(24.3+27.2+26.2+22.7+26.2+28.8)}{6} = 25.90 \quad (10)$$

$$\bar{y}_{2\cdot} = \frac{(29.4+24.3+27.8+28.2+27.8+28.2)}{6} = 27.61 \quad (11)$$

$$\bar{y}_{3\cdot} = \frac{(29.8+23.0+26.6+27.8+25.9+28.8)}{6} = 26.98 \quad (12)$$

b) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยนำค่าผลตอบสนองจากการทดลองระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ทั้งสามระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.6 นำค่า MS_E = 1.200, N = 54, n = 6 มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (Standard Error) ดังต่อไปนี้

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{1.200}{6}}$$

$$= 0.4472$$

c) คำนวณหาค่าช่วงวิกฤติ Least Significant Range จากตารางพิสัยนัยสำคัญของ Duncan (Duncan's Table of Significant Ranges)

$R_{0.05(2,\ 27)} = 2.91$ และ $R_{0.05(3,\ 27)} = 3.06$

$R_2 = (2.91)(0.4472) = 1.3014$

$R_3 = (3.06)(0.4472) = 1.3684$

d) ทำการเปรียบเทียบรายคู่ ดังต่อไปนี้

(12) คู่กับ (10): 26.98-25.90 = 1.08 < 1.3684 (R_3)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับสูง กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับสูงให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(12) คู่กับ (11): 26.98-27.61 = -0.63 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับสูง กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับกลางให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(11) คู่กับ (10): 27.61-25.90 = 1.71 > 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับสูง กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับต่ำให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับแตกต่างกัน

2.2) การเปรียบเทียบองศาใบมีดของชุดสับไม้ระดับกลางที่ 35 องศา

a) เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่างๆจากน้อยไปหามาก

$$\bar{y}_{1\cdot} = \frac{(25.6+27.5+25.6+28.8+27.5+29.1)}{6} = 27.35 \quad (13)$$

$$\bar{y}_{2\cdot} = \frac{(26.9+26.6+28.2+21.8+27.8+23.7)}{6} = 25.83 \quad (14)$$

$$\bar{y}_{3\cdot} = \frac{(29.1+18.9+29.4+26.2+25.0+28.8)}{6} = 26.23 \quad (15)$$

b) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยนำค่าผลตอบสนองจากการทดลองระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ทั้งสามระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.6 นำค่า MS_E = 1.200, N = 54, n = 6 มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (Standard Error) ดังต่อไปนี้

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{1.200}{6}}$$

$$= 0.4472$$

c) คำนวณหาค่าช่วงวิกฤติ Least Significant Range จากตารางพิสัยนัยสำคัญของ Duncan (Duncan's Table of Significant Ranges)

$$R_{0.05(2,\ 27)} = 2.91 \text{ และ } R_{0.05(3,\ 27)} = 3.06$$

$$R_2 = (2.91)(0.4472) = 1.3014$$

$$R_3 = (3.06)(0.4472) = 1.3684$$

d) ทำการเปรียบเทียบรายคู่ ดังต่อไปนี้

(15) คู่กับ (13): 26.23-27.35 = -1.12 < 1.3684 (R_3)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับกลาง กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับสูงให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(15) คู่กับ (14): 26.23-25.83 = 0.40 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับกลาง กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับกลางให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(14) คู่กับ (13): 25.83-27.35 = -1.52 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับกลาง กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับต่ำให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

2.3) การเปรียบเทียบองศาใบมีดของชุดสับไม้ระดับต่ำที่ 34 องศา

a) เรียงลำดับค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ต่างๆจากน้อยไปหามาก

$$\bar{y}_{1\cdot} = \frac{(24.6+25.9+28.8+19.8+28.2+27.8)}{6} = 25.85 \quad (16)$$

$$\bar{y}_{2\cdot} = \frac{(29.8+27.5+24.3+27.5+24.6+25.0)}{6} = 26.45 \quad (17)$$

$$\bar{y}_{3\cdot} = \frac{(28.5+25.3+28.8+29.1+21.8+28.2)}{6} = 26.95 \quad (18)$$

b) คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยนำค่าผลตอบสนองจากการทดลองระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ทั้งสามระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.6 นำค่า MS_E = 1.200, N = 54, n = 6 มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ (Standard Error) ดังต่อไปนี้

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{MSE}{n}}$$

$$S_{\bar{y}_{i\cdot}} = \sqrt{\frac{1.200}{6}}$$

$$= 0.4472$$

c) คำนวณหาค่าช่วงวิกฤติ Least Significant Range จากตารางพิสัยนัยสำคัญของ Duncan (Duncan's Table of Significant Ranges)

$R_{0.05(2,\ 27)}$ = 2.91 และ $R_{0.05(3,\ 27)}$ = 3.06

R_2 = (2.91)(0.4472) = 1.3014

R_3 = (3.06)(0.4472) = 1.3684

d) ทำการเปรียบเทียบรายคู่ ดังต่อไปนี้

(18) คู่กับ (16): 26.95-25.85 = 1.10 < 1.3684 (R_3)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับสูงให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

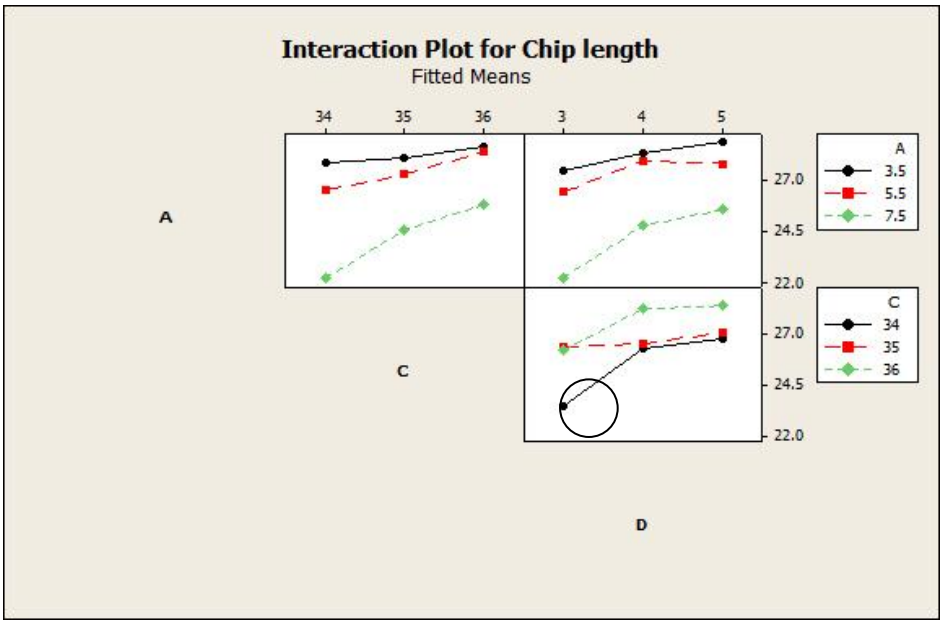
(18) คู่กับ (17): 26.95-26.45 = 0.50 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับกลางให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

(17) คู่กับ (16): 26.45-25.85 = 0.60 < 1.3014 (R_2)

สรุปได้ว่าองศาใบมีดของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำ กับ ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ระดับต่ำ ให้ผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับไม่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 5.14 พบว่าปัจจัยองศาใบมีดของชุดสับไม้ ที่ระดับต่ำ 34 องศา และระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำ 3 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับเบี่ยงเบนน้อยที่สุด



รูปที่ 5.14 ปัจจัยร่วมระหว่างองศาใบมีดของชุดสับไม้และระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับที่มีผลต่อขนาดความยาวชิ้นไม้สับ

ผลการออกแบบการทดลอง 3^3 Full Factorial Design สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1) ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ ที่ 7.5 รอบต่อนาที ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับสูง จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของค่าความยาวชิ้นไม้สับน้อยที่สุด
2) องศาใบมีดของชุดสับไม้ ที่ 34 องศา ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของค่าความยาวชิ้นไม้สับน้อยที่สุด
3) ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ ที่ 3 มิลลิเมตร จะทำให้มีค่าเบี่ยงเบนของค่าความยาวชิ้นไม้สับน้อยที่สุด

4) ปัจจัยความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับสูง 7.5 รอบต่อนาที และปัจจัยองศาใบมีดของชุดสับไม้ ที่ระดับต่ำ 34 องศา จะทำให้ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับเบี่ยงเบนน้อยที่สุด
5) ปัจจัยองศาใบมีดของชุดสับไม้ ที่ระดับต่ำ 34 องศา และระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ที่ระดับต่ำ 3 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับเบี่ยงเบนน้อยที่สุด

ตารางที่ 5.8 ผลของปัจจัยหลักต่อค่าเบี่ยงเบนขนาดชิ้นไม้สับ

ปัจจัย	ทิศทางการปรับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ (A)	สูง (+)	7.5	รอบต่อนาที
องศาใบมีดของชุดสับไม้ (C)	ต่ำ (-)	34	องศา
ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้ (D)	ต่ำ (-)	3	มิลลิเมตร

5.4 การทดสอบผลิตจริงเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองโดยนำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ องศาใบมีดของชุดสับไม้ และระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ ทำการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าตามที่ได้กำหนดไว้ ดังตารางที่ 5.6 เพื่อตรวจสอบว่าค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับมีความเบี่ยงเบนลดลง และความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) หลังปรับปรุงอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่

1) จุดประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อหาสภาวะในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ และลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นไม้สับ

2) การเตรียมการทดลอง

ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิตโดยการนำ 3 ปัจจัย คือ ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ องศาใบมีดของชุดสับไม้ และระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ ทำการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งการทดสอบยืนยันใช้พนักงานทีมเดียวกันกับพนักงานที่ใช้ในขั้นตอนการปรับปรุง

3) ขั้นตอนในการทดลอง

เก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียและค่าขนาดของชิ้นไม้สับจากกระบวนการผลิต และบันทึกผล จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองที่ได้ มาวิเคราะห์ผลการทดลอง

4) ผลการทดลอง

ผลลัพธ์จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่าง 3 ช่วงเวลา ดังนี้

4.1) ก่อนการปรับปรุง เป็นข้อมูลระหว่างวันที่ ระหว่างเดือนมกราคม-มิถุนายน 2555 ซึ่งมีของเสียจากการผลิตคิดเป็น 5.74% แสดงข้อมูลในตารางที่ 1.3 บทที่ 1

4.2) ระหว่างการทดลอง เป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 1พฤษภาคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2556 ของเสียจากการผลิตคิดเป็น 3.02% แสดงข้อมูลในตารางที่ 5.9

4.3) หลังการปรับปรุง เป็นข้อมูลระหว่างวันที่ 3 มิถุนายน พ.ศ.2556 ถึงวันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2556 ซึ่งกำหนดค่าพารามิเตอร์ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้ มีค่า 7.5 รอบต่อนาที องศาใบมีดชุดสับไม้ มีค่า 34 องศา และระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ มีค่า 3 มิลลิเมตร ของเสียจากการผลิตคิดเป็น 2.79% แสดงข้อมูลในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 สัดส่วนของเสีย และค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับระหว่างการทดลอง

วันที่	ปริมาณผลิต (Ton)	ปริมาณของเสียรวม (Ton)	สัดส่วนของเสีย (PPM)	ค่าเฉลี่ยขนาดชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)
1-พ.ค.-56	2547	76	29,839	25.7
2-พ.ค.-56	3013	64	21,241	27.3
3-พ.ค.-56	2352	67	28,486	25.7
4-พ.ค.-56	2426	78	32,152	24.6
5-พ.ค.-56	2680	92	34,328	27.3
6-พ.ค.-56	2675	67	25,047	28.5
7-พ.ค.-56	3256	64	19,656	19.4
8-พ.ค.-56	3324	86	25,872	21.6
9-พ.ค.-56	3274	164	20,464	31.6
10-พ.ค.-56	3467	63	18,171	24.6
11-พ.ค.-56	2563	74	28,872	25.7
12-พ.ค.-56	2642	95	17,790	28.6
13-พ.ค.-56	2753	58	27,243	29.3
14-พ.ค.-56	2352	105	31,888	23.5
15-พ.ค.-56	2642	89	33,687	21.6
16-พ.ค.-56	2655	65	24,482	33.7
17-พ.ค.-56	2753	75	27,243	21.6
18-พ.ค.-56	2316	68	29,361	25.4
19-พ.ค.-56	3642	156	18,396	26.3
20-พ.ค.-56	2352	32	36,139	27.4

ตารางที่ 5.9 สัดส่วนของเสีย และค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับระหว่างการทดลอง (ต่อ)

วันที่	ปริมาณผลิต (Ton)	ปริมาณของเสียรวม (Ton)	สัดส่วนของเสีย (PPM)	ค่าเฉลี่ยขนาดชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)
21-พ.ค.-56	2146	78	36,347	23.1
22-พ.ค.-56	2642	96	29,523	27.5
23-พ.ค.-56	2426	102	27,617	37.2
24-พ.ค.-56	3256	78	23,956	21.6
25-พ.ค.-56	2464	86	34,903	21.6
26-พ.ค.-56	2733	85	31,101	27.4
27-พ.ค.-56	2362	82	34,716	21.6
28-พ.ค.-56	2135	78	36,534	28.5
29-พ.ค.-56	3267	79	24,181	23.5
30-พ.ค.-56	2495	68	27,255	18.7
31-พ.ค.-56	2742	78	28,446	26.3
1-มิ.ย.-56	2434	75	30,813	28.4
2-มิ.ย.-56	2784	67	24,066	25.2
เฉลี่ย	2,714	82	27,873	25.8

จากตารางที่ 5.9 คิดเป็นของเสียรวมที่เกิดขึ้นเท่ากับ 3.02%

ตารางที่ 5.10 สัดส่วนของเสีย และค่าเฉลี่ยขนาดความยาวชิ้นไม้สับหลังการปรับปรุง

วันที่	ปริมาณผลิต (Ton)	ปริมาณของเสียรวม (Ton)	สัดส่วนของเสีย (PPM)	ค่าเฉลี่ยขนาดชิ้นไม้สับ (มิลลิเมตร)
3-มิ.ย.-56	2532	87	15,798	27.4
4-มิ.ย.-56	2466	75	14,193	24.6
5-มิ.ย.-56	3267	79	10,407	26.4
6-มิ.ย.-56	2563	63	8,974	28.5
7-มิ.ย.-56	2467	67	14,187	27.4
8-มิ.ย.-56	2446	54	13,083	29.5
9-มิ.ย.-56	2436	79	16,010	26.4
10-มิ.ย.-56	2367	34	14,364	28.4
11-มิ.ย.-56	2743	73	14,218	26.3
12-มิ.ย.-56	2436	86	13,136	24.7
13-มิ.ย.-56	2156	73	16,698	29.5
14-มิ.ย.-56	3143	95	10,818	25.7
15-มิ.ย.-56	2758	78	13,778	27.4
เฉลี่ย	2,598	73	13,513	27.1

จากตารางที่ 5.10 คิดเป็นของเสียรวมที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2.79%

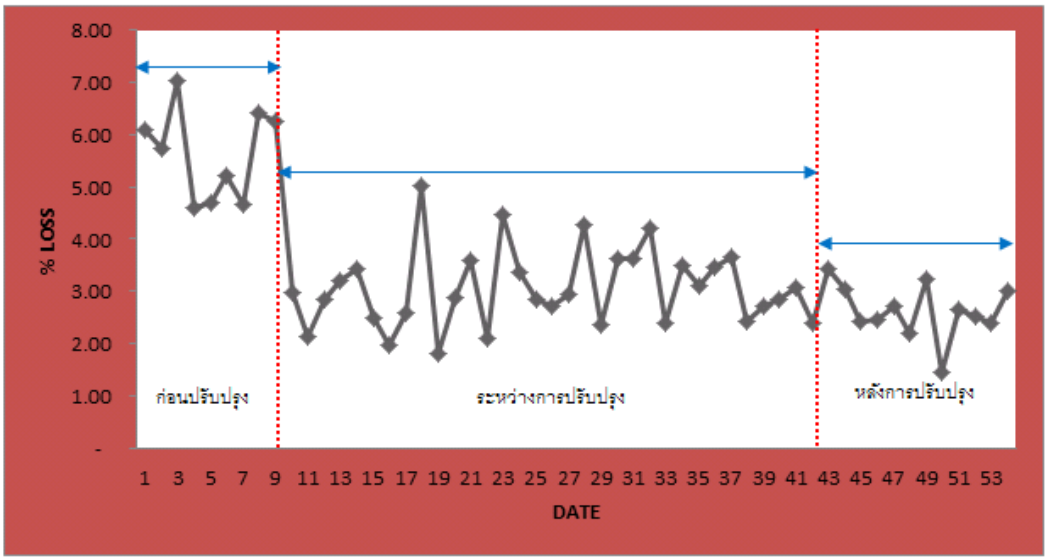
จากนั้นเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงนำข้อมูลมาแสดงในรูปของกราฟโดยเปรียบเทียบ

4.4) สัดส่วนของเสียรวมที่เกิดจากการผลิตก่อนปรับปรุงกระบวนการ เท่ากับ 5.74%

4.5) สัดส่วนของเสียรวมที่เกิดจากการผลิตระหว่างการทดลอง เท่ากับ 3.02%

4.6) สัดส่วนของเสียรวมที่เกิดจากการผลิตหลังการปรับปรุง เท่ากับ 2.79%

ดังแสดงในรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 เปรียบเทียบ %ของเสียของแต่ละช่วงเวลา

5.4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผล

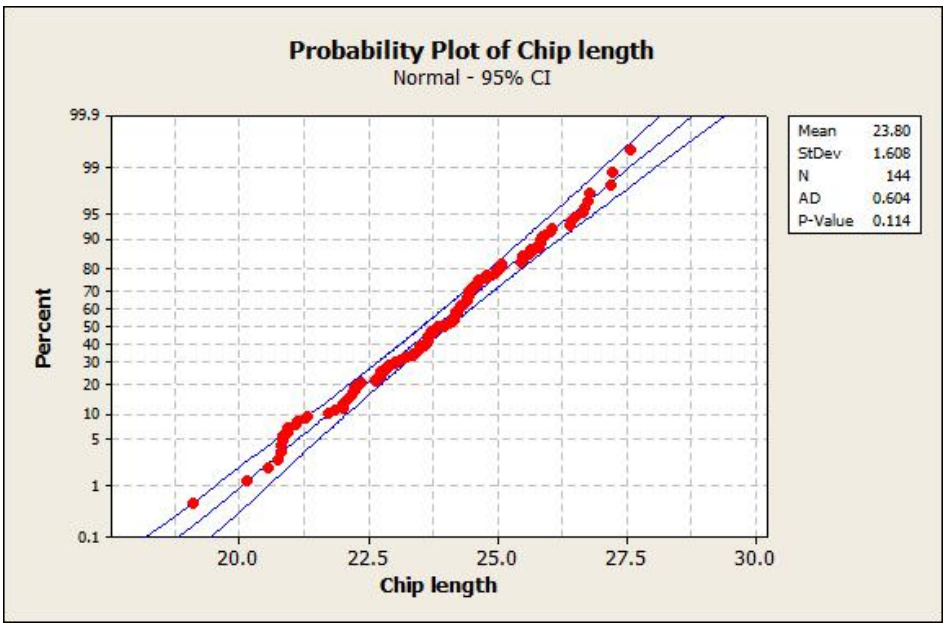
ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อยืนยันผล คือการวิเคราะห์ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผลของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ เพื่อเป็นการยืนยันว่าการทดสอบมีข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ จึงใช้โปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งมีสมมติฐานว่า

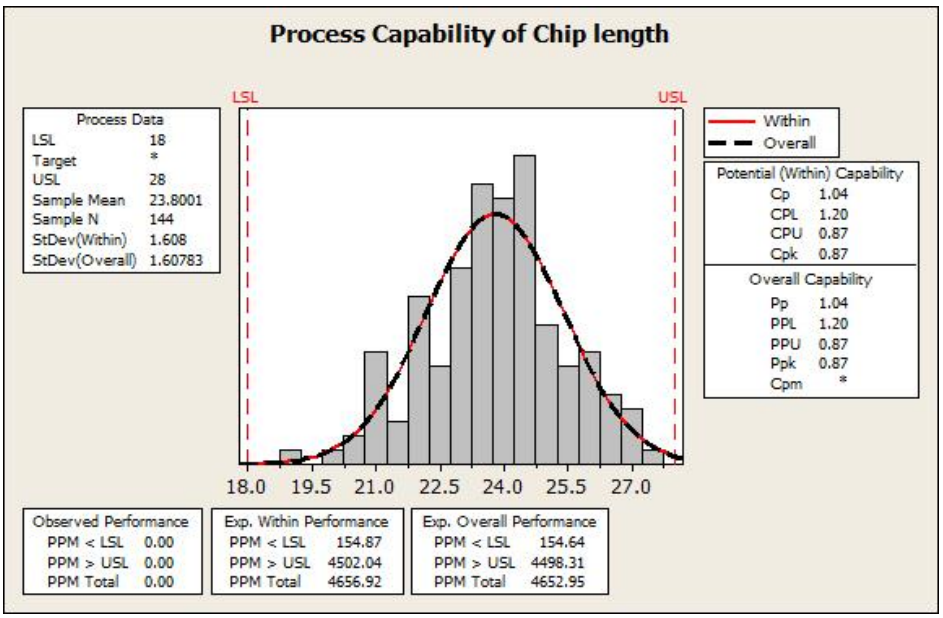
H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ มีการกระจายแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.16 ความเป็นปกติข้อมูลค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับหลังการปรับปรุง



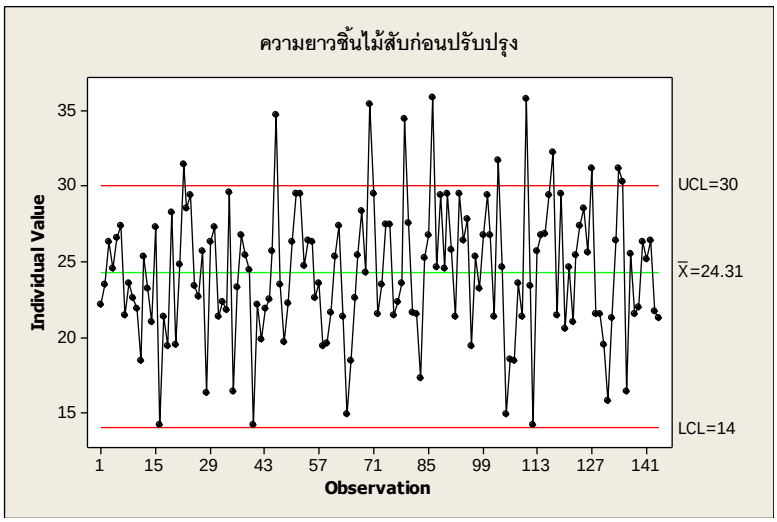
รูปที่ 5.17 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 5.16 และรูปที่ 5.17 ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ มีดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ 23.80 มิลลิเมตร
2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 1.61 มิลลิเมตร
3) ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ1.04
4) ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 0.87
5) ค่าความเบี่ยงเบนก่อนการปรับปรุง กระบวนการผลิตมีค่าเป็น 25.46±5.45 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเบี่ยงเบนหลังการปรับปรุง กระบวนการผลิตมีค่าเป็น 23.80±1.61 มิลลิเมตร
6) ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) ก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.16 เมื่อทำการเปรียบเทียบหลังการปรับปรุง มีค่าเป็น 0.87

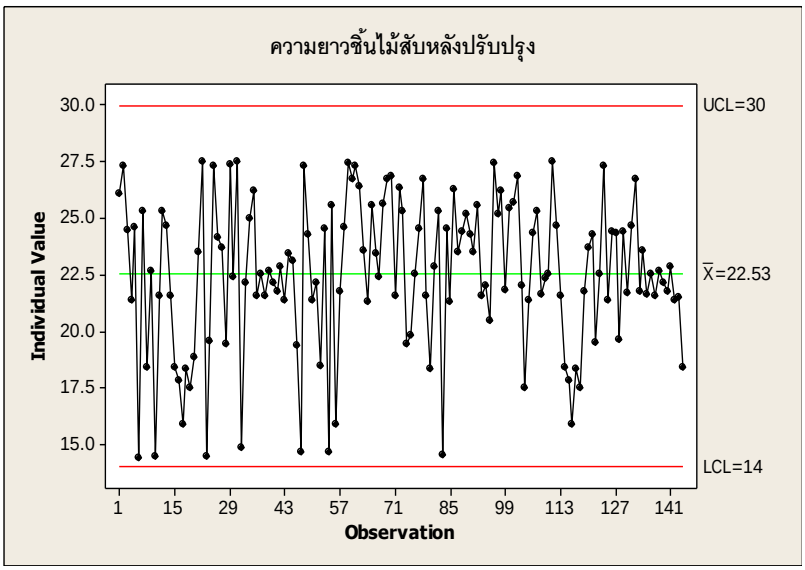
5.4.2 แผนการควบคุม

จากผลการทดสอบทางสถิติพบว่าหลังการออกแบบการทดลองค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับมีแนวโน้มที่ดีขึ้นทั้งในเรื่องของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนระยะสั้น ขั้นตอนถัดมาคือการควบคุมเพื่อให้ค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดโดยการใช้แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ในการควบคุมความผันแปรของกระบวนการเพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุม และสามารถดำเนินการไปแบบซ้ำๆโดยให้ได้ผลเป็นไปตามที่ทดลอง



รูปที่ 5.18 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ ก่อนปรับปรุงกระบวนการ

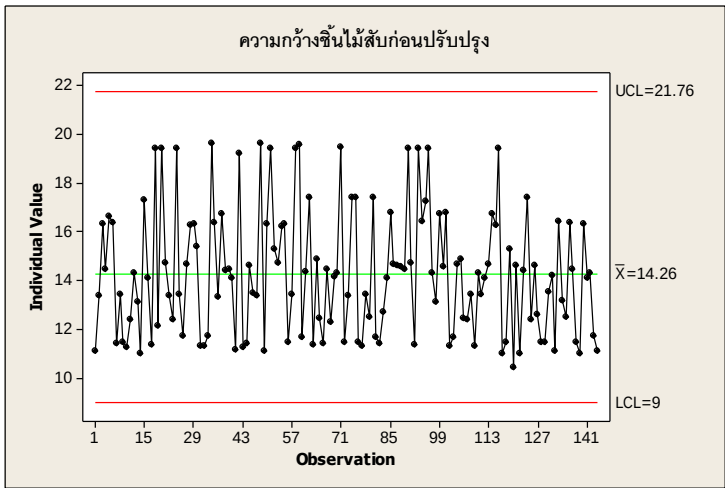
จากรูปที่ 5.18 พบว่าขอบเขตควบคุมด้านบนที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดคือน้อยกว่า 33.88 มิลลิเมตรมี 4 จุด และขอบเขตควบคุมด้านล่างที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดคือมากกว่า 14.47 มิลลิเมตรมี 2 จุด



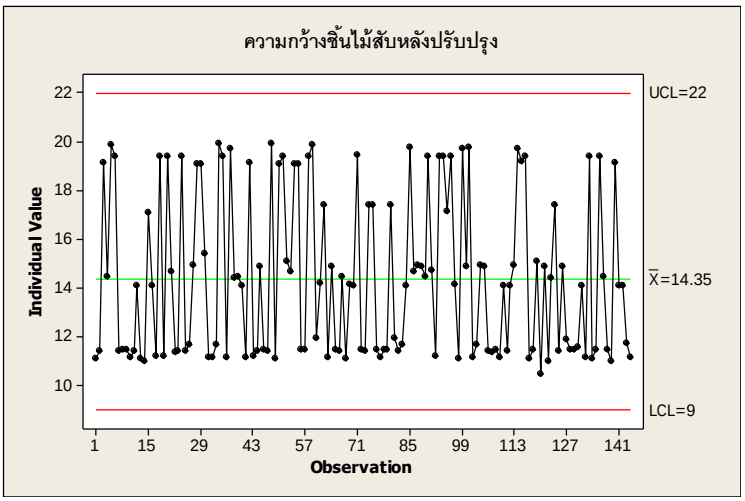
รูปที่ 5.19 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ หลังปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 5.19 พบว่าค่าขนาดความยาวของชิ้นไม้สับหลังปรับปรุงอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากพบว่าไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขอบเขตของแผนภูมิควบคุม คือขอบเขตควบคุมด้านบนที่

โรงงานกรณีศึกษากำหนดคือน้อยกว่า 33.88 มิลลิเมตร และขอบเขตควบคุมด้านล่างที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดคือมากกว่า 14.47



รูปที่ 5.20 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความกว้างชิ้นไม้สับ ก่อนปรับปรุงกระบวนการ



รูปที่ 5.21 แผนภูมิควบคุมในส่วนของขนาดความกว้างชิ้นไม้สับ หลังปรับปรุงกระบวนการ

จากรูปที่ 5.20 และรูปที่ 5.21 พบว่าค่าขนาดความกว้างของชิ้นไม้สับก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ อยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากพบว่าไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขอบเขตของแผนภูมิควบคุม คือขอบเขตควบคุมด้านบนที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดคือน้อยกว่า 23.22 มิลลิเมตร และขอบเขตควบคุมด้านล่างที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดคือมากกว่า 5.48

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ทำการสรุปภาพรวมของงานวิจัย โดยแยกเป็นผลการวิจัย อุปสรรค ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

โดยสามารถสรุปผลการวิจัย ดังนี้

1) สรุปผลการวิจัยในการคัดเลือกปัจจัย

จากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีผลต่อของเสียการผลิตโดยรวม พบว่าปัญหาการผลิตขนาดชิ้นไม้สับไม่ได้มาตรฐาน เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดสัดส่วนของเสียสูงสุด จากนั้นจึงทำการพิจารณาปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดตามส่วนการทำงานต่างๆของโรงงานกรณีศึกษา โดยการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต จากการใช้แผนภาพสาเหตุและผล พิจารณาปัจจัยพบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีทั้งหมด 13 ปัจจัย จากนั้นจำแนกชนิดของปัจจัยที่จะสามารถตัดบางปัจจัยออกจากการทดลองได้โดยจะเลือกเฉพาะปัจจัยควบคุมที่ปรับเปลี่ยนค่าได้ นำไปทำการออกแบบการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดกรองปัจจัย ได้แก่ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ ความเร็วรอบชุดคัดแยกและจัดเรียงไม้ องศาใบมีดชุดสับไม้ และระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ ส่วนปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้หรือไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จะกำหนดให้คงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง

2) สรุปผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Fractional Factorial Design)

จุดประสงค์เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อขนาดชิ้นไม้สับออกไปโดยทำการทดลองการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Fractional Factorial Design) การทดลอง 16 การทดลอง จำนวน 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จำนวนการทดลองทั้งหมด 16 การ

ทดลอง โดยทำการสุ่มลำดับการทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปได้ว่ามี 3 ปัจจัยมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเบี่ยงเบนของขนาดความยาวชิ้นไม้สับ ดังนี้

2.1) ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้

2.2) องศาใบมีดชุดสับไม้

3.3) ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้

3) สรุปผลการออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ(3^k Fractional Factorial Design)

การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ(3^k Fractional Factorial Design) ทำการทดลอง 27 การทดลอง จำนวน 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จำนวนการทดลองทั้งหมด 54 การทดลอง ทำการออกแบบเมตริกซ์การออกแบบการทดลองและทำการสุ่มลำดับการทดลอง พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับที่ระดับนัยสำคัญ α=0.05 ดังนี้

3.1) ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้

3.2) องศาใบมีดชุดสับไม้

3.3) ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้

สามารถสรุประดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับลดลงได้ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับ

ปัจจัย	ทิศทางการปรับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วชุดคัดแยกเปลือกไม้	สูง (+)	7.5	รอบต่อนาที
องศาใบมีดของชุดสับไม้	ต่ำ (-)	34	องศา
ระยะเขียงกับหมอนรองของชุดสับไม้	ต่ำ (-)	3	มิลลิเมตร

4. สรุปการยืนยันผลการทดลองโดยทำการผลิตจริง

หลังจากที่ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวลดลง จึงทำการผลิตจริงและสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลได้ ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเท่ากับ 23.80 มิลลิเมตร
2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 1.61 มิลลิเมตร
3) ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ1.04
4) ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 0.87
5) ค่าความเบี่ยงเบนก่อนการปรับปรุง กระบวนการผลิตมีค่าเป็น 25.46±5.45 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเบี่ยงเบนหลังการปรับปรุง กระบวนการผลิตมีค่าเป็น 23.80±1.61 มิลลิเมตร
6) ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) ก่อนการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.16 เมื่อทำการเปรียบเทียบหลังการปรับปรุง มีค่าเป็น 0.87

6.2 ปัญหาและอุปสรรคการวิจัย

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานวิจัยมีดังนี้

1) วัตถุดิบที่นำเข้ามาทดลองกำหนดเป็นไม้ท่อนยูคาลิปตัสที่เข้าผลิตโดยตรงโดยไม่ผ่านการกอง ทำให้ต้องประสานงานกับทางหน่วยงานขนส่ง ฝ่ายวางแผน ฝ่ายจัดซื้อไม้ เพื่อไม่ให้เกิดการนำไม้ยูคาลิปตัสกองในลานไม้

2) ปัญหาชิ้นไม้สับในสต๊อกต่ำกว่ากำหนด ทำให้ระหว่างการทดลองบางช่วง มีการปรับตั้งค่าเครื่องจักรเป็นแบบเดิม เพื่อให้มีชิ้นไม้สับส่งมอบลูกค่าตามกำหนด ทำให้ต้องใช้เวลาในการทดลองซ้ำ

3) ช่วงทำการทดลองเพื่อยืนยันผลคาบเกี่ยวกับช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่เกษตรไม่สามารถตัดส่งไม้ท่อนยูคาลิปตัสเข้าสู่โรงงานได้สม่ำเสมอ ทำให้การทดลองไม่ต่อเนื่อง

6.3 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อจำกัดของการวิจัยมีดังนี้

1) การปรับตั้งค่าของปัจจัยในการทดลองแต่ละครั้งมีเวลามีเวลานาน ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ผลิตแบบต่อเนื่อง ทำให้เวลาในการผลิตลดลง 1.5 ชั่วโมงต่อวัน เพื่อทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

2) การวิจัยนี้มุ่งเน้นลดค่าเบี่ยงเบนของขนาดชิ้นไม้สับ และลดของเสียโดยรวมของการผลิตในส่วนของการผลิตเท่านั้น แต่ยังมีส่วนอื่นที่สามารถทำให้เกิดปัญหาขนาดชิ้นไม้สับเสียหายได้ เช่นจากการลำเลียงผ่านสายผ่านลำเลียง หรือผ่านระบบสกรู

6.4 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการวิจัยพบว่าการทดลองยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1) การทดลองโดยใช้เทคนิคเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ(3^k Fractional Factorial Design) อาจจะใช้การออกแบบการทดลองโดยวิธีผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) มาประยุกต์ใช้เพื่อหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย
2) ปัจจัยจากชุดสายพานลำเลียง และชุดสกรูลำเลียง อาจมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อขนาดชิ้นไม้สับ (Chip damage) ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นไม้สับก่อนส่งมอบ ควรมีการพิจารณาปัจจัยนี้เพิ่มเติม
3) ความแตกต่างของวัตถุดิบ เช่น ไม้สด ไม้จากการกองในสต๊อก อาจส่งผลต่อการปรับตั้งค่าเครื่องจักรแตกต่างกัน ในการทดลองครั้งถัดไปควรพิจารณาถึงความแตกต่างของไม้ เนื่องจาก โรงงานกรณีศึกษามีนโยบายการกองไม้ท่อนในสต๊อกในช่วงฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่เกษตรกรหยุดการตัดไม้ส่งโรงงาน
4) ควรมีการติดตามผลที่ได้จากการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยอาจจะใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{x}$ and R chart เพื่อตรวจสอบผลการปฏิบัติงานของพนักงาน ทำให้ง่ายในการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันที
5) การตรวจสอบขนาดชิ้นไม้สับก่อนส่งโรงเยื่อ ใช้การวัดโดยเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์เป็นหลัก อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากพนักงานที่ทำการตรวจวัดเอง ควรพิจารณาเครื่องมือวัดแบบดิจิตอลที่มีความเที่ยงตรงและได้มาตรฐานแทนเครื่องมือวัดแบบสเกล เพื่อลดความผิดพลาดจากการวัดของพนักงาน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

[1] อลงกต กาญจนคช. ปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546

[2] ปาริชาติ นาทะสัน. การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

[3] ธีรยุทธิ์ ยกซิ้ว. การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตกระเบื้องบิสกิตโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552

[4] สรียา กสิกพันธุ์. การนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

[5] ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสต์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541

[6] สุทธิดา เอี่ยมเจริญ และ ระพี กาญจนะ. การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ด้วยหลักการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติและและการวิเคราะห์ระบบการวัด.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554

[7] ปาริชาติ นาทะสัน. การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

ภาษาอังกฤษ

[8] Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiment. 6th ed. New York : John Wiley and Sons, 2005.

[9] Anuj Narang,Amos Ben-Zvi, Artin Afacan, David Sharp, Sirish L. Shah, Biao Huang, Undergraduate design of experiment laboratory on analysis and optimization of distillation column. Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada T6G 2V4, 2012.

[10] John Foote, Morbark. Chip quality discussion for mead Paper Company. Michigan : Metso Paper, 1999

[11] F.R. Grobbelaar and K.T. Manyuchi. Eucalyptus debarking: an international overview with a Southern African perspective. Forest Engineering Southern Africa (FESA), 2000.

[12] Worapong A. Investigation of Factors Involved Wood Losses at Drum Debarking. R&D Report 2012/12 (December 2012) : 1-5

[13] Twaddle, A.A. and W.F. Watsan. Survey of Disc Chippers in the Southeastern USA and Their Effects on Chip Quality. TAPPI Pulping Conference Proceedings (December1990) : 77-81

[14] William S.Fuller. A key to pulping uniformity and productivity. Paper presented at the 24th Pulp and Paper Annual Meeting (November 1991)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
คู่มืออ้างอิงในการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการปรับตั้งค่าเครื่องจักรหน่วยงานผลิตชิ้นไม้สับ

1. **วัตถุประสงค์**

1.1 เพื่อผลิตชิ้นไม้สับให้ได้ตามปริมาณและคุณภาพตามที่กำหนดในมาตรฐาน ISO 9001

1.2 เพื่อให้พนักงานปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องและมีความปลอดภัยในการทำงาน

2. **ขอบเขต**

2.1 ใช้สำหรับการปรับตั้งค่าเครื่องจักรโรงงานผลิตชิ้นไม้สับเท่านั้น

3. **ขั้นตอนการปฏิบัติงาน**

3.1 พนักงานระดับหัวหน้างาน รับผิดชอบในการวางแผนการเดินเครื่องโรงงานชิ้นไม้สับ โดยมุ่งประเด็นการผลิตให้ได้ตามปริมาณและคุณภาพตามที่กำหนดในมาตรฐาน ISO9001

3.2 ก่อนปฏิบัติงานพนักงานระดับหัวหน้างาน ต้องตรวจสอบความพร้อมใช้งานและสภาพเครื่องจักรก่อนดำเนินการตั้งค่าเครื่องจักรทุกครั้ง

3.3 ตัดสินใจในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรโดยยึดถือตารางการปรับตั้งค่าเครื่องจักรดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงสัญลักษณ์ในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Parameter	Level								
A	+	+	+	0	0	0	-	-	-
C	-	-	0	-	-	0	-	-	0
D	-	0	-	-	0	-	-	0	-

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

Sequence	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Parameter	Level								
A	7.5	7.5	7.5	5.5	5.5	5.5	3.5	3.5	3.5
C	34	34	35	34	34	35	34	34	35
D	3	4	3	3	4	3	3	4	3

หมายเหตุ :

เครื่องหมาย (-) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับต่ำ

เครื่องหมาย (0) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับกลาง

เครื่องหมาย (+) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับสูง

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้

สัญลักษณ์ C หมายถึง องศาใบมีดชุดสับไม้

สัญลักษณ์ D หมายถึง ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้

ยกตัวอย่างการปรับตั้งค่าเครื่องจักร

- กรณีเครื่องจักรพร้อมใช้งานทุกฟังก์ชัน เลือกการปรับแต่งโดยใช้ Sequence 1

  1). หัวหน้างานทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักร

  2). หัวหน้างานทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรตาม Sequence 1 ดังนี้

  - ปรับความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับ 7.5 รอบต่อนาที
  - ปรับองศาใบมีดชุดสับไม้ ที่ระดับ 34 องศา
  - ปรับระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ ที่ระดับ 3 มิลลิเมตร

- กรณีความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ไม่สามารถตั้งค่าที่ระดับ 7.5 รอบต่อนาที เลือกใช้ Sequence 4

  1). หัวหน้างานทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักร

  2). หัวหน้างานทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรตาม Sequence 4 ดังนี้

  - ปรับความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้ที่ระดับ 5.5 รอบต่อนาที
  - ปรับองศาใบมีดชุดสับไม้ ที่ระดับ 34 องศา
  - ปรับระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้ ที่ระดับ 3 มิลลิเมตร

3.4 ทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรโดยเรียงลำดับ Sequence เป็นหลัก เช่น 1,2,3,…,9

3.5 กรณีเครื่องจักรทั้ง 3 ส่วนไม่สามารถตั้งค่าได้ ให้ทำการซ่อมบำรุงในส่วนของความเร็วรอบการหมุนของ Debarking drum (A)เป็นหลัก เนื่องจากเกี่ยวข้องทั้งการผลิตให้ได้ทั้งปริมาณและคุณภาพของชิ้นไม้สับ

3.6 พนักงานลับใบมีดเลือกการลับคมใบมีดให้อยู่ในช่วงต่ำ (34 องศา) เนื่องจากเป็นมุมใบมีดที่ทำให้การผลิตชิ้นไม้สับมีคุณภาพดีที่สุด

3.7 พนักงานระดับหัวหน้างานเลือกการปรับตั้งค่าระยะห่างของใบมีดและเขียงแคบที่สุด (3 มิลลิเมตร) เนื่องจากเป็นระยะที่ทำให้การผลิตชิ้นไม้สับมีคุณภาพดีที่สุด

4. **การบันทึก**

4.1 บันทึกการทำงานและค่าปรับตั้งใน Log book ของพนักงานระดับหัวหน้างาน (RC-WW-001)

5. **เอกสารแนบ**

5.1 ตารางการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์

6. **เอกสารอ้างอิง**

6.1 กระบวนการผลิตใน Woodhandling Doc No. QP-WW-001

ภาคผนวก ข
ผลรวมทางสถิติของการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ โดยใช้ Minitab

General Linear Model: Chip length versus Debarking dr, Washing roll, ...

Factor	Type	Levels	Values
Debarking drum speed (A)	fixed	2	-1, 1
Washing roll speed (B)	fixed	2	-1, 1
Knife angle (C)	fixed	2	-1, 1
Gap of cut (D)	fixed	2	-1, 1

Analysis of Variance for Chip length, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Debarking drum speed (A)	1	123.69	123.69	123.69	11.45	0.002
Washing roll speed (B)	1	16.75	16.75	16.75	1.55	0.224
Knife angle (C)	1	40.75	40.75	40.75	3.77	0.063
Gap of cut (D)	1	92.64	92.64	92.64	8.58	0.007
Error	27	291.60	291.60	10.80		
Total	31	565.44				

S = 3.28635 R-Sq = 48.43% R-Sq(adj) = 40.79%

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าขนาดความยาวชิ้นไม้สับ โดยใช้ Minitab

General Linear Model: Chip length versus A, C, D

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	3.5, 5.5, 7.5
C	fixed	3	34, 35, 36
D	fixed	3	3, 4, 5

Analysis of Variance for Chip length, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	163.851	163.851	81.926	68.25	0.000
C	2	39.014	39.014	19.507	16.25	0.000
D	2	43.190	43.190	21.595	17.99	0.000
A*C	4	13.130	13.130	3.282	2.73	0.050
A*D	4	8.818	8.818	2.204	1.84	0.151
C*D	4	14.529	14.529	3.632	3.03	0.035
A*C*D	8	18.557	18.557	2.320	1.93	0.096
Error	27	32.410	32.410	1.200		
Total	53	333.500				

S = 1.09561 R-Sq = 90.28% R-Sq(adj) = 80.92%

ภาคผนวก ค
แบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลพนักงานตอบแบบสอบถาม

ชื่อ..... **ตำแหน่ง**..... **อายุงาน**..... **ปี**

ลำดับ	ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อขนาดชิ้นไม้สับ	คะแนนการตรวจพบ	คะแนนความรุนแรง	ประเภทปัจจัย	เลือก/ไม่เลือก	เหตุผล
1	ความเร็วรอบชุดคัดแยกเปลือกไม้	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
2	ความเร็วรอบชุดคัดแยกไม้เล็กและจัดเรียง	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
3	องศาใบมีดชุดสับไม้	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
4	ระยะเขียงกับหมอนรองชุดสับไม้	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
5	ความเร็วชุดป้อนไม้ท่อน	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
6	ขนาดไม่ได้มาตรฐาน	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
7	ความชื้นของไม้ท่อนยูคาลิปตัส	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
8	กองไม้ท่อนเกิน 1.5 เดือน	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
9	สิ่งปลอมปน	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
10	เทคนิคการปรับส่วนตัว	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
11	ขาดประสบการณ์	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			
12	ไม่ทำตามขั้นตอนที่กำหนด	1 2 3 4 5	1 2 3 4 5			

ภาคผนวก ง
ข้อมูลแผนภูมิควบคุม

ข้อมูลแสดงรายงานค่าขนาดความกว้างและความยาวชิ้นไม้สับก่อน-หลังปรับปรุง

รายงานค่าควบคุมขนาดชิ้นไม้สับ																									
ด้านยาว:ค่าควบคุม 18.00-28.00 mm.		ก่อนปรับปรุง																						วันที่ 3/10/2556	
Sample	ตำแหน่งการวัด	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	0100	0200	0300	0400	0500	0600
Before Screen 321C012.2	ซ้าย	22.12	23.52	26.35	24.56	26.63	27.37	21.44	23.56	22.57	21.87	18.43	25.32	23.21	21	27.32	14.2	21.36	19.43	28.26	19.54	24.78	31.44	28.53	29.43
	กลาง	23.43	22.73	25.67	16.3	26.32	27.34	21.34	22.35	21.78	29.64	16.4	23.34	26.74	25.43	24.46	14.2	22.17	19.85	21.86	22.54	25.68	34.7	23.52	19.64
	ขวา	22.21	26.32	29.54	29.53	24.72	26.42	26.32	22.56	23.56	19.43	19.6	21.67	25.36	27.42	21.37	14.9	18.47	22.58	25.47	28.32	24.27	35.4	29.47	21.57
After Screen 321C021.Pulp1	ซ้าย	23.52	27.43	27.43	21.46	22.35	23.57	34.5	27.54	21.67	21.55	17.3	25.22	26.79	35.9	24.64	29.43	24.57	29.54	25.75	21.36	29.53	26.43	27.84	19.43
	กลาง	25.35	23.21	26.74	29.43	26.79	21.35	31.68	24.67	14.9	18.54	18.4	23.56	21.35	35.8	23.43	14.2	25.67	26.74	26.86	29.43	32.28	21.46	29.55	20.56
	ขวา	24.61	21	25.43	27.42	28.53	25.62	31.21	21.57	21.56	19.54	15.8	21.25	26.44	31.21	30.31	16.4	25.56	21.56	22	26.35	25.21	26.44	21.75	21.24
Average		23.54	24.04	26.86	24.78	25.89	25.28	27.75	23.71	21.01	21.76	17.66	23.39	24.98	29.46	25.26	17.22	22.97	23.28	25.03	24.59	26.96	29.31	26.78	21.98
รายงานค่าควบคุมขนาดชิ้นไม้สับ																									
ด้านยาว:ค่าควบคุม 18.00-28.00 mm.		หลังปรับปรุง																						วันที่ 4/10/2556	
Before Screen 321C012.2	ซ้าย	26.11	27.32	24.46	21.37	24.64	14.43	25.31	18.42	22.68	14.45	21.57	25.33	24.67	21.57	18.42	17.84	15.89	18.32	17.48	18.89	23.53	27.54	14.46	19.55
	กลาง	27.31	24.16	23.74	19.46	27.43	22.42	27.53	14.84	22.13	25	26.22	21.56	22.56	21.56	22.68	22.13	21.78	22.86	21.36	23.44	23.14	19.4	14.67	27.33
	ขวา	24.31	21.36	22.17	18.47	24.57	14.67	25.56	15.89	21.78	24.64	27.45	26.78	27.34	26.42	23.57	21.35	25.62	23.43	22.42	25.67	26.74	26.86	21.55	26.37
After Screen 321C021.Pulp1	ซ้าย	25.32	19.43	19.85	22.58	24.54	26.74	21.56	18.32	22.86	25.3	14.56	24.53	21.34	26.32	23.54	24.44	25.21	24.31	23.53	25.56	21.56	22	20.46	27.44
	กลาง	25.21	26.26	21.86	25.47	25.75	26.86	22.00	17.48	21.36	24.35	25.33	21.67	22.35	22.56	27.54	24.67	21.57	18.42	17.84	15.89	18.32	17.48	21.75	23.71
	ขวา	24.31	19.54	22.54	27.32	21.36	24.43	24.35	19.64	24.44	21.68	24.66	26.78	21.78	23.56	21.67	22.56	21.56	22.68	22.13	21.78	22.86	21.36	21.51	18.43
Average		25.43	23.01	22.44	22.45	24.72	21.59	24.39	17.43	22.54	22.57	23.30	24.44	23.34	23.67	22.90	22.17	21.94	21.67	20.79	21.87	22.69	22.44	19.07	23.81
ด้านกว้าง:ค่าควบคุม 11.00-15.00 mm.																									
ด้านกว้าง:ค่าควบคุม 11.00-15.00 mm.		ก่อนปรับปรุง																						วันที่ 3/10/2556	
Sample	ตำแหน่งการวัด	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	0100	0200	0300	0400	0500	0600
Before Screen 321C012.2	ซ้าย	11.11	13.41	16.34	14.46	16.63	16.4	11.44	13.46	11.47	11.27	12.43	14.31	13.11	11	17.31	14.1	11.36	19.43	12.16	19.44	14.72	13.4	12.43	19.43
	กลาง	13.43	11.73	14.67	16.3	16.31	15.4	11.34	11.34	11.72	19.64	16.4	13.34	16.74	14.43	14.46	14.1	11.17	19.24	11.26	11.44	14.62	13.5	13.41	19.64
	ขวา	11.11	16.31	19.44	15.3	14.71	16.21	16.31	11.46	13.46	19.43	19.6	11.67	14.36	17.41	11.37	14.9	12.47	11.42	14.47	12.31	14.17	14.3	19.47	11.47
After Screen 321C021.Pulp1	ซ้าย	13.41	17.43	17.43	11.46	11.34	13.47	12.5	17.44	11.67	11.44	12.7	14.11	16.79	14.7	14.64	14.6	14.47	19.44	14.74	11.36	19.43	16.43	17.24	19.43
	กลาง	14.34	13.11	16.74	14.6	16.79	11.34	11.7	14.67	14.9	12.44	12.4	13.46	11.34	14.3	13.43	14.1	14.67	16.74	16.26	19.43	11	11.46	15.3	10.46
	ขวา	14.61	11	14.43	17.41	12.43	14.61	12.6	11.47	11.46	13.57	14.2	11.14	16.44	13.2	12.5	16.4	14.46	11.46	11	16.34	14.11	14.3	11.74	11.14
Average		13.00	13.83	16.51	14.92	14.70	14.57	12.65	13.31	12.45	14.63	14.62	13.01	14.80	14.17	13.95	14.70	13.10	16.29	13.32	15.05	14.68	13.90	14.93	15.26
รายงานค่าควบคุมขนาดชิ้นไม้สับ																									
ด้านกว้าง:ค่าควบคุม 11.00-15.00 mm.		หลังปรับปรุง																						วันที่ 4/10/2556	
Before Screen 321C012.2	ซ้าย	11.11	11.41	19.14	14.49	19.91	19.4	11.44	11.49	11.47	11.17	11.41	14.11	11.11	11	17.11	14.1	11.19	19.41	11.19	19.44	14.71	11.4	11.41	19.41
	กลาง	11.41	11.71	14.97	19.1	19.11	15.4	11.14	11.14	11.71	19.94	19.4	11.14	19.74	14.41	14.49	14.1	11.17	19.14	11.19	11.44	14.91	11.5	11.41	19.94
	ขวา	11.11	19.11	19.44	15.1	14.71	19.11	19.11	11.49	11.49	19.41	19.9	11.97	14.19	17.41	11.17	14.9	11.47	11.41	14.47	11.11	14.17	14.1	19.47	11.47
After Screen 321C021.Pulp1	ซ้าย	11.41	17.41	17.41	11.49	11.14	11.47	11.5	17.44	11.97	11.44	11.7	14.11	19.79	14.7	14.94	14.9	14.47	19.44	14.74	11.19	19.41	19.41	17.14	19.41
	กลาง	14.14	11.11	19.74	14.9	19.79	11.14	11.7	14.97	14.9	11.44	11.4	11.49	11.14	14.1	11.41	14.1	14.97	19.74	19.19	19.41	11.11	11.49	15.1	10.49
	ขวา	14.91	11	14.41	17.41	11.41	14.91	11.9	11.47	11.49	11.57	14.1	11.14	19.44	11.1	11.5	19.4	14.49	11.49	11	19.14	14.11	14.1	11.74	11.14
Average		12.35	13.63	17.52	15.42	16.01	15.24	12.80	13.00	12.17	14.16	14.65	12.33	15.90	13.79	13.44	15.25	12.96	16.77	13.63	15.29	14.74	13.67	14.38	15.31

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิทักษ์ชน วิเศษ เกิดเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน 2523 ที่จังหวัดแพร่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี จากมหาวิยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2546 และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2554