

การวิเคราะห์ปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องจักรผลิตกระดาษ
ANALYZING SHEET BREAK PROBLEM OF PAPER MACHINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของบรรณานุกรมฉบับสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์การศึกษาระดับบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๕๘

KMITL-2015-DN-M-257-074

การวิเคราะห์ปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักรผลิตกระดาษ

ANALYZING SHEET BREAK PROBLEM OF PAPER MACHINE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-257-074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYZING SHEET BREAK PROBLEM OF PAPER MACHINE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015
KMITL-2015-EN-M-257-074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

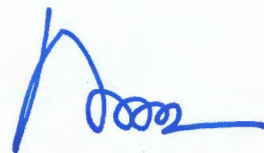
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักรผลิตกระดาษ
Thesis Title Analyzing Sheet Break Problem of Paper Machine
นักศึกษา นายเชาวลิต อ่อนน้อม
รหัสประจำตัว 55613605
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-257-074

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
รศ.ประสิทธิ์	จุลเสวีวงศ์	
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญวุฒิธรรม	
รศ.ดร.อัมพวัน	จุลเสวีวงศ์	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เทพมณี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2558
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักรผลิต

กระดาษ

นักศึกษา

นายเชาวลิต อ่อนน้อม

รหัสนักศึกษา

55613605

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมอัตโนมัติ

พ.ศ.

2558

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผศ.ดร. อีรวัฒน์ เทพมณี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์ปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักรผลิตกระดาษ ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการผลิตของโรงงานกระดาษแห่งหนึ่งเกิดความเสียหาย จากการศึกษาเครื่องจักรผลิตกระดาษมีการตั้งสมมติฐานถึงสาเหตุที่อาจทำให้เกิดปัญหา 4 ประการด้วยกัน คือ ความหนาของกระดาษที่ผลิต ชนิดของกระดาษที่ผลิต ระยะเวลาติดตั้งของเซ็นเซอร์ และการตั้งค่าโหมดของเซ็นเซอร์ เพื่อเป็นการทดสอบหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาจึงได้ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาติดตั้งของเซ็นเซอร์เป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ดังนั้น วิธีการวิเคราะห์ปัญหาที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ช่วยทำให้การหยุดของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกระดาษน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Analyzing Sheet Break Problem of Paper Machine
Student	Mr. Chaowalit Onnom
Student ID.	55613605
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Teerawat Thepmanee

ABSTRACT

This thesis presents an analyzing sheet break problem of paper machine, which affects to imperfect production of a paper mill. Four possible causes of the studied paper machine are produced paper thickness, produced paper type, sensor placement and sensor configuration. Experimental procedures based on two - way analysis of variance (ANOVA) are designed to find out the real cause. Analysis results show that the sensor placement is the real cause of the studied problem. Therefore, the proposed problem analysis can minimize the imperfect paper production to be occurred.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. ธีรวัฒน์ เทพมณี และ รศ.ดร.อัมพวัน จุลเสรีวงศ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่องที่ผ่านมา

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.จิระศักดิ์ ชาญวุฒิชัยธรรม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมืวัตและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่เป็นแรงผลักดันให้เขียนได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาค อาจารย์ประจำภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมืวัตและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้ออุปกรณ์เครื่องมือ สถานที่ในการร่วมทำวิจัย

ขอขอบคุณคณะผู้บริหารและหัวหน้างาน บริษัท อินเตอร์ แอปพลิเคชัน จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สถานที่และ ข้อมูลที่ใช้ทำการวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีมอบโอกาสให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทจนสำเร็จการศึกษา ณ. สถาบัน ๆ แห่งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา มารดา ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ชาวลิต อ่อนน้อม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 การนำเสนอแนวคิดของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการผลิตกระดาษ.....	4
2.1.1 การผลิตเยื่อ.....	4
2.1.2 การเตรียมน้ำเยื่อ.....	6
2.1.3 การทำแผ่นกระดาษ.....	8
2.1.4 การปรับปรุงสมบัติกระดาษขณะเดินแผ่น.....	12
2.1.5 การแปรรูปกระดาษ.....	13
2.2 การวัดและการควบคุมการผลิตกระดาษ.....	14
2.2.1 ชนิดของกระดาษ.....	14
2.2.2 การวัดและการควบคุมกระบวนการผลิตกระดาษ.....	15
2.2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของเซ็นเซอร์.....	19
2.2.4 กระบวนการทำงานของเซ็นเซอร์.....	20
2.2.5 การหยุดทำงานของเครื่องจักร.....	21
2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องจักร.....	22
2.4 บทสรุป.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องผลิตกระดาษที่ได้ศึกษา.....	27
3.1 การเตรียมการทดลอง.....	27
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
3.1.2 คุณสมบัติของเซ็นเซอร์.....	28
3.1.3 การติดตั้งใช้งานเซ็นเซอร์.....	31
3.2 การออกแบบขั้นตอนการทดลอง.....	31
3.3 ผลการทดลอง.....	32
3.3.1 ผลการทดลองของกระดาษชนิด CA.....	32
3.3.2 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KI.....	33
3.3.3 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KT.....	34
3.3.4 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KA.....	35
3.3.5 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KL.....	36
3.3.6 ผลการทดลองของกระดาษชนิด AA.....	36
3.3.7 ผลการทดลองของระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์.....	37
3.3.8 ผลการทดลองของความหนาของกระดาษ.....	39
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ ANOVA.....	42
4.1 กล่าวนำ.....	42
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด CA	42
4.2.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	42
4.2.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra.....	44
4.2.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	46
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด KI.....	48
4.3.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	48
4.3.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra.....	50
4.3.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	52
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด KT.....	54
4.4.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	54
4.4.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra.....	56
4.4.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	57
4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด KA.....	59
4.5.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	59
4.5.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra.....	61
4.5.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด KL.....	64
4.6.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ไนโหมด Super.....	64
4.6.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ไนโหมด Ultra.....	66
4.6.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ไนโหมด Mega.....	67
4.7 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด AA.....	69
4.7.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ไนโหมด Super.....	69
4.7.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ไนโหมด Ultra.....	71
4.7.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ไนโหมด Mega.....	72
4.8 ผลการวิเคราะห์การทดลองสำหรับระยะเวลาการติดตั้งเซ็นเซอร์.....	74
4.9 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับความหนาของกระดาษ.....	76
4.10 สรุปผลการวิเคราะห์.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....	79
เอกสารอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก.....	81
ภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 รายชื่อสารเคมีที่ใช้พอกเยื่อ.....	5
2.2 ชนิดและความหนาของกระดาษ.....	14
2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	23
2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม.....	25
3.1 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm.....	32
3.2 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm.....	32
3.3 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm.....	33
3.4 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm.....	33
3.5 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm.....	33
3.6 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm.....	34
3.7 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm.....	34
3.8 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm.....	34
3.9 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm.....	34
3.10 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm.....	35
3.11 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm.....	35
3.12 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm.....	35
3.13 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm.....	36
3.14 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm.....	36
3.15 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm.....	36
3.16 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm.....	36
3.17 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm.....	37
3.18 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm.....	37
3.19 การวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษที่ระยะการติดตั้งทั้ง 3 ระยะ.....	37
3.20 การวิเคราะห์ข้อมูลความหนาของกระดาษ.....	39
4.1 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด CA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	42
4.2 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด CA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra.....	44
4.3 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด CA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	46
4.4 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KI สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	48
4.5 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KI สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra.....	50
4.6 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KI สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	52
4.7 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KT สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	54
4.8 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KT สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra.....	56
4.9 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KT สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.10 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	59
4.11 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra	61
4.12 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	62
4.13 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KL สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super.....	64
4.14 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KL สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra	66
4.15 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KL สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega	67
4.16 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด AA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super	69
4.17 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด AA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra	71
4.18 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด AA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega.....	72
4.19 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์.....	74
4.20 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับความหนาของกระดาษ.....	76



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ไฮดร่าพับเปอร์ (Hydrapulper).....	6
2.2 เซนทริฟิวด์คลีนเนอร์ (Chetrifugal Cleaner).....	6
2.3 รีไฟเนอร์ (Refiner).....	7
2.4 Sheet Forming	8
2.5 การกดน้ำออก (Pressing).....	8
2.6 การอบกระดาษ (Drying).....	9
2.7 ถังจ่ายเยื่อ(Head Box).....	9
2.8 ส่วนตะแกรงลวดพิมพ์แผ่น.....	10
2.9 ส่วนกดกระดาษ (Press Section).....	10
2.10 ส่วนอบกระดาษ (Drying Section).....	11
2.11 ส่วนรีดกระดาษ (Calender).....	11
2.12 ส่วนพับกระดาษเข้าม้วน.....	12
2.13 การปรับปรุงผิวกระดาษ.....	12
2.14 การเปลี่ยนรูปร่างและม้วนกระดาษ (Physical Modification).....	13
2.15 การแปรรูปกระดาษ.....	13
2.16 แสดงตำแหน่งการติดตั้งใช้งาน Sensor.....	16
2.17 แลตเตอร์แสดงการต่อสัญญาณSensor ไป Inter Lock กับชุด Control Drive.....	16
2.18 หน้าควบคุมความเร็วมอเตอร์ และ Load Motor ระบบ Scads.....	17
2.19 สัญญาณ Alarm แจ้งเตือนความผิดปกติ.....	17
2.20 สัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติ.....	18
2.21 สัญญาณ Sheet Break ที่ Dyder #2 เส้นกราฟสีแดง.....	18
2.22 รูปการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระดาษ.....	19
2.23 ตำแหน่งการตั้งค่าโหมดใช้งานของเซ็นเซอร์.....	20
2.24 การตั้งก่าหนดค่าเซ็นเซอร์.....	21
3.1 การจำลองการทดลอง.....	27
3.2 เซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออฟติก.....	28
3.3 สายไฟเบอร์ออฟติก.....	29
3.4 การประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์.....	30
3.5 ตำแหน่งติดตั้งใช้งานจริงของเซ็นเซอร์.....	31
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลระยะการติดตั้ง.....	38
3.7 การวิเคราะห์ข้อมูลความหนาของกระดาษ.....	40
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Super ด้วย ANOVA	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA.....	45
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA.....	47
4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Super ด้วย ANOVA.....	49
4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA.....	51
4.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA.....	53
4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Super ด้วย ANOVA.....	55
4.8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA.....	56
4.9 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA.....	58
4.10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Super ด้วย ANOVA.....	60
4.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA.....	61
4.12 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA.....	63
4.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Super ด้วย ANOVA.....	65
4.14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA.....	66
4.15 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA.....	68
4.16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Super ด้วย ANOVA.....	70
4.17 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA.....	71
4.18 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศ AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.19 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับระยะเวลาการติดตั้งเซ็นเซอร์.....	75
4.20 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับความหนาของกระดาษ.....	77
4.21 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับระยะเวลาการติดตั้งและความหนาของกระดาษ.....	78



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่องมีการใช้เครื่องจักรผลิตกระดาษเข้ามาช่วยในการผลิตซึ่งสามารถผลิตกระดาษที่มีหน้ากว้างได้ 5 เมตร ความยาว 120 เมตร ด้วยความเร็วภายใน 1 นาที มีอัตราการผลิตได้ถึง 1,400 เมตร [1] คิดเป็นมูลค่าต้นทุนการผลิต 3,200 บาทต่อนาที ซึ่งเพียงแค่นี้ก็วินาทีที่เครื่องจักรหยุดลงก็สร้างความเสียหายมากมายต่อต้นทุนการผลิตเพราะจะต้องเริ่มกระบวนการผลิตขึ้นใหม่โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที จากจุดปล่อยเยื่อ จนถึงจุดสิ้นสุดของกระบวนการ มีการส่งผ่านหลายระบบหลายกระบวนการ ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมีการใช้งานเซ็นเซอร์ที่แตกต่างกัน ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงส่วนของการอบแห้งของกระดาษที่มีการใช้เซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติกของ Keyence นำมาประยุกต์ใช้งานตรวจจับสถานะของกระดาษในกระบวนการผลิตจะมีการใช้เซ็นเซอร์ตรวจสอบกระบวนการผลิตตั้งแต่ต้นจนจบ หากมีปัญหาในกระบวนการผลิต เซ็นเซอร์จะส่งเครื่องจักรหยุดเพื่อตรวจสอบปัญหาและแก้ไขกระบวนการผลิตก่อนที่จะดำเนินการผลิตต่อไปได้ การหยุดเครื่องจักรส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการผลิตและสร้างความเสียหายต่อกระบวนการผลิต ความหนาของกระดาษ ความเร็วของการป้อนกระดาษ แรงกดลงที่กระดาษ อุณหภูมิของการอบกระดาษและการตรวจสอบกระดาษในแต่ละขั้นตอนโดยการประมวลผลระบบการควบคุมคุณภาพ [2-4] การตั้งสมมติฐานการหยุดเครื่องโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance) [5] ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการทดสอบสมมติฐานต่อการตรวจสอบหาสาเหตุและหาทางออกที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรม [6] งานวิจัยนี้มีปัจจัยที่มีผลต่อสมมติฐานการตรวจสอบหาสาเหตุการทำงานที่ผิดพลาดของเซ็นเซอร์ บนสมมติฐานที่ประกอบด้วยความแตกต่างในหัวข้อความหนาและชนิดของกระดาษการตั้งค่าใช้งานและตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ไม่ถูกต้อง เพื่อตรวจสอบหาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เซ็นเซอร์ทำงานผิดพลาด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นในการวิเคราะห์ปัญหา ความเป็นไปได้ที่มีผลต่อสมมติฐานการตรวจสอบหาสาเหตุการวิเคราะห์ปัญหา Nuisance Trip ที่ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตหยุดลง โดยจะศึกษาจากการตั้งสมมติฐานที่ประกอบด้วยความแตกต่าง ดังต่อไปนี้

1. เรื่องชนิดของกระดาษมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่
2. เรื่องความหนาของกระดาษมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่
3. ระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์มีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่
4. การเลือกโหมดใช้งานเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มแสงที่ต่างกันมีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การนำเสนอแนวคิดของวิทยานิพนธ์

ณ.โรงงานผลิตกระดาษคราฟท์แห่งหนึ่งได้เกิดปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักรผลิตกระดาษในส่วนของการอบแห้งกระดาษอยู่บ่อยครั้ง จึงได้มีการตั้งสมมติฐานที่ประกอบด้วย ความแตกต่าง ชนิดของกระดาษ ความหนาของกระดาษ ระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์และการตั้งค่าของเซ็นเซอร์ ซึ่งได้นำแนวความคิดของการเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร (2 Way ANOVA) และการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยทดสอบจากกระดาษ 2 ชนิด คือ CA (Carrugating Medium) มีทั้งหมด 6 เกรดความหนาและชนิดที่สอง K (Kraft Liner Board) มีเกรดที่กำหนดตามความหนาของกระดาษ 4 เกรด โดยใช้เซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติกของ Keyence ซึ่งเซ็นเซอร์สามารถกำหนดโหมดความเข้มแสงได้ 3 ค่าคือ SUPER ULTRA MEGA ทดสอบสมมติฐานโดยติดตั้งเซ็นเซอร์ห่างจากกระดาษไว้ 3 ระดับคือ 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร ทำการทดลองทดสอบระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์และชนิดของกระดาษ การเก็บข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel และนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA ช่วยในการวิเคราะห์ผลเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้กระบวนการผลิตหยุด

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอปัญหาจากสมมติฐานการตรวจสอบหาสาเหตุการวิเคราะห์ปัญหา Nuisance Trip ที่ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตหยุดลงโดยทดสอบจากกระดาษ 2 ชนิด คือ CA (Carrugating Medium) กระดาษสำหรับทำลอนฟูก มีการขึ้นรูปกระดาษชั้นเดียว มีทั้งหมด 6 เกรดความหนาและชนิดที่สอง K (Kraft Liner Board) กระดาษสำหรับทำผิวกล่องมีการขึ้นรูปกระดาษสองชั้นมีเกรดที่กำหนดตามความหนาของกระดาษ 4 เกรด โดยใช้เซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติก ของ Keyence โดยเซ็นเซอร์สามารถตั้งค่าความเข้มแสงได้ 3 ค่าคือ SUPER ULTRA MEGA ทดสอบสมมติฐานโดยติดตั้งเซ็นเซอร์ห่างจากกระดาษไว้ 3 ระดับ คือ 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร ทำการทดลองและเก็บข้อมูลทางสถิติโดยการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel วิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA ในการวิเคราะห์ผลเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้กระบวนการผลิตหยุดจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ

1. ชนิดของกระดาษมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่
2. ความหนาของกระดาษมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่
3. ระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์มีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่
4. การเลือกโหมดใช้งานเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มแสงที่ต่างกันมีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ด้วยกันคือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ การจำแนกของสาเหตุที่เป็นไปได้ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของการวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงกระบวนการผลิตกระดาษ ตัวอย่างปัญหาที่พบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึง อธิบายขั้นตอนการทดลองและรวบรวมข้อมูล

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึง การวิเคราะห์ผลจากการทดลอง สรุปผลที่ได้เทียบกับสมมุติฐานที่ตั้งไว้

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายที่กล่าวถึง บทสรุปและข้อเสนอแนะแนวทางการวิจัยต่อภาคผนวก ก ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษเริ่มต้นตั้งแต่การนำไม้ไปทำเยื่อเพื่อให้ได้เส้นใยออกมาแล้วจึงนำเยื่อที่ได้ไปผสมกับสารเติมแต่งในอัตราส่วนต่างๆเพื่อปรับสมบัติกระดาษให้ได้ตรงความต้องการใช้งาน จากนั้นนำไปทำเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องจักรผลิตกระดาษ แล้วจึงนำไปแปรรูปใช้งาน กระบวนการผลิตจะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยเรียงลำดับตามขั้นตอนการปฏิบัติการจริงในโรงงานได้ดังนี้

1. การผลิตเยื่อ (Pulping)
2. การเตรียมน้ำเยื่อ (stock Preparation)
3. การทำแผ่นกระดาษ (Papermaking)
4. การปรับปรุงสมบัติกระดาษขณะเดินแผ่น (Web Modification)
5. การแปรรูป

2.1.1 การผลิตเยื่อ

วัตถุประสงค์หลักของการผลิตเยื่อ เพื่อต้องการแยกเส้นใยออกมาจากองค์ประกอบอื่นของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้หลายวิธีทั้งโดยวิธีเคมีหรือเชิงกลในบางกรณีอาจต้องนำไปผ่านการฟอกให้ขาวก่อน ในการผลิตเยื่อจึงประกอบด้วยกรรมวิธีผลิตเยื่อและการฟอกเยื่อกรรมวิธีผลิตเยื่อ (Pulping Process) เยื่อมีหลายชนิด การเรียกชื่อขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิต ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบต่างๆของพลังงานความร้อน พลังงานเคมี และพลังงานกลการผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical Pulping Process) จะใช้พลังงานกลควบคุมไปกับพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมา โดยท่อนไม้ ซีนไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัดจนชิ้นไม้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ เยื่อที่เรียกได้ว่าเยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกล ให้ผลผลิตเยื่อในช่วงมากกว่าร้อยละ 85% เยื่อไม้บดมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์มีการขาดและตัดเป็นท่อน ๆ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของเส้นใยปนอยู่ด้วยในเยื่อไม้บดจึงประกอบด้วย เส้นใยฝอย (Fines) ซึ่งเกิดจากการฉีกขาดของเส้นใย, เส้นใยเดี่ยว (Individual Fiber) ไม่ค่อยสมบูรณ์ มีมัดขอเส้นใย (Bundle of Fiber) ซึ่ง ประกอบด้วยเส้นใยหลาย ๆ เส้นเกาะติดกันเป็นมัด เยื่อชนิดนี้เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษ จะให้คุณสมบัติตามส่วนประกอบทั้ง 3 คือ เส้นใยฝอยจะเพิ่มคุณสมบัติด้านทึบแสง เส้นใยซึ่งไม่ค่อยสมบูรณ์ และยังคงมีลิกนิน ตกค้างอยู่มากทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ การกลบสีเร็ว เยื่อชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำกระดาษที่ต้องรับแรงสูงหรือเก็บนาน ๆ มีราคาถูก เหมาะสำหรับทำสิ่งพิมพ์ราคาถูก เช่น หนังสือพิมพ์ หรือใช้เป็นเยื่อชั้นในกระดาษแข็ง

การผลิตเยื่อเคมี (Chemical Pulping Process) การผลิตเยื่อตามกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมี และพลังงานความร้อนในกรทำให้ เส้นใยแยกจากกัน โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าหม้อต้มเยื่อ (Digester) สาร เคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไป เหลือส่วนที่ไม่ละลาย คือเยื่อ เยื่อเคมีมีหลายชนิด เรียกชื่อตามสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเช่น เยื่อซัลเฟต เยื่อซัลไฟต์ และ เยื่อโซดา เยื่อเคมีให้ผลผลิตเยื่อประมาณร้อยละ 40 มีลักษณะนุ่ม สีค่อนข้างคล้ำ เส้นใยที่ได้จะสมบูรณ์ เยื่อชนิดนี้มีปริมาณการใช้สูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเพราะสามารถพัฒนาศักยภาพของเส้นใยให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เหมาะทั้งใช้ในงานรับแรงและเพื่อการสื่อสารถ้าใช้ในงานรับแรง เช่น นำไปทำกระดาษบรรจุภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องฟอก แต่ถ้าใช้เพื่อการสื่อสารจะต้องนำไปฟอกให้ขาวก่อนเยื่อและเศษกระดาษ (Secondary Pulp) ในปัจจุบันเศษกระดาษ (Reclaimed and Waste Paper) นับได้ว่าเป็นแหล่งเส้นใยที่สำคัญแหล่งหนึ่ง ได้มีการนำเส้นใยกระดาษที่ใช้แล้วทั้งภายในและภายนอกประเทศมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษเยื่อที่ได้จากเศษกระดาษที่ใช้แล้วเรียกว่า Secondary Pulp ส่วนเยื่อที่ยังไม่เคยใช้ทำกระดาษเรียกว่า Virgin Pulp เส้นใยที่ได้จากเศษกระดาษชนิดนี้เรียกว่า Recycled Fiber เนื่อง จากกระดาษที่ผ่านการใช้แล้วมีมากมายหลายประเภท เช่น ถ้าเป็นกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ต่าง ๆ ก่อนนำมาทำเป็นเยื่อต้องผ่านกระบวนการเอหมึกออก (Deinking) เสียก่อนแล้วจึงนำไปฟอก (Bleaching) ให้ขาว สำหรับนำไปผลิตกระดาษสำหรับพิมพ์ หรือกระดาษชำระ แต่ถ้าจะนำไปผลิตกระดาษเหนียว หรือกระดาษสีน้ำตาลก็ไม่จำเป็นต้องเอหมึกออก เยื่อจากกระดาษหรือเศษกระดาษที่ได้ส่วนมากจะนำไปเป็นวัตถุดิบในการ ผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ทำเป็นเยื่อชั้นในกระดาษแข็ง หรือทำกระดาษชำระเป็นต้น

การฟอกเยื่อ (Bleaching) เป็นการทำให้เยื่อมีสีขาวเหมาะกับการใช้กระดาษเพื่อการสื่อสารต่าง ๆ แบ่งเป็น 2 วิธี คือ

- วิธีฟอกเยื่อเพื่อขจัดลิกนินออก (Removing Lignin)
- วิธีฟอกเยื่อเพื่อเปลี่ยนสีของลิกนินให้อยู่ในรูปไม่มีสี (Bleaching Lignin) เยื่อเคมีจะฟอกโดยใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับบิกนินแล้วกำจัดลิกนินออกการฟอกแบบนี้มีหลายขั้นตอนโดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3-6 ขั้นตอน (CEH CEDEP CEOP) เยื่อที่ได้มีความขาวสว่างสูงประมาณร้อยละ 80-95 เมื่อวัดด้วยเครื่องวัดแบบ Elrepho ขั้นตอนในการฟอกจะมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอกและขั้นตอนการฟอกจะเรียงลำดับตามอักษรที่ใช้เรียก เช่น การฟอกแบบ CEDED

ตารางที่ 2.1 รายชื่อสารเคมีที่ใช้ฟอกเยื่อ

สารเคมี	สัญลักษณ์	เรียกชื่อขั้นตอนการฟอก
Chlorine	C	ขั้นคลอรีนชัน (Chlorination Stage)
Sodium hydroxide	E	ขั้นแอ็กซ์แทรกชัน (Extraction Stage)
Calcium hypochlorite	H	ขั้นไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorite Stage)
Chlorine dioxide	D	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorinedioxide Stage)
Hydrogen peroxide	P	ขั้นเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Stage)
Oxygen	O	ขั้นออกซิเจน (Oxygen Stage)
Ozone	Z	ขั้นโอโซน (Ozone Stage)
Acid	A	ขั้นแอซิด (Acid Stage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเตรียมน้ำเยื่อ

ในขั้นการเตรียมน้ำเยื่อนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ เพื่อพัฒนาศักยภาพของเส้นใย โดยการนำเยื่อไปบด และ ปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยการผสมหรือใส่สารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่า “น้ำเยื่อ” หรือ “สต็อก” (stock) เยื่อที่นำมาทำกระดาษทุกชนิดจะต้องผ่านการบด มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของเยื่อ เยื่อบางชนิดไม่จำเป็นต้องบด เช่น เยื่อไม้บด และเยื่อเวียนทำใหม่ในขั้นตอนการเตรียมน้ำเยื่อ ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่ทำหน้าที่ในการบดและผสมโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการเรียงลำดับดังนี้

1. การกระจายเส้นใย (Defibering) กระจายเยื่อเพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ไฮดร่าพัลเปอร์ (Hydrapulper)



รูปที่ 2.1 ไฮดร่าพัลเปอร์ (Hydrapulper)

2. การแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเยื่อ (Screening and Cleaning) โดยใช้ pressure screen หรือ flat screener เพื่อคัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออก แล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความสะอาด เรียกว่า เซนตริฟิวด์คลีนเนอร์ (Centrifugal Cleaner) คัดแยกวัสดุอื่นออกไป โดยใช้หลักการถ่วงจำเพาะ



รูปที่ 2.2 เซนตริฟิวด์คลีนเนอร์ (Centrifugal Cleaner)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การบดเยื่อ (Refining) บดเยื่อเพื่อให้เส้นใยแตกแขนงเป็นการเพิ่มศักยภาพของพันธะระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้คือรีไฟเนอร์ (Refiner)



รูปที่ 2.3 รีไฟเนอร์ (Refiner)

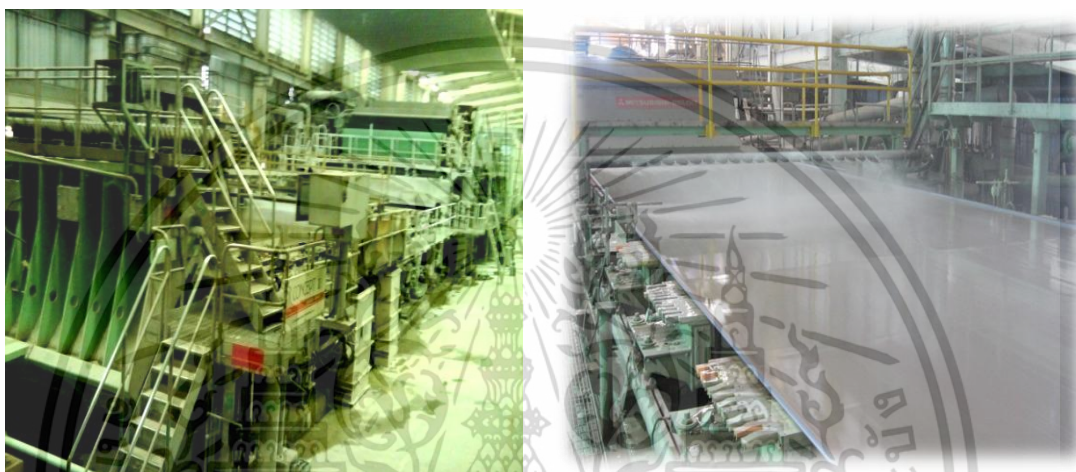
4. การผสมน้ำเยื่อ (Blending) เป็นการเติมสารเติมแต่งลงไปผสมกับเยื่อที่ผ่านการบดแล้ว โดยผสมในถังใบพัดกวน เยื่อจะถูกเก็บในถังที่เรียกว่า แมชชีน เชสต์ (Machine Chest)

5. การควบคุมความชื้นของน้ำเยื่อ Consistency Regulator ความเข้มข้นของเยื่อจะประกอบไปด้วยเยื่อกระดาษและน้ำ น้ำที่ผสมอยู่ในเยื่อกระดาษจะเป็นตัวทำให้ความชื้นของเยื่อกระดาษเปลี่ยนแปลง การใช้เยื่อกระดาษแต่ละชนิดในการขึ้นรูปกระดาษจะต้องควบคุมให้น้ำเยื่อขึ้นคงที่

2.1.3 การทำแผ่นกระดาษ

หลังการผสมน้ำเยื่อเรียบร้อยแล้วน้ำเยื่อจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องจักรผลิตกระดาษเพื่อทำเป็นแผ่นกระดาษที่ยาวต่อเนื่องกันซึ่งเรียกว่า เว็บเปเปอร์ (Web paper) เครื่องจักรที่ใช้ผลิตกระดาษมีหลายแบบ ส่วนใหญ่เป็นแบบโฟร์ดรีเนียร์ (Fourdrinier) และแบบไซลินเดอร์ (Cylinder) เครื่องจักรผลิตกระดาษทุกแบบจะมีส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่หลัก 3 ประการคือ

1. การแยกน้ำออก (Draining) ทำหน้าที่เป็นตะแกรงรองรับน้ำเยื่อ น้ำจะลอดผ่านตะแกรงทำให้เยื่อก่อตัวเป็นแผ่นเปียก (Wet Sheet Forming)



รูปที่ 2.4 Sheet Forming

2. การกดน้ำออก (Pressing) ทำหน้าที่กดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียก ทำให้เกิดการยึดติดแน่นระหว่างเส้นใยภายในกระดาษ (Consolidation Of Wet)



รูปที่ 2.5 การกดน้ำออก (Pressing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

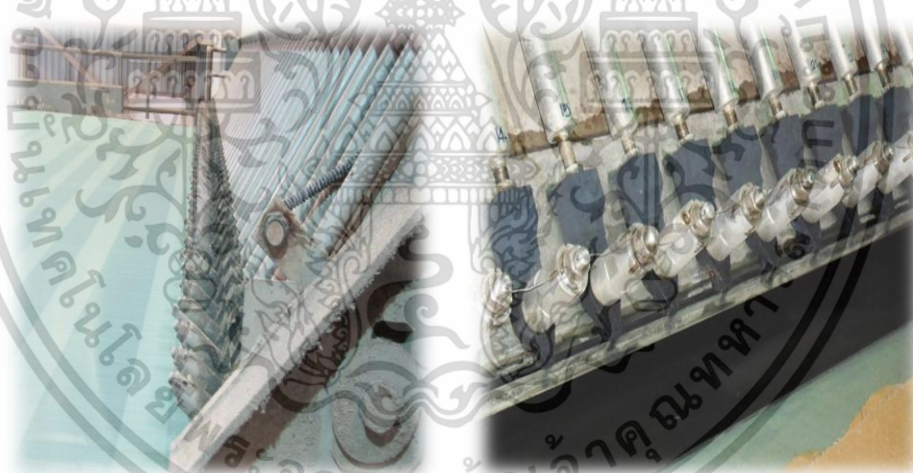
3. การอบกระดาษ (Drying) แผ่นกระดาษจะถูกอบให้แห้งเพื่อไล่น้ำออกจนกระดาษแห้งเหลือความชื้นประมาณร้อยละ 4-6



รูปที่ 2.6 การอบกระดาษ (Drying)

ส่วนประกอบหลักของเครื่องจักรผลิตกระดาษ ได้แก่

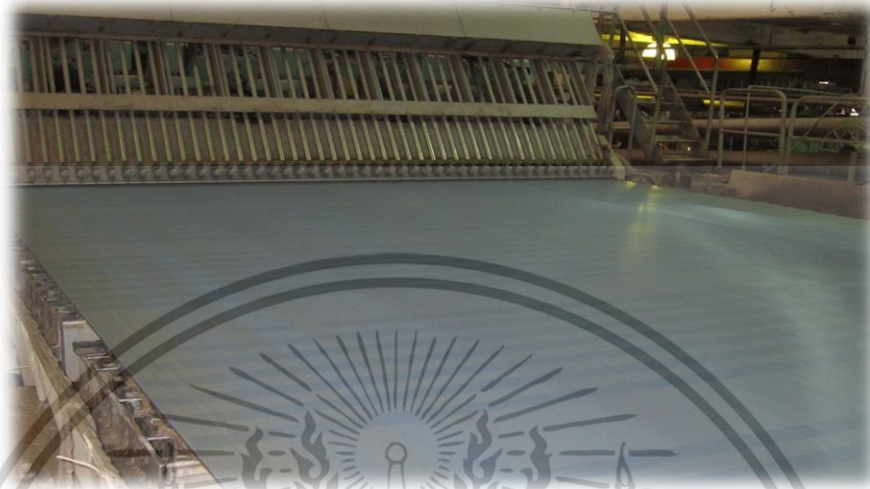
1. ถังจ่ายเยื่อ (Head Box) ทำหน้าที่จ่ายน้ำเยื่อเข้าสู่ตะแกรงลวดเดินแผ่น



รูปที่ 2.7 ถังจ่ายเยื่อ (Head Box)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนตะแกรงลวดพิมพ์แผ่น (Wire Section หรือ Forming Section) ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการ คือ การก่อตัวเป็นแผ่นกระดาษด้วยกระบวนการกรองและการแยกน้ำออก (Dewatering) แผ่นเปียกที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ร้อยละ 80



รูปที่ 2.8 ส่วนตะแกรงลวดพิมพ์แผ่น

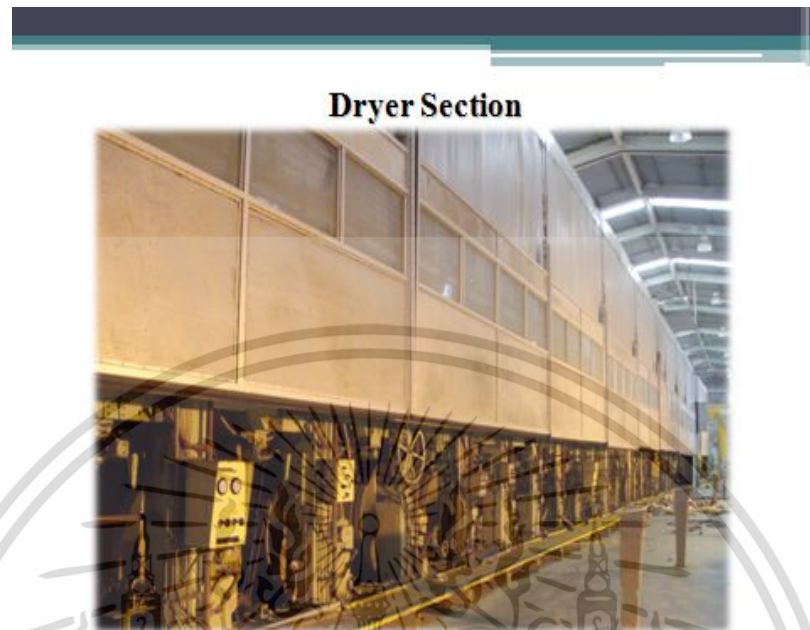
3. ส่วนกดกระดาษ (Press Section) ทำหน้าที่กีดหรือบีบน้ำออกจากแผ่นเปียกทำให้เกิดการยึดติดแน่นภายในเนื้อกระดาษ กระดาษที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 55-60 การเอาน้ำออกมาให้ได้มากกว่าด้วยแรงกดไม่สามารถทำได้เพราะจะทำให้กระดาษขาด



รูปที่ 2.9 ส่วนกดกระดาษ (Press Section)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

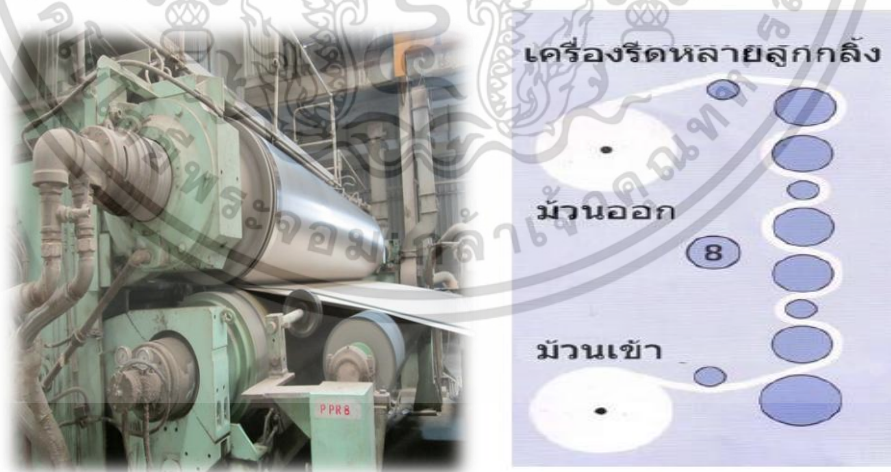
4. ส่วนอบกระดาษ (Drying Section) ในส่วนนี้จะมีลูกอบให้ความร้อนกับกระดาษ ทำให้กระดาษแห้ง โดยกระดาษที่ออกมาจากส่วนนี้จะมีความชื้นประมาณร้อยละ 4-6



Dryer Section

รูปที่ 2.10 ส่วนอบกระดาษ (Drying Section)

5. ส่วนรีดกระดาษ (Calendar) ทำหน้าที่ปรับแผ่นกระดาษให้เรียบและมีเนื้อแน่นขึ้น แต่ไม่จำเป็นต้องใช้สำหรับกระดาษบางชนิด เช่น กระดาษชำระ



รูปที่ 2.11 ส่วนรีดกระดาษ (Calendar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ส่วนพับกระดาษเข้าม้วน ทำหน้าที่นำกระดาษเก็บเข้าม้วนให้มีขนาดความจุตามความต้องการของลูกค้าและนำไปสู่ส่วนกรอแบ่งกระดาษ



รูปที่ 2.12 ส่วนพับกระดาษเข้าม้วน

2.1.4 การปรับปรุงสมบัติกระดาษขณะเดินแผ่น

การปรับปรุงสมบัติกระดาษในขณะที่เดินแผ่นทำได้ 2 ลักษณะ คือ

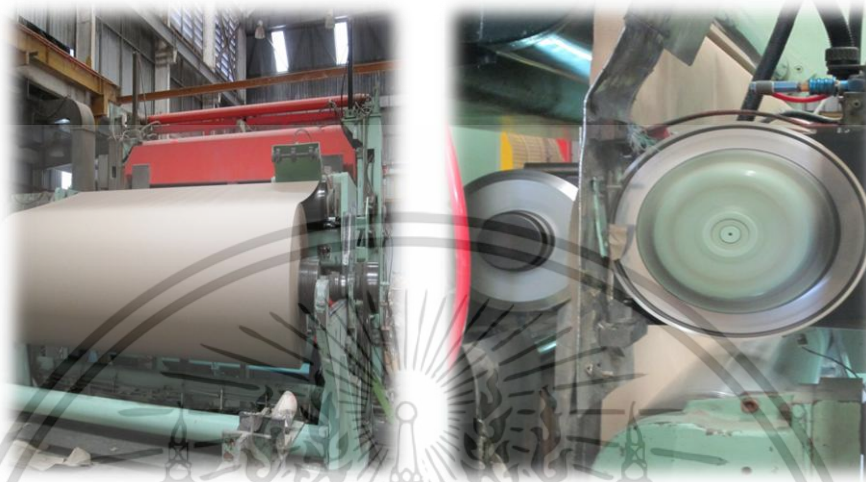
1. การปรับปรุงผิวกระดาษ (Surface Modification) กระดาษ เมื่อผ่านลูกอบแห้งแล้วจะเข้าสู่ส่วนรีดกระดาษ เพื่อปรับปรุงกระดาษให้เรียบขึ้น และ เพิ่มความหนาแน่นของเนื้อกระดาษ ส่งผลให้กระดาษบางลงนอกจากปรับปรุงผิวกระดาษ ที่ส่วนนี้ยังสามารถทำการปรับปรุงผิวกระดาษ ในขณะที่เดินแผ่นด้วยวิธีการ ฉาบผิว (Surface Sizing) ซึ่ง จะทำก่อนที่เข้าลูกอบกระดาษ โดยใช้น้ำ แป้งฉาบบนผิวกระดาษ ทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความแข็งแรงของพันธะที่ผิวกระดาษ ทำให้ผิวกระดาษแข็งแรงสามารถต้านทานการขูดลอกหรือการถูกดึงผิวกระดาษได้ดีซึ่งเป็น สมบัติที่สำคัญมากสำหรับกระดาษที่ใช้พิมพ์ กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงลักษณะนี้ ได้แก่กระดาษ ออฟเซต นอกจากนี้กระดาษทิชชูก็สามารถปรับปรุงกระดาษได้โดยเชิงกล โดยทำให้เกิดรอยย่น (Creping) หรือพิมพ์ลายนูน (Embossing) บนผิวกระดาษเพื่อให้กระดาษนุ่มมือขึ้น



รูปที่ 2.13 การปรับปรุงผิวกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเปลี่ยนรูปร่างและม้วนกระดาษ (Physical Modification) เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างของม้วนกระดาษในขณะที่เดินแผ่นเพื่อให้เหมาะสมกับม้วนขนาดที่ลูกค้าต้องการโดยการคลายม้วน (Rewinding) และ ตัดเป็นแผ่น (Sheeting)



รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนรูปร่างและม้วนกระดาษ (Physical Modification)

2.1.5 การแปรรูปกระดาษ

เป็นขั้นตอนการนำกระดาษม้วนไปแปรรูปเป็นแผ่น โดยนำไปตัดขนาดให้ได้ตามที่ลูกค้าต้องการ โดยใช้เครื่องตัดแบ่งม้วนโฟลีโอ (Folio sheeter) การแปรรูปเป็นแผ่นกระดาษจะเริ่มต้นด้วยการนำม้วนกระดาษ (Roll) เข้าสู่เครื่องตัด ซึ่งจะตัดแบ่งกระดาษม้วนย่อย 4 ม้วน (แล้วแต่ขนาดของเครื่องของโรงงานนั้นม้วนกระดาษย่อยจะถูกส่งต่อเข้าสู่ชุดมีดตัด (Rotary Fly Knife) ตัด กระดาษแต่ละม้วนให้เป็นแผ่นจนได้จำนวนที่ต้องการแล้วจึงส่งไปห่อแต่ละห่อจะมีจำนวนแผ่นระบุไว้อย่างแน่นอน จำนวนบรรจุขึ้นอยู่กับลูกค้ากำหนดและน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษด้วย กระดาษแต่ละห่อจะรอการบรรจุรวมเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าต่อไป



รูปที่ 2.15 การแปรรูปกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การวัดและการควบคุมการผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษได้ก่อกำเนิดจากสูตรดั้งเดิมจนเท่าทุกวันนี้กว่า 2000 ปี ด้วยหลักการที่นำเส้นใยจากเยื่อไม้มาละลายน้ำ จนผสมกวนเข้ากันแล้วนำไปผึ่งบนตะแกรงพร้อมกับค่อยๆรีดน้ำออกจนเส้นใยค่อย ๆ เกาะตัวกันกลายเป็นแผ่นกระดาษตามรูปทรงที่รองรับไว้ทุกวันนี้กรรมวิธีในการผลิตยังมีพื้นฐานเหมือนแต่ก่อนเพียงแต่อาศัยเครื่องจักรที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองประสิทธิภาพการผลิตของโรงงาน โครงสร้างที่ซับซ้อนของเครื่องจักรรวมทั้งยังวิธีการผสมผสานกันของเทคนิคที่หลากหลายสาขาในเครื่องนั้น ถูกกำหนดรวมกันจากวัตถุประสงค์การผลิตที่แตกต่างกันเช่น เพื่อการผลิตกระดาษเขียนกล่องกระดาษหรือกระดาษแข็งและก็ยังขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ด้วย เครื่องจักรที่ใหญ่ที่สุดที่ใช้ในการผลิต ณ วันนี้สามารถผลิตกระดาษที่มีหน้ากว้างได้ถึง 10 เมตร ความยาว 120 เมตร ด้วยความเร็วภายใน 1 นาทีสามารถผลิตได้ถึง 1,400 เมตร เพียงแค่ไม่กี่วินาทีที่ส่วนผสมของเส้นใยละลายน้ำก็จะถูกดึงไปบนตะแกรงสายพานลำเลียงแล้วถูกส่งผ่านไปยังส่วนของกระบวนการทำแห้งจนกลายเป็นกระดาษขึ้นรูปสำเร็จเส้นใยละลานน้ำ นี้จะถูกจัดสรรในอัตราส่วน 1:100 ต่อน้ำผสมเจือจางแล้วจะถูกนำไปผสมกับสารผสมตัวช่วยต่างๆเพื่อให้เส้นใยยึดติดหรือมีความคงทนดีขึ้นจากนี้ก็จะเข้าสู่เครื่องผลิตกระดาษเส้นใยนี้จะทับถมและเรียงตัวกันบนตะแกรงขณะเดียวกันที่น้ำผสมเจือจางจะไหลออกแล้วถูกดูดออกจากระบบช่วงกระบวนการนี้เส้นใยจะทักตัวกันอย่างสม่ำเสมอแล้วนำไปอัดด้วยแรงกดน้ำที่คงเหลือนั้นก็จะถูกรีดออกอีกจากนั้นจะถูกเป่าด้วยไอร้อนจนกลายเป็นแผ่นกระดาษในที่สุดแล้วจึงนำ มาม้วนเก็บด้วยแกนเหล็กหรือเรียกว่า (Tambour)

2.2.1 ชนิดของกระดาษ

การผลิตกระดาษกราฟสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แบบแรกที่เรียกว่า Corrugating Medium Paper (CA) ชนิดที่สองเป็นกระดาษกราฟที่ไลท์เนอร์บอร์ด (Kraft Liner Board) ทั้งสองประเภทนี้ตั้งชื่อตามความหนาและเทคนิคการผลิตกระดาษในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดและความหนาของกระดาษ

Paper Type	Thickness (g /m ²)					
	100	110	115	125	150	180
CA						
KI	125	145	175			
KT	125	140	205			
KA	125	145	175	220		
KL	125	175	205			
AA	125	145	185	220		

CA กระดาษกราฟสำหรับทำลอนฟูก มีคุณสมบัติความแข็งแรงในการป้องกันการกระแทกสำหรับทำลอนลูกฟูกขนาดต่างๆได้ทุกลอนให้คุณภาพสูง ความแข็งแรงสัมพันธ์กับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ กรัม/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KI กระดาษกราฟที่สีน้ำตาลอ่อนสำหรับทำฝีกกล่อง เหมาะกับงานพิมพ์ภาพหรือตัวหนังสือ ให้สีสวยงาม นิยมใช้ในสินค้าที่ไม่นิยมความแข็งแรงมาก

KT กระดาษกราฟที่สีน้ำตาลสำหรับฝีกกล่อง ผลิตจากเยื่อ Recycled 100% เพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมแต่ยังคงความสวยงามและความแข็งแรงเหมาะสำหรับสินค้าส่งออกที่กำหนดให้ใช้วัสดุ Recycled ทั้งหมด

KA กระดาษกราฟที่สีเหลืองทองสำหรับทำฝีกกล่องมีความแข็งแรงทนทานเป็นพิเศษสามารถรองรับน้ำหนักได้ดีมากและเป็นสีที่นิยมใช้กันมากในประเทศเหมาะสำหรับสินค้าอะไหล่ยนต์ อาหาร กระป๋อง กล่องเฟอร์นิเจอร์

KL กระดาษกราฟที่สีน้ำตาลสำหรับทำฝีกกล่องมีโทนสีใกล้เคียงกับกระดาษต่างประเทศเป็นที่ยอมรับกันในสากล เหมาะสำหรับการใช้ผลิตกล่องสำหรับสินค้าส่งออกทุกชนิด

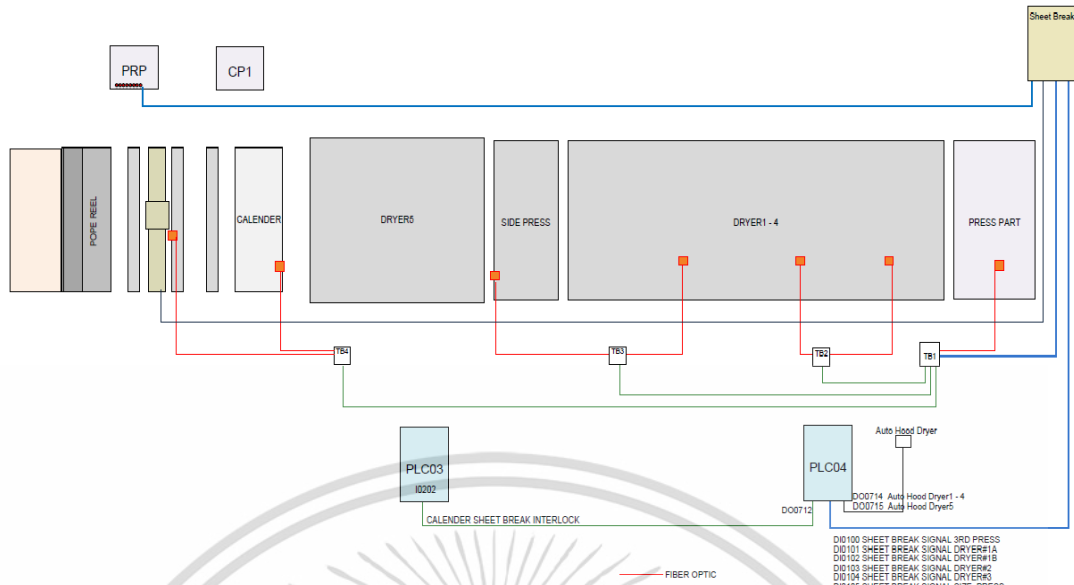
AA กระดาษกราฟสำหรับทำฝีกกล่องชนิดใหม่พัฒนาขึ้นเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้า โดยคุณภาพของกระดาษจะมีความแข็งแรงสูงและมีระดับความชื้นที่เหมาะสม

2.2.2 การวัดและการควบคุมกระบวนการผลิตกระดาษ

เครื่องจักรสำหรับผลิตกระดาษประกอบด้วย 6 ส่วนกระบวนการหลัก ที่มีการทำงานที่หน้าแตกต่างกัน คือ

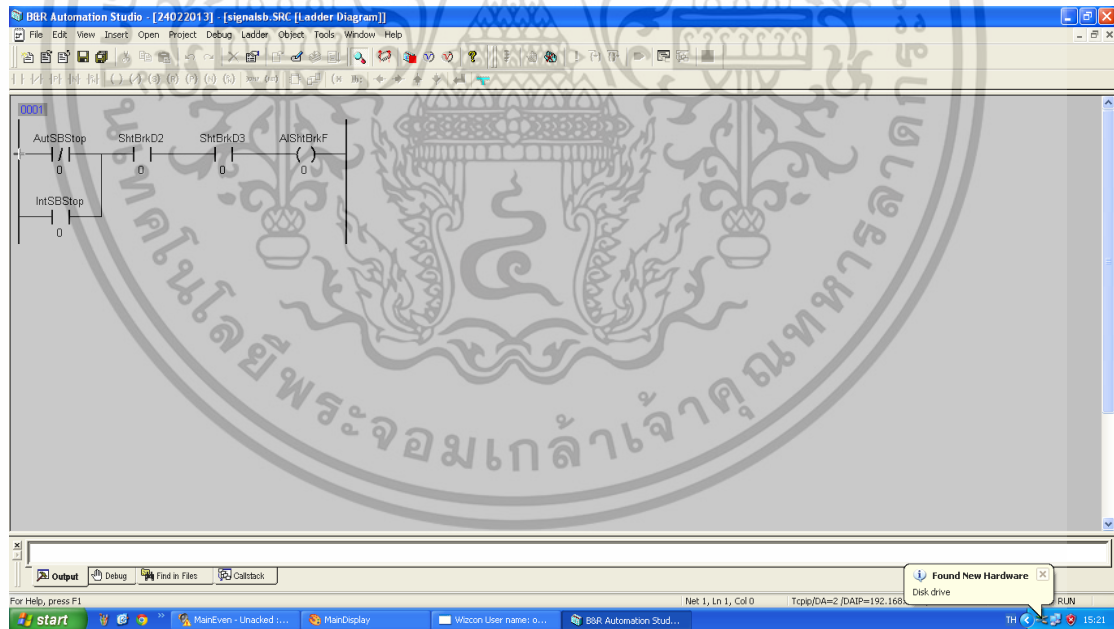
1. ถังจ่ายเยื่อ (Head Box) ทำหน้าที่ในการปล่อยจ่ายน้ำเยื่อ
2. ส่วนตะแกรงลวดพิมพ์แผ่น (Wire Section) ทำหน้าที่ขึ้นรูปกระดาษ
3. ส่วนการกดกระดาษ (Press section) ทำหน้าที่กดอัด รีดน้ำจากกระดาษ
4. ส่วนอบกระดาษ (Dryer section) ทำหน้าที่อบกระดาษให้แห้ง
5. ส่วนรีดกระดาษ (Calender) ทำหน้าที่ขัดผิวกระดาษเพิ่มความมันเงา
6. ส่วนพับกระดาษเข้าม้วน (Pope Reel section) ทำหน้าที่ม้วนเก็บกระดาษ

ซึ่งแต่ละกระบวนการจะมีการนำเซ็นเซอร์ที่มีความแตกต่างตามความเหมาะสมของแต่ละกระบวนการมาใช้งานในการตรวจวัดสถานะของกระดาษที่แตกต่างกัน ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำเซ็นเซอร์ส่วนของกระบวนการที่ 4 ส่วนอบกระดาษ (Dryer section) มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจากสมมุติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อช่วยวิเคราะห์การทำงานของเซ็นเซอร์ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ในส่วนของกระบวนการอบกระดาษมี ระยะทางความยาวของ 50 เมตร มีการแบ่งกระบวนการย่อยออกเป็น 5 ส่วนเรียกว่า Dryer 1 Dryer 2 Dryer 3 Dryer 4 และ Dryer 5 มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ตามตำแหน่งย่อยๆของกระบวนการอยู่ 7 ตำแหน่ง ตำแหน่งการติดตั้งตามรูปที่ 2.16 โดยเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตำแหน่งจะมีการต่อเข้ากับ PLC ที่ควบคุมระบบ Drive ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ทำให้ลูกอบกระดาษหมุน หากเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่งใดตรวจสอบไม่พบกระดาษจะส่งสัญญาณไปที่ PLC เพื่อให้หยุดระบบ Drive ป้องกันความเสียหายต่อกระบวนการผลิต และสัญญาณการสั่งหยุดระบบหรือความผิดปกติของกระบวนการผลิตที่เกิดจากเซ็นเซอร์จะมีสัญญาณ Alarm แจ้งเตือนที่ระบบ SCADA ของระบบควบคุม Drive



รูปที่ 2.16 ตำแหน่งการติดตั้งใช้งานเซ็นเซอร์

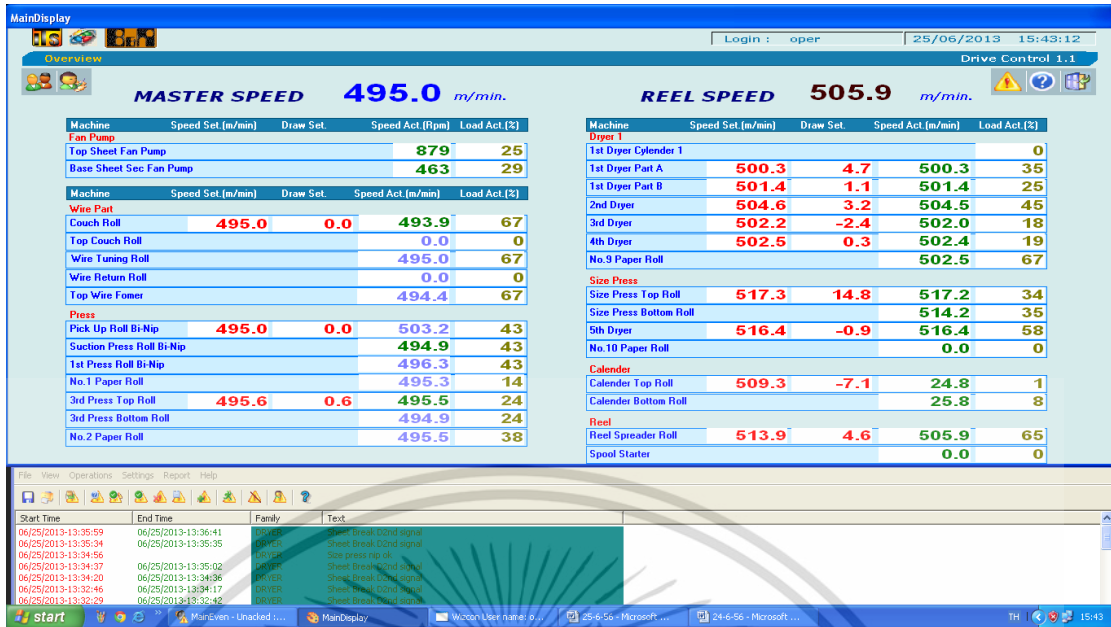
ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ตามชุดลูกอบกระดาษชุดต่าง ๆ ที่มีการติดตั้ง (นับจากขวามือ ไป ซ้ายมือ)



รูปที่ 2.17 การต่อสัญญาณSensor ไป Inter Lock กับชุด Control Drive

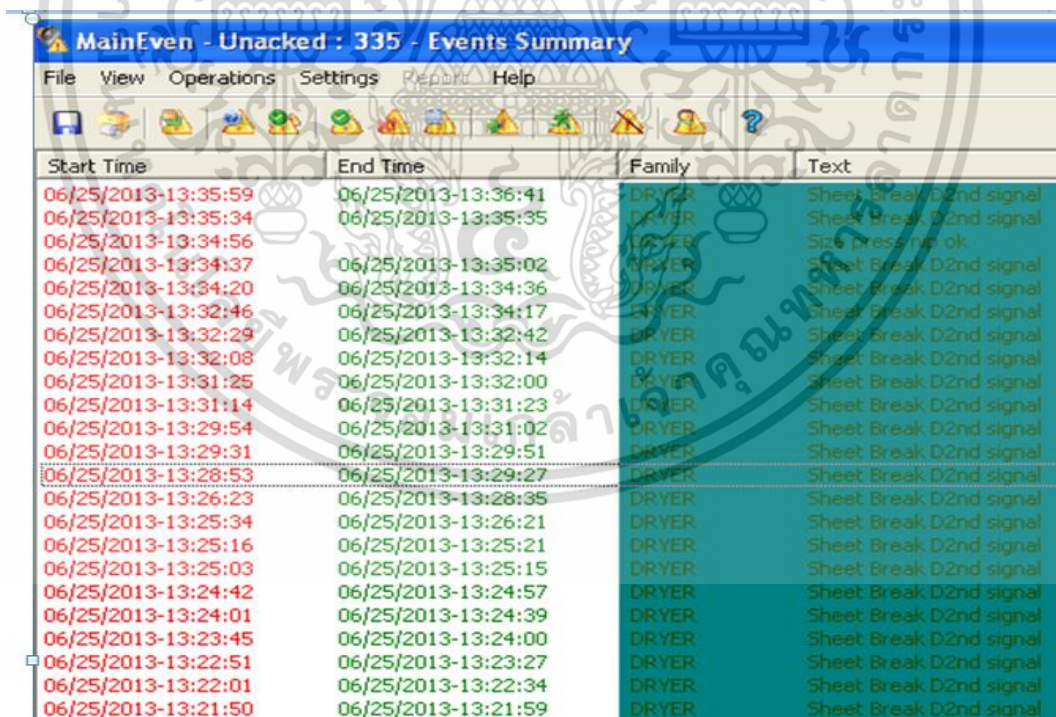
แลตเตอร์แสดงการต่อสัญญาณ Sensor ไป Inter Lock กับชุด Control Drive
เงื่อนไขการทำงานต้องได้รับสัญญาณจาก Sensor Dryer1 Dryer2 มาสองสัญญาณจึงจะสามารถสั่ง
หยุดระบบ Drive ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 หน้าควบคุมความเร็วมอเตอร์ และ Load Motor ระบบ SCADA

หน้าจอของระบบ SCADA ตามรูปที่ 2.18 แสดง Load Motor และความเร็วของลูกอบ สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องผลิตกระดาษ

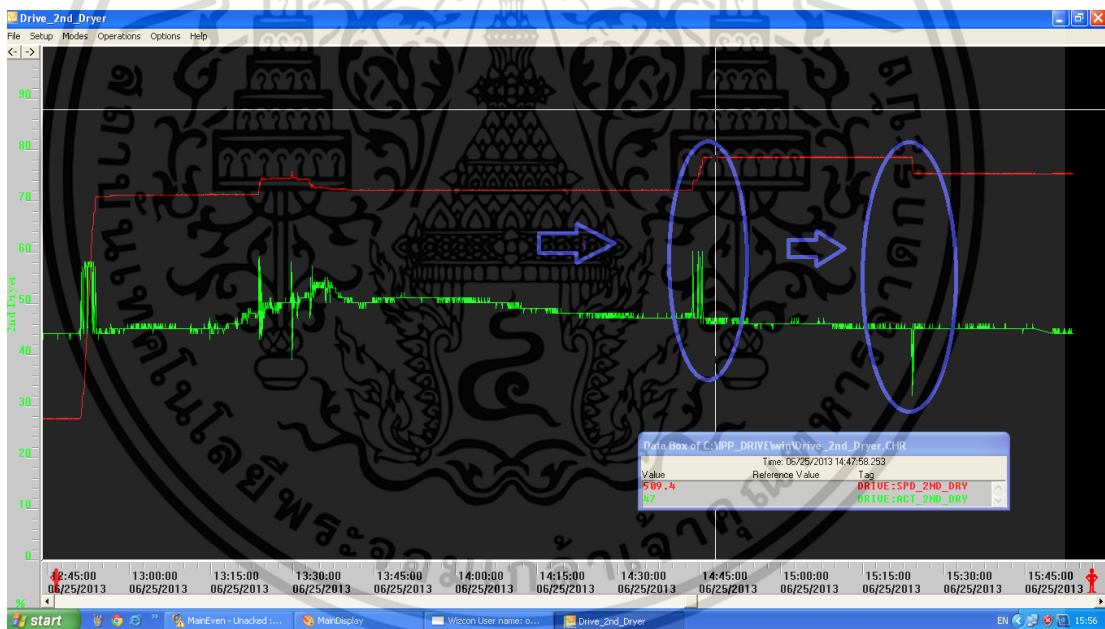


รูปที่ 2.19 สัญญาณ Alarm แจ้งเตือนความผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 กราฟสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติ



รูปที่ 2.21 กราฟสัญญาณ Sheet Break ที่ Dryer#2 เส้นกราฟสีแดง

ในรูปที่ 2.21 แสดงการ Sheet Break ที่ Dryer#2 เส้นกราฟสีแดงด้านบนแสดงการปรับเพิ่มความเร็วมอเตอร์ในการเพิ่มความเร็วที่ลูกอบกระดาษ (Speed) ที่กราฟสีเขียวด้านล่างแสดงการเปลี่ยนแปลงLoad ของมอเตอร์จะแปลงผันตามเส้นกราฟสีแดงซึ่งเห็นได้จากตำแหน่งที่ 1 ทางซ้ายเมื่อกราฟเส้นสีแดงถูกปรับเพิ่มความเร็วขึ้นกราฟสีเขียวก็จะเพิ่มตามตำแหน่งที่ 2 ทางด้านเมื่อกราฟสีแดงอยู่ในช่วงลดลง กราฟสีเขียวก็จะตกลงด้วยและจะเห็นว่าขณะกราฟสีเขียวที่ตกลงจะมี Alarm ข้อความแจ้งเตือนความผิดปกติของการทำงานของมอเตอร์ประกอบด้วย ชุดSensor Press#3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dryer1 Dryer 2 Dryer3 Size Press Calender Pope Reel รวมทั้งหมด 7 ตำแหน่ง มีการนำสัญญาณ Signal Sensor ที่ Dryer1 และ Dryer 2 ไป Inter Lock กับชุด Control Drive เพื่อสั่งหยุดการทำงานของ Motor เมื่อ Sensor แจ้งว่ากระดาษขาด หากลูกอบกระดาษไม่หยุดหมุนเมื่อมีสัญญาณการแจ้งว่ากระดาษขาดจะทำให้กระดาษไปพันลูกอบกระดาษทำให้เสียเวลาอีกมากกว่าจะนำกระดาษที่พันลูกอบออกได้

2.2.3 ทฤษฎีพื้นฐานของเซ็นเซอร์

Digital Fiber optic Sensor นำมาประยุกต์การใช้งานทำหน้าที่ตรวจจับสถานะของกระดาษ โดยการส่งลำแสงไปที่กระดาษที่วิ่งผ่านและสะท้อนกลับมา มีโหมดกำหนดสำหรับความเข้มแสง 3 โหมด ได้แก่ Super Mode Ultra Mode Mega Mode แต่ละโหมดจะมีความเข้มแสงที่ต่างกัน กำหนดค่า Current Value ที่ 100.00 ทั้ง 3 Mode กำหนดประเภทของกระดาษที่ใช้เป็น 2 ประเภท คือ Corrugating Medium และ Kraft Liner Board ซึ่งมีเกรดความหนา 7 เกรด ติดตั้ง Sensor ที่ระยะห่างจากวัตถุสะท้อนกับ 3 ตำแหน่ง คือ 10 cm 15 cm 20 cm ตั้งค่า Off Set ที่ current Value ที่ 50 มีค่าความผิดพลาดที่ ± 20



รูปที่ 2.22 รูปการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับกระดาษ

สัญญาณ output ที่ได้จาก เซ็นเซอร์จะแสดงในรูปที่ 2.2 โดยจะใช้เซ็นเซอร์ในการ Digital Fiber optic ของ KEYENCE รุ่น FS-N11 Control Systems โดยที่ลักษณะสัญญาณที่ได้จากเซ็นเซอร์จะแสดงในรูปที่ 2.21 ค่าแรงดันที่ได้จากการแปลงตามความหนาของกระดาษที่สะท้อนกลับมาที่เซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

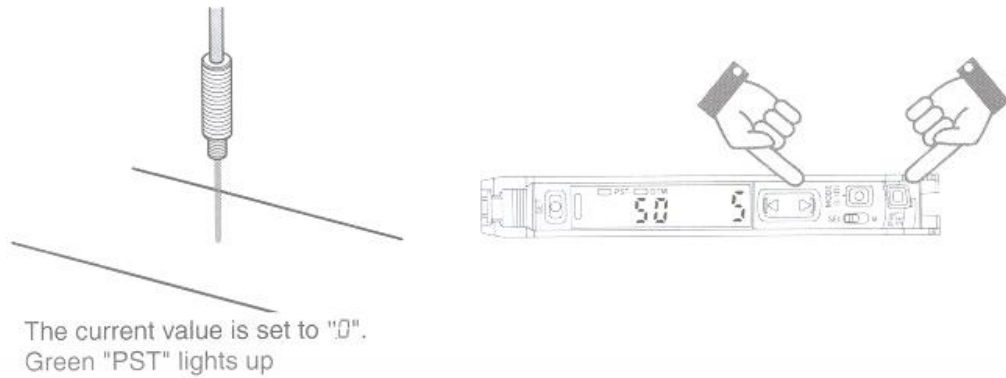
2.2.4 กระบวนการทำงานของเซ็นเซอร์

Digital Fiber optic ของ KEYENCE ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ 1 เซ็นเซอร์ (Sensors) เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด 2 แอมพลิฟายเออร์ (Amplifier) เป็นอุปกรณ์สำหรับการขยายสัญญาณและส่วนที่ใช้ยึดติดกับสายไฟเบอร์ 3 สายไฟเบอร์ (Fibers) เป็นส่วนที่ไม่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เลย ใช้สำหรับส่งผ่านและรับแสงจาก LED ของเซ็นเซอร์ไปยังชิ้นงานการติดตั้งตัวเซ็นเซอร์จะติดตั้ง บริเวณด้านนอกหรือบริเวณชุดควบคุม จะมีเพียงส่วนของสายไฟเบอร์และส่วนหัวเท่านั้นที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่ที่ตรวจจับชิ้นงาน เซ็นเซอร์จะส่งลำแสงแอลอีดีกระจายแสงสะท้อนชนิดกระทบวัตถุและสะท้อนให้เห็นในการตรวจสอบกระดาษเซ็นเซอร์รายงานสัญญาณ "ON" เมื่อพวกเขาตรวจสอบกระดาษหรือ "ปิด" เมื่อพวกเขาไม่พบกระดาษใด ๆ โหมดของการกำหนดค่าเซ็นเซอร์สามารถเลือกเป็น: ซูเปอร์ อัลตราหรือเมกะ แต่ละโหมดที่แตกต่างกันในความเข้มของแสงซึ่งจะถูกส่งจากเซ็นเซอร์และสะท้อนให้เห็นถึงการตรวจสอบกระดาษ จากรูปที่ 2.22 การกำหนดค่าความเข้มแสงในแต่ละโหมดเป็น 10 50 และ 100 ดังนั้น มูลค่าปัจจุบันความเข้มแสงซึ่งวัดจากเซ็นเซอร์ ผลที่ได้จากค่าปัจจุบันอยู่ระหว่าง 0-999 เมื่อค่าปัจจุบันตรงกับค่าการตั้งค่า "ON" ถ่ายทอดเซ็นเซอร์ส่งสัญญาณเอาท์พุทเป็นกระดาษที่มีการตรวจพบในขั้นตอนการผลิต ตัวอย่างของวิธีการเซ็นเซอร์ทำงานในโหมดซูเปอร์คือเมื่อค่าการตั้งค่าเป็น 10 เครื่องเป็น "ON" กับ 8-12 ของมูลค่าปัจจุบัน หากค่าการตั้งค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า กว่า 10 เซ็นเซอร์แสดง "ปิด" สถานะ ในโหมดอัลตราค่าการตั้งค่าคือ 50 เครื่อง "ON" กับ 45-55 ของมูลค่าปัจจุบัน หากค่าการตั้งค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 50 เซ็นเซอร์แสดง "ปิด" สถานะโหมดสุดท้ายคือโหมดเมกะ เมื่อการตั้งค่ามูลค่า 100 เซ็นเซอร์แสดง "ON" กับ 95-105 ของมูลค่าปัจจุบันหากค่าการตั้งค่าน้อยกว่าหรือมากกว่า 100 เซ็นเซอร์แสดง "ปิด" สถานะ



รูปที่ 2.23 ตำแหน่งการตั้งค่าโหมดใช้งานของเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 การตั้งกำหนดค่าเซ็นเซอร์

ในการใช้งานจะทำการติดตั้งระยะของความสูงของเซ็นเซอร์ที่ห่างจากวัตถุที่ตรวจจับที่ตำแหน่ง Zero โดย set ระยะห่างของ Probe ที่ติดตั้งบน Support ไว้ที่ 10 cm และจะได้ Vout ที่ 50 V ซึ่งเป็นค่าที่ใช้งานจริงในการ set ค่า Zero ของเซ็นเซอร์วัดตรวจจับสถานการณ์มือของกระดาศ

2.2.5 การหยุดทำงานของเครื่องจักร

ในส่วนของวิทยานิพนธ์นี้ได้มีการนำเซ็นเซอร์ส่วนของกระบวนการที่ 4 ส่วนอบกระดาศ (Dryer section) มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อช่วยวิเคราะห์การทำงานของเซ็นเซอร์ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ในส่วนของกระบวนการอบกระดาศมี ระยะทางความยาวของ 50 เมตร มีการแบ่งกระบวนการย่อยออกเป็น 5 ส่วนเรียกว่า Dryer1 Dryer2 Dryer3 Dryer4 และ Dryer5 มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ตามตำแหน่งย่อยๆของกระบวนการอยู่ 7 ตำแหน่ง ตำแหน่งการติดตั้งตามรูปที่ 2.16 โดยเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตำแหน่งจะมีการต่อเข้ากับ PLC ที่ควบคุมระบบ Drive ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนทำให้ลูกอบกระดาศหมุน หากเซ็นเซอร์ที่ตำแหน่งใดตรวจสอบไม่พบกระดาศจะส่งสัญญาณไปที่ PLC เพื่อให้หยุดระบบ Drive ป้องกันความเสียหายต่อกระบวนการผลิต และสัญญาณการสั่งหยุดระบบหรือความผิดปกติของกระบวนการผลิตที่เกิดจากเซ็นเซอร์ จะมีสัญญาณ Alarm แจ้งเตือนที่ระบบ SCADA ของระบบควบคุม Drive ดังที่แสดงในรูปที่ 2.18 ในรูปที่ 2.20 แสดงการ Sheet Break ที่ Dryer#2 เส้นกราฟสีแดง แสดงการปรับเพิ่มความเร็วมอเตอร์ในการเพิ่มความเร็วที่ลูกอบกระดาศ(speed) ที่กราฟสีเขียวแสดงการเปลี่ยนแปลง Load ของมอเตอร์ จะแปลงผันตามเส้นกราฟสีแดงซึ่งเห็นได้จากตำแหน่งที่ 1 ทางซ้ายมือเมื่อกาฟเส้นสีแดงถูกปรับเพิ่มความเร็วขึ้น กราฟสีเขียวก็จะเพิ่มตามตำแหน่งที่ 2 ทางด้านขวามือ เมื่อกาฟสีแดงอยู่ในช่วงลดลง กราฟสีเขียวก็จะตกลงด้วย และจะเห็นว่าขณะกราฟสีเขียวที่ตกลงจะมี Alarm ข้อความแจ้งเตือนความผิดปกติของการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องจักร

ในกระบวนการผลิตกระดาษทั้งสองชนิดกระดาษและที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า การเปลี่ยนชนิดของกระดาษและความหนาบางของกระดาษบ่อยครั้งทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งสัญญาณ ตรวจจับของการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับ ซึ่งสัญญาณการทำงาน of เซ็นเซอร์ส่งผลไปทำให้เครื่องจักรหยุดการทำงาน เพื่อตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดความเสียหายต่อกระบวนการผลิต โดยต้องเสียเวลาเริ่มกระบวนการผลิตใหม่อีกเป็นช่วงโง่ ดังนั้นจึงมีการสมมติฐานการวิจัยครั้งนี้คือความหนากระดาษประเภทและตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ไม่เหมาะสม เซ็นเซอร์ภาพหรือลำแสงแอลอีดีกระจายแสงสะท้อนชนิดกระทววัตถุและสะท้อนให้เห็นในการตรวจสอบกระดาษของเซ็นเซอร์ เพื่อลดปัญหาและตรวจสอบหาเหตุที่เป็นไปได้ของเซ็นเซอร์ไม่ทำงานผิดพลาดอีกหรือเพื่อแก้ปัญหาให้ผิดพลาดน้อยที่สุด

วิทยานิพนธ์นี้จะนำสมมติการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากการทดลองและนำหลักการทางสถิติวิศวกรรมมาพิสูจน์สมมติฐานเกี่ยวกับระยะของตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์และความหนาของกระดาษที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์ โดยจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (Two-Way ANOVA) ซึ่งในการวิเคราะห์จะกำหนดตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

วิธีปฏิบัติ คือ ชนิดความหนาของกระดาษ
ปัจจัยกลุ่ม คือ ระยะห่างต่าง ๆ ของการติดตั้งเซ็นเซอร์

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ชนิดความหนาของกระดาษไม่มีผลต่อค่าตอบสนองของเซนเซอร์)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ชนิดความหนาของกระดาษที่ใช้มีผลต่อค่าตอบสนองของเซนเซอร์)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

$H_0 : \beta_i = 0 ; \forall i$ (ระยะห่างต่างๆของการติดตั้งเซ็นเซอร์ไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง)

$H_1 : \beta_i \neq 0 ; \exists i$ (ระยะห่างต่างๆของการติดตั้งเซ็นเซอร์มีผลต่อค่าตอบสนอง)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

โดยกำหนดค่าความถูกต้องของสมมติฐานไว้ที่ 95% นั่นก็คือการกำหนดค่า $\alpha = 0.05$ และจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (Two-Way ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ช่วยในการวิเคราะห์ค่าผลการทดลอง ในแต่ละกรณี

การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (Two-Way ANOVA) คือการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างกันโดยเรียกปัจจัยหนึ่งว่าวิธีปฏิบัติ ปัจจัยที่สองคือ ปัจจัยกลุ่ม (ลักษณะของข้อมูลที่สำคัญคือ ภายในกลุ่มเดียวกันต้องมีความคล้ายกันมากที่สุดและต่างกลุ่มกันมีความแตกต่างกันมากที่สุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

ลำดับที่	วิธีปฏิบัติ					T.j รวม	ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	...i...	A		
1	Y ₁₁	Y ₂₁	Y ₃₁	...Y _{i1} ...	Y _{a1}	T.1	$\bar{y}_{.1}$
2	Y ₁₂	Y ₂₂	Y ₃₂	...Y _{i2} ...	Y _{a2}	T.2	$\bar{y}_{.2}$
3	Y ₁₃	Y ₂₃	Y ₃₃	...Y _{i3} ...	Y _{a3}	T.3	$\bar{y}_{.3}$
.
.
.
b	Y _{1b}	Y _{2b}	Y _{3b}	...Y _{ib} ...	Y _{ab}	T.b	$\bar{y}_{.b}$
รวม T _{i.}	T _{1.}	T _{2.}	T _{3.}	...T _{i.} ...	T _{a.}	T _{..}	
ค่าเฉลี่ย	$\bar{y}_{.1}$	$\bar{y}_{.2}$	$\bar{y}_{.3}$... $\bar{y}_{.i}$...	$\bar{y}_{.a}$		$\bar{y}_{..}$

$\bar{y}_{.i}$ = ค่าเฉลี่ยของวิธีปฏิบัติที่ i

$\bar{y}_{..}$ = ค่าเฉลี่ยทั้งหมด

$\bar{y}_{.j}$ = ค่าเฉลี่ยกลุ่มที่ j

กรณีที่ไม่ทำซ้ำ (r=1) y_{ij} = ข้อมูลจากการทดลองที่วิธีปฏิบัติระดับที่ i ; i = 1,2,...,a
j = 1,2,...,b

$$T_{i.} = \text{ผลรวมข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } i = \sum_{j=1}^b y_{ij}$$

$$T_{.j} = \text{ผลรวมข้อมูลกลุ่มที่ } j = \sum_{i=1}^a y_{ij}$$

$$T_{..} = \text{ผลรวมข้อมูลทั้งหมด} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}$$

$$\bar{y}_{.i} = \text{ค่าเฉลี่ยข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } i = \frac{T_{i.}}{b} = \frac{\sum_{j=1}^b y_{ij}}{b}$$

$$\bar{y}_{.j} = \text{ค่าเฉลี่ยข้อมูลกลุ่มที่ } j = \frac{T_{.j}}{a} = \frac{\sum_{i=1}^a y_{ij}}{a}$$

$$\bar{y}_{..} = \text{ค่าเฉลี่ยรวม} = \frac{T_{..}}{N}$$

$$N = \text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด} = ab ; \text{กรณีไม่ทำซ้ำ (r = 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ $r > 1$; y_{ijk} = ข้อมูลจากการทดลองวิธีปฏิบัติที่ i กลุ่มที่ j ทำซ้ำครั้งที่ k โดยที่

$$i = 1, 2, \dots, a ;$$

$$j = 1, 2, \dots, b ;$$

$$k = 1, 2, \dots, r ;$$

$$\text{ผลรวมข้อมูลวิธีปฏิบัติที่ } i = T_i = \sum_j \sum_k y_{ijk}$$

$$\text{ผลรวมข้อมูลกลุ่มที่ } j = T_j = \sum_i \sum_k y_{ijk}$$

$$\text{ผลรวมข้อมูลทั้งหมด} = T_{\dots} = \sum_i \sum_j \sum_k y_{ijk}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยรวม} = \bar{y}_{\dots} = \frac{T_{\dots}}{N}$$

$$N = \text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด} = abr$$

สมการต้นแบบของการออกแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่มกรณีทั่วไป ไม่สนใจอันตรกิริยาสามารถ

เขียนได้ดังนี้ คือ $y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$

$$i = 1, 2, \dots, a; a = \text{จำนวนวิธีปฏิบัติที่ศึกษา}$$

$$j = 1, 2, \dots, b; b = \text{จำนวนกลุ่ม (Block)}$$

$$k = 1, 2, \dots, r; r = \text{จำนวนครั้งที่ทำซ้ำในแต่ละวิธีปฏิบัติที่ } i \text{ กลุ่มที่ } j$$

$$y_{ijk} - \mu = T_i + \beta_j + \epsilon_{ijk}$$

$$V(y_{ijk} - \mu) = V(y_{ijk})$$

$$= V(T_i) + V(\beta_j) + V(\epsilon_{ijk})$$

ค่าความแปรปรวนที่ปรับแล้ว = ความแปรปรวนจากวิธีปฏิบัติ + ความแปรปรวนปัจจัยกลุ่ม + ความแปรปรวนจากค่าผิดพลาด และ

$$\sum_i \sum_j (y_{ijk} - \bar{y}_{\dots})^2 = br \sum_i (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{\dots})^2 + ar \sum_j (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{\dots})^2 + \sum_i \sum_j \sum_k (y_{ijk} - \bar{y}_{i..} - \bar{y}_{.j.} + \bar{y}_{\dots})^2$$

หรือสามารถเขียนแทนด้วย $SST = SSA + SSB + SSE$

โดยที่ $SST = \text{Sum Square Total}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= \text{ผลบวกกำลังสองทั้งหมดที่ปรับแล้ว} \\
 &= \sum \sum \sum (y_{ijk} - \bar{y}_{...})^2 \\
 &= \sum \sum \sum y^2_{ijk} - \frac{T^2_{...}}{N} \\
 \text{SSA} &= \text{Sum Square Treatment} \\
 &= \text{ผลการบวกกำลังสองของปัจจัยที่ 1 (วิธีปฏิบัติ)} \\
 &= \sum_{i=1}^a \frac{T^2_{i..}}{br} - \frac{T^2_{...}}{N} = br \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i..} - \bar{y}_{...})^2 \\
 \text{SSB} &= \text{Sum Square Block} \\
 &= \text{ผลบวกกำลังสองของปัจจัยที่ 2 (กลุ่ม ; Block)} \\
 &= \sum_{i=1}^b \frac{T^2_{i..}}{ar} - \frac{T^2_{...}}{N} = ar \sum_{i=1}^b (\bar{y}_{.j.} - \bar{y}_{...})^2 \\
 \text{SSE} &= \text{Sum Square Error} \\
 &= \text{ผลบวกกำลังสองของค่าผิดพลาด} \\
 &= \text{SST} - \text{SSA} - \text{SSB}
 \end{aligned}$$

สามารถสรุปเป็นตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม กรณี $r \geq 1$
หรือ $N = abr$

Source (แหล่งที่มา)	d.f. (องศาเสรี)	SS (ผลบวกกำลังสอง)	MS (ค่าเฉลี่ยผลบวก กำลังสอง)	F (ค่าสถิติ)
Treatment (วิธีปฏิบัติ)	a - 1	SSA	MSA	$F_A = \frac{MSA}{MSE}$
Block (กลุ่ม)	b - 1	SSB	MSB	$F_A = \frac{MSB}{MSE}$
Error (ความคลาด เคลื่อน)	N - a - b + 1	SSE		
Total (adj) (ทั้งหมดที่ปรับ แล้ว)	N - 1	SST		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางสามารถนำมาวิเคราะห์สมมติฐานได้ดังนี้ คือ

$$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i \text{ (วิธีปฏิบัติไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i \text{ (วิธีปฏิบัติมีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดลอง คือ $F_A = \frac{MSA}{MSE}$; $V_A = (a-1, N - a - b + 1)$

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

หรือ $F_A > F_{\alpha, V_A}$

$$H_0 : \beta_i = 0 ; \forall i \text{ (ปัจจัยกลุ่มไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

$$H_1 : \beta_i \neq 0 ; \exists i \text{ (ปัจจัยกลุ่มมีผลต่อค่าตอบสนอง)}$$

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดลอง คือ $F_B = \frac{MSB}{MSE}$; $V_B = (b-1, N - a - b + 1)$

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

หรือ $F_B > F_{\alpha, V_B}$

2.4 บทสรุป

หลักการและทฤษฎีในบทนี้เป็นการอธิบายถึงระบบที่เกี่ยวข้อง ชนิดของการประยุกต์ใช้ เช่น เซอร์ในการตรวจจับกระดาษที่ได้นำข้อมูลรวมถึงปัญหาที่เกิดจากการทำงานที่ผิดพลาดของ เซอร์มาใช้ในการวิจัยเพื่อที่จะวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยที่ทฤษฎีที่ต่าง ๆ ที่กล่าวถึงจะใช้เป็นส่วนประกอบในการออกแบบการทดลองและใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาเหตุผลที่ สอดคล้องหรือขัดแย้งกับสมมติฐานที่ตั้งขึ้น

บทที่ 3

การวิเคราะห์ปัญหาการหยุดการทำงานของเครื่องผลิต กระดาษที่ได้ศึกษา

3.1 การเตรียมการทดลอง

การตั้งสมมติฐานการตรวจสอบหาสาเหตุการวิเคราะห์ปัญหา Nuisance Trip ที่ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตหยุดลง ได้นำแนวความคิดของการเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร (2 Way ANOVA) และการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยทดสอบจากกระดาษ 2 ชนิด มีทั้งหมด 6 เกรดจากการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับ ชนิดของกระดาษ ความหนาของกระดาษ การกำหนดค่าใช้งานเซ็นเซอร์ ระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์ จำลองการทดลองเหมือนการใช้งานจริง ทำการเก็บค่าข้อมูลของเซ็นเซอร์และนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2 Way ANOVA)

3.1.1 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

จากสมมติฐานที่ตั้งไว้จึงมีการเตรียมอุปกรณ์การทดลอง โดยการจำลองจากการใช้งานจริงของอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ประกอบด้วยรายการดังนี้

1. ชุดอุปกรณ์ไฟเบอร์ออฟติกเซ็นเซอร์
 - 1.1 ตัวเซ็นเซอร์แอมป์ลิไฟเออร์ (Amplifier)
 - 1.2 สายไฟเบอร์ออฟติก
2. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
3. ตัวอย่างชนิดของกระดาษ
4. แหล่งจ่ายไฟสำหรับอุปกรณ์



รูปที่ 3.1 การจำลองการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเซ็นเซอร์ติดตั้งตามระยะที่ตั้งสมมติฐานการทดสอบที่ระยะ 10 เซนติเมตรที่ห่างจากวัสดุที่ตรวจวัด และทดสอบโดยเปลี่ยนชนิดความหนาของการดาซ ทำการบันทึกค่าของตัวเซ็นเซอร์ที่อ่านค่าได้เก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร (2 Way ANOVA)และการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel มาช่วยในการวิเคราะห์ เมื่อทำการทดสอบโดยเปลี่ยนชนิดของกระดาซครบตามจำนวนแล้ว จึงทำการเปลี่ยนระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์ตามที่กำหนดคือ 15 เซนติเมตรและ 20 เซนติเมตรตามลำดับทดสอบโดยเปลี่ยนชนิดความหนาของการดาซทำการบันทึกค่าของตัวเซ็นเซอร์ที่อ่านค่าได้เก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร (2-Way ANOVA)ตามเดิม

3.1.2 คุณสมบัติของเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติก คือ อุปกรณ์ตรวจจับหรือตรวจวัดชิ้นงานรูปแบบหนึ่ง โดยใช้หลักการทางด้านแสงในการตรวจจับ โดยมีอุปกรณ์หลักๆ สำคัญๆ 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. เซ็นเซอร์ (Sensors) เป็นส่วนที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด แอมพลิไฟเออร์ (Amplifier) เป็นอุปกรณ์สำหรับการขยายสัญญาณ และส่วนที่ใช้ยึดติดกับสายไฟเบอร์

2. สายไฟเบอร์ (Fibers) เป็นส่วนที่ไม่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เลยใช้สำหรับส่งผ่านและรับแสงจาก LED ของเซ็นเซอร์ไปยังชิ้นงานสายไฟเบอร์ปกติจะมี 2 รูปแบบคือ 1. สายไฟเบอร์แก้ว (Glass fiber) มีข้อดีคือการรับ-ส่งแสงจะมีคุณภาพสูง ส่งได้ระยะไกลและทนต่อสภาพแวดล้อมใช้งานได้ดี แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องการตัด ตัดแต่ง สายไฟเบอร์นั้นทำได้ยากและราคาจะสูงกว่าสายไฟเบอร์พลาสติก 2. สายไฟเบอร์พลาสติก (Plastic fiber) มีข้อดีคือราคาไม่แพง การตัด ตัดแต่ง สายไฟเบอร์สามารถทำได้โดยง่าย สะดวกแก่การติดตั้ง แต่ก็มีข้อเสียในเรื่องไม่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงหรือมีการสัมผัส สารเคมี



รูปที่ 3.2 ตัวเซ็นเซอร์ไฟเบอร์ออปติก



รูปที่ 3.3 ตัวสายไฟเบอร์ออฟติก

คุณสมบัติไฟเบอร์ออฟติกเซ็นเซอร์กับเซ็นเซอร์ทางแสงทั่วไป เช่น โฟโตอิเล็กทริกเซ็นเซอร์ นั้น ลักษณะการใช้งานต่างกันอย่างไร สภาวะแบบไหนที่เหมาะสมกับการใช้ไฟเบอร์ออฟติกเซ็นเซอร์

1. พื้นที่สำหรับติดตั้งอุปกรณ์เล็กมาก หรือไม่สามารถนำโฟโตอิเล็กทริกเซ็นเซอร์เข้าไปยึดติดได้ ไฟเบอร์ออฟติกเซ็นเซอร์จะแก้ปัญหานี้ได้อย่างง่ายดาย เพียงใช้แค่ส่วนหัวของสายไฟเบอร์เพื่อติดตั้งและตรวจจับชิ้นงาน
2. บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง คงไม่เหมาะสมถ้าเราจะนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปติดตั้งใช้งานในที่ที่มี อุณหภูมิสูง แต่ส่วนของสายไฟเบอร์นั้นไม่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 480 องศาเซลเซียส
3. บริเวณหรือพื้นที่ที่ลื่นสะเทือน เนื่องจากตัวสายไฟเบอร์นั้นมีน้ำหนักที่เบามาก ฉะนั้นแรงสั่นสะเทือนจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของไฟเบอร์ออฟติก เซ็นเซอร์



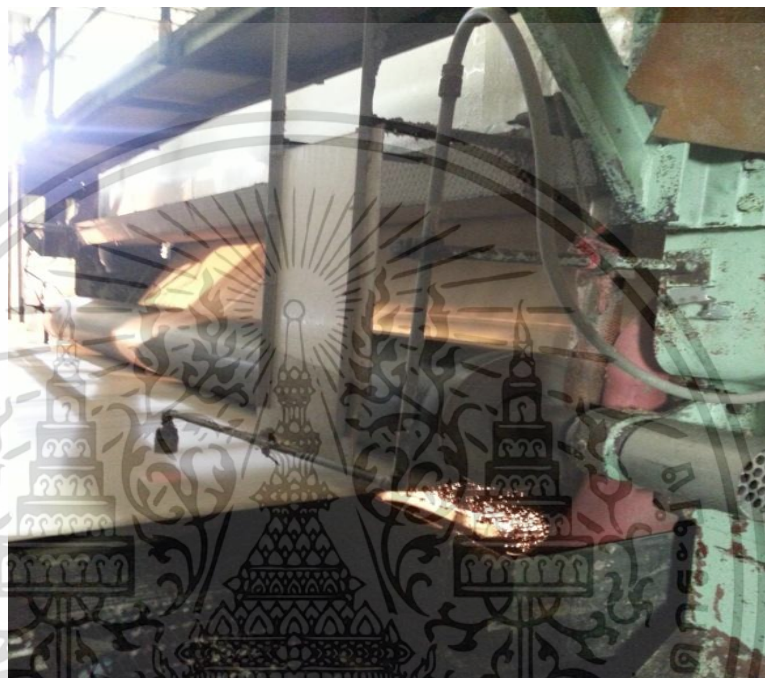
รูปที่ 3.4 การประยุกต์ใช้งานเซ็นเซอร์

4. พื้นที่ที่มีสารก่อกวนหรือมีความชื้นสูงนั้นจะไม่สามารถใช้งาน เซ็นเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้โดยตรง แต่การใช้เพียงแค่อุปกรณ์ไฟเบอร์ในรูปแบบกันสารเคมีจะเหมาะสมและสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมดังกล่าวได้ดีกว่า
5. พื้นที่ที่เสี่ยงต่อการระเบิด (Explosive area) เนื่องจากสายไฟเบอร์เป็นเพียงอุปกรณ์ที่ใช้นำแสงเท่านั้น ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลในสายไฟเบอร์
6. สภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวน เนื่องจากส่วนของสายไฟเบอร์เป็นอุปกรณ์ทางด้านวัสดุนำแสง ซึ่งไม่มีส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อสัญญาณรบกวน ฉะนั้นในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนจึงไม่ส่งผลกระทบต่อไฟเบอร์ออฟติก เซ็นเซอร์
7. รูปแบบส่วนหัวของสายไฟเบอร์ออฟติกมีหลากหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้งานได้หลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การติดตั้งใช้งานเซ็นเซอร์

จากคู่มือแนะนำการใช้งานได้กำหนดให้ระยะที่ไกลสุดที่เซ็นเซอร์ยังทำงานได้ดีนั้นคือระยะที่ห่างจากวัสดุที่ตรวจจับที่ระยะ 30 เซนติเมตร แต่จากการใช้งานจริงมักแสดงผลที่ผิดพลาด จึงทำการทดสอบหาระยะที่เหมาะสมจากการตั้งสมมุติฐานการทดลองจึงทดสอบติดตั้งเซ็นเซอร์ไว้ 3 ระยะ คือ ที่ 10 เซนติเมตร 15 เซนติเมตร 20 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งใช้งานจริงของเซ็นเซอร์

3.2 การออกแบบขั้นตอนการทดลอง

จากการที่เซ็นเซอร์ตรวจจับกระดาษแสดงผลการทำงานผิดพลาดส่งผลให้กระบวนการผลิตกระดาษต้องหยุดลง จึงมีการตั้งสมมุติฐานการตรวจสอบหาสาเหตุการวิเคราะห์ปัญหา Nuisance Trip ที่ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตหยุดลง โดยจะศึกษาจากการตั้งสมมุติฐานที่ประกอบด้วย

1. ชนิดของกระดาษมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่ โดยการเก็บข้อมูลการทำงานของเซ็นเซอร์จากตัวอย่างของกระดาษ 6 ชนิด
2. ความหนาของกระดาษมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่ โดยการเก็บข้อมูลการทำงานของเซ็นเซอร์จากตัวอย่างของกระดาษที่มีความหนาต่างกัน 7 ตัวอย่าง
3. ระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์มีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่ ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลการทำงานของเซ็นเซอร์ที่ระยะตามสมมุติฐาน 3 ระยะคือ ที่เซ็นเซอร์ห่างจากวัสดุที่ตรวจจับที่ระยะ 10 15 20 เซนติเมตร
4. การเลือกโหมดใช้งานเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มแสงที่ต่างกันมีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่ โดยทดสอบการใช้งานเซ็นเซอร์ทั้ง 3 โหมดและเก็บข้อมูลการใช้งานทั้ง 3 โหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเก็บข้อมูลทางสถิติโดยการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel และนำข้อมูลการวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA ช่วยในการวิเคราะห์ผลเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้กระบวนการผลิตหยุด

3.3 ผลการทดลอง

การทดสอบสมมุติฐานการเก็บข้อมูลการทดลอง โดยการเก็บข้อมูลจากชนิดของกระดาษที่มีความหนาต่าง ๆ จากการติดตั้งเซ็นเซอร์ในการตรวจจับวัสดุที่ 3 ระยะการติดตั้งคือที่ 10 15 และ 20 เซนติเมตร และทดลองเก็บค่าที่ฟังก์ชันการทำงานของเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ฟังก์ชันที่มีความเข้มแสงที่ต่างกัน เพื่อนำข้อมูลจากการทดลองนี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA

3.3.1 ผลการทดลองของกระดาษชนิด CA

ตารางที่ 3.1 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 10 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
CA	100	22	90	356
CA	110	24	94	373
CA	115	22	88	350
CA	125	22	87	346
CA	150	21	86	340
CA	180	21	85	340

ตารางที่ 3.2 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 15 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
CA	100	14	55	224
CA	110	14	58	232
CA	115	14	55	223
CA	125	13	54	220
CA	150	13	53	215
CA	180	13	53	217

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 20 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
CA	100	10	38	154
CA	110	10	40	159
CA	115	9	38	152
CA	125	9	38	150
CA	150	9	37	148
CA	180	9	37	149

จากการเก็บค่าของข้อมูลทั้ง 3 ตารางค่าที่ได้จะแปรผกผันตามความหนาของกระดาษ จะสังเกตได้จากผลการทดลองคือถ้าค่าของความหนามากขึ้นค่าของความเข้มแสงจะน้อยลง

3.3.2 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KI

ตารางที่ 3.4 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 10 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KI	125	26	101	401
KI	145	25	101	399
KI	175	25	100	398

ตารางที่ 3.5 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 15 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KI	125	15	62	247
KI	145	15	61	250
KI	175	15	61	245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 20 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KI	125	10	42	168
KI	145	10	42	166
KI	175	10	41	166

จากการเก็บค่าของข้อมูลทั้ง 3 ตารางค่าที่ได้จะแปรผกผันตามความหนาของกระดาษ จะสังเกตได้จากผลการทดลองคือถ้าค่าของความหนามากขึ้นค่าของความเข้มแสงจะน้อยลง

3.3.3 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KT

ตารางที่ 3.7 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 10 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KT	125	20	80	318
KT	140	20	81	321
KT	205	20	79	315

ตารางที่ 3.8 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 15 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KT	125	13	51	203
KT	140	13	51	206
KT	205	13	51	201

ตารางที่ 3.9 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 20 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KT	125	9	36	141
KT	140	9	36	143
KT	205	9	36	139

จากการเก็บค่าของข้อมูลทั้ง 3 ตารางค่าที่ได้จะแปรผกผันตามความหนาของกระดาษ จะสังเกตได้จากผลการทดลองคือถ้าค่าของความหนามากขึ้นค่าของความเข้มแสงจะน้อยลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KA

ตารางที่ 3.10 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 10 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KA	125	25	100	391
KA	145	24	97	385
KA	175	25	100	400
KA	220	24	96	380

ตารางที่ 3.11 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 15 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KA	125	15	61	245
KA	145	15	60	239
KA	175	15	61	246
KA	220	15	59	235

ตารางที่ 3.12 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 20 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KA	125	10	41	163
KA	145	10	40	160
KA	175	10	42	165
KA	220	10	40	159

จากการเก็บค่าของข้อมูลทั้ง 3 ตารางค่าที่ได้จะแปรผกผันตามความหนาของกระดาษ จะสังเกตได้จากผลการทดลองคือถ้าค่าของความหนามากขึ้นค่าของความเข้มแสงจะน้อยลง

3.3.5 ผลการทดลองของกระดาษชนิด KL

ตารางที่ 3.13 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 10 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KL	125	23	91	363
KL	175	23	93	362
KL	205	20	81	320

ตารางที่ 3.14 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 15 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KL	125	14	56	225
KL	175	14	56	228
KL	205	13	51	204

ตารางที่ 3.15 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 20 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
KL	125	10	38	153
KL	175	10	39	156
KL	205	9	36	143

จากการเก็บค่าของข้อมูลทั้ง 3 ตารางค่าที่ได้จะแปรผกผันตามความหนาของกระดาษ จะสังเกตได้จากผลการทดลองคือถ้าค่าของความหนามากขึ้นค่าของความเข้มแสงจะน้อยลง

3.3.6 ผลการทดลองของกระดาษชนิด AA

ตารางที่ 3.16 การเก็บข้อมูลกระดาษชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 cm

ชนิดของกระดาษ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 10 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
AA	125	23	91	361
AA	145	23		358
AA	185	23	93	357
AA	220	23	81	356

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.17 การเก็บข้อมูลกระดาศชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 15 cm

ชนิดของกระดาศ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 15 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
AA	125	14	91	208
AA	145	14	91	225
AA	185	14	91	225
AA	220	14	90	225

ตารางที่ 3.18 การเก็บข้อมูลกระดาศชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 20 cm

ชนิดของกระดาศ	ความหนา g/m ²	ระยะการวัดที่ 20 cm		
		SUPER	ULTRA	MEGA
		ความเข้มแสง	ความเข้มแสง	ความเข้มแสง
AA	125	10	39	155
AA	145	10	39	155
AA	185	9	39	154
AA	220	9	39	155

จากการเก็บค่าของข้อมูลทั้ง 3 ตารางค่าที่ได้จะแปรผกผันตามความหนาของกระดาศ จะสังเกตได้จากผลการทดลองคือถ้าค่าของความหนามากขึ้นค่าของความเข้มแสงจะน้อยลง

3.3.7 ผลการทดลองของระยะการติดตั้งเซ็นเซอร์

นำค่า P-Value ของระยะการติดตั้งของการเก็บข้อมูลกระดาศแต่ละชนิดที่ได้จากการทดลองเก็บค่าตัวอย่างกระดาศแต่ละชนิดมาทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.19 การวิเคราะห์ข้อมูลกระดาศที่ระยะการติดตั้งทั้ง 3 ระยะ

Types	P-value		
	SUPER	ULTRA	MEGA
CA	3.39646E-12	1.36718E-14	1.14679E-14
KI	1.46391E-06	6.73573E-09	1.55505E-08
KT	5.10709E-06	2.12156E-08	5.27801E-10
KA	3.60792E-09	1.15533E-10	1.74628E-10
KL	5.51758E-05	4.31155E-05	4.86726E-06
AA	4.23233E-15	9.20235E-12	1.0795E-08

จากตารางที่ 3.19 สรุปได้ว่าระดับพลังงานทำให้ความเข้มมีค่าแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anova: Two-Factor Without
Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
CA	6	6.843E-12	2.281E-12	7.63E-24
KI	6	2.972E-06	9.907E-07	1.407E-12
KT	6	1.025E-05	3.419E-06	1.731E-11
KA	6	7.796E-09	2.598E-09	7.995E-18
KL	6	0.0002063	6.877E-05	1.379E-09
AA	6	2.160E-08	7.202E-09	7.762E-17
S	12	0.0001235	2.058E-05	9.748E-10
U	12	8.628E-05	1.438E-05	6.194E-10
M	12	9.788E-06	1.631E-06	7.879E-12

ANOVA							
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	
Rows	5.7E-09	10	1.154E-09	10.325858	0.0267	6.6516	
Columns	5.60E-10	4	2.801E-10	2.5044986	0.6541	8.2056	
Error	2.23E-09	20	2.236E-10				
Total	8.57E-09	34					

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลระยะการติดตั้ง

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ระยะการติดตั้ง

$H_0 : \tau_i = 0$; $\forall i$ (ระยะติดตั้งในการวัดกระดาศแต่ละชนิดมีผลต่างกันหรือไม่)

$H_1 : \tau_i \neq 0$; $\exists i$ (ระยะติดตั้งเซนเซอร์ในแต่ละโหมดการวัดมีผลต่างกันหรือไม่)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.013394

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $0.013394 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะติดตั้งในการวัดกระดาศแต่ละชนิดต่างกันมีผลต่างกันและระยะติดตั้งในแต่ละโหมดการวัดมีผลไม่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.327091

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก p-value > α ; 0.327091 > 0.05

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะติดตั้งในแต่ละโหมดการวัดมีผลไม่แตกต่างกัน

3.3.8 ผลการทดลองของความหนาของกระดาษ

ตารางที่ 3.20 วิเคราะห์ข้อมูลความหนาของกระดาษ

Types	P-value		
	SUPER	ULTRA	MEGA
CA	0.015735	0.001476	0.002314
KI	0.444444	0.049383	0.272716
KT	0.444444	0.017778	0.000826
KA	0.454725	0.012380	0.012409
KL	0.058770	0.064655	0.011998
AA	0.188921	0.137679	0.738835

Anova: Two-Factor Without
Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
CA	3	0.019	0.00650	6.40E-05
KI	3	0.766	0.25551	0.039240
KT	3	0.46	0.154349	0.063188
KA	3	0.479	0.159837	0.065218
KL	3	0.135	0.045140	0.000832
AA	3	1.065	0.355144	0.111070
S	6	1.60703	0.26783	0.042159
U	6	0.28335	0.047225	0.002532
M	6	1.03909	0.173183	0.08812

ANOVA							
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit	
Rows	0.251830	5	0.050366	1.221777	0.3669	3.3258	
Columns	0.146992	2	0.073496	1.782868	0.2176	4.1028	
Error	0.412235	10	0.041223				
Total	0.811058	17					

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลความหนาของกระดาษ

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความหนาของกระดาษ

$H_0 : \tau_i = 0$; $\forall i$ (ความหนาของกระดาษมีผลต่างกันหรือไม่)

$H_1 : \tau_i \neq 0$; $\exists i$ (ความหนาของกระดาษแต่ละโหมดการวัดมีผลต่างกันหรือไม่)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.366984

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.366984 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาของกระดาษมีผลการวัดไม่ต่างกันและความหนาของกระดาษ

แต่ละโหมดการวัดไม่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความหมายมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.217662

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก p-value > α ; $0.217662 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะเวลาติดตั้งในแต่ละโหนดการวัดมีผลไม่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2-Way ANOVA

4.1 กล่าวนำ

การนำแนวความคิดของการเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร (2-Way ANOVA) และการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยทดสอบจากกระดาษ 2 ชนิด เก็บค่าข้อมูลทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์ผลเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้กระบวนการผลิตหยุด

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด CA

4.2.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเส้นเซอร์ในโหมด Super

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ CA โดยการติดตั้งเส้นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เส้นเซอร์ที่ความเข้มแสงโหมด Super นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมุติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด CA สำหรับการตั้งค่าเส้นเซอร์ในโหมด Super

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)					
	100	110	115	125	150	180
20	10	10	9	9	9	9
15	14	14	14	13	13	13
10	22	24	22	22	21	21

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	6	56	9.333333	0.266667
15	6	81	13.5	0.3
10	6	132	22	1.2
100	3	46	15.333333	37.333333
110	3	48	16	52
115	3	45	15	43
125	3	44	14.666667	44.333333
150	3	43	14.333333	37.333333
180	3	43	14.333333	37.333333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	500.1111	2	250.0556	978.4783	3.40E-12	4.102821
Columns	6.277778	5	1.255556	4.913043	0.015735078	3.325835
Error	2.555556	10	0.255556			
Total	508.9444	17				

รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์
ในโหมด Super ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง
ของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ CA : Mode Super ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $3.40E-12$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 3.40E-12 < 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.015735

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก p-value < α ; $0.015735 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.2.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ CA โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความเข้มแสงโหมด Ultra นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมุติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด CA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)					
	100	110	115	125	150	180
20	38	40	38	38	37	37
15	55	58	55	54	53	53
10	90	94	88	87	86	85

Anova: Two-Factor Without
Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	6	228	38	1.2
15	6	328	54.66667	3.466667
10	6	530	88.33333	10.66667
100	3	183	61	703
110	3	192	64	756
115	3	181	60.33333	646.3333
125	3	179	59.66667	624.3333
150	3	176	58.66667	624.3333
180	3	175	58.33333	597.3333

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	7889.333	2	3944.667	2958.5	1.37E-14	4.102821
Columns	63.33333	5	12.66667	9.5	0.0014761	3.325835
Error	13.33333	10	1.333333			
Total	7966	17				

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์
ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง
ของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ CA : Mode Ultra ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $1.37E-14$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $1.37E-14 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความชื้นไม่เท่ากัน

ที่ความหนามีผลทำให้ความชื้นแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.00147609

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $0.00147609 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนามีผลทำให้ความชื้นไม่เท่ากัน

4.2.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหนด Mega

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ CA โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความชื้นแสงโหนด Mega นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมุติฐาน ด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด CA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหนด Mega

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)					
	100	110	115	125	150	180
20	154	159	152	150	148	149
15	224	232	223	220	215	217
10	356	373	350	346	340	340

Anova: Two-Factor Without
Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	6	912	152	16.4
15	6	1331	221.8333	36.56667
10	6	2105	350.8333	155.3667
100	3	734	244.6667	10521.33
110	3	764	254.6667	11834.33
115	3	725	241.6667	10062.33
125	3	716	238.6667	9865.333
150	3	703	234.3333	9496.333
180	3	706	235.3333	9372.333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	122104.8	2	61052.39	3064.537	1.15E-14	4.10282102
Columns	842.4444	5	168.4889	8.457334	0.002314	3.32583453
Error	199.2222	10	19.92222			
Total	123146.4	17				

รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาศชนิด CA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการ
วิเคราะห์ชนิดกระดาศ CA : Mode Mega ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $1.15E-14$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

∴ จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $1.15E-14 < 0.05$
 ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน
 ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่
 โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.0023143
 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $0.0023143 < 0.05$
 ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด KI

4.3.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ KI โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความเข้มแสงโหมด Super นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KI สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)		
	125	145	175
20	10	10	10
15	15	15	15
10	26	25	25

Anova: Two-Factor Without
Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
20	3	30	10	0
15	3	45	15	0
10	3	76	25.3333	0.3333
125	3	51	17	67
145	3	50	16.6667	58.333
175	3	50	16.6667	58.333

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	366.8889	2	183.444	1651	1.46E-06	6.94472
Columns	0.222222	2	0.111111	1	0.44444444	6.94472
Error	0.444444	4	0.111111			
Total	367.55556	8				

รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Super ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการ
วิเคราะห์ชนิดกระดาษ KI :Mode Super ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $1.46E-06$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 1.46E-06 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.444444

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.444444 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาไม่ผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.3.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ KI โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความเข้มแสงโหมด Ultra นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมุติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KI สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)		
	125	145	175
20	42	42	41
15	62	61	61
10	101	101	100

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	3	125	41.66667	0.333333
15	3	184	61.33333	0.333333
10	3	302	100.6667	0.333333
125	3	205	68.33333	900.3333
145	3	204	68	907
175	3	202	67.33333	900.3333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	5414.889	2	2707.444	24367	6.74E-09	6.944272
Columns	1.555556	2	0.777778	7	0.049383	6.944272
Error	0.444444	4	0.111111			
Total	5416.889	8				

รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ KI :Mode Ultra ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $6.74E-09$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 6.74E-09 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่
โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.049382

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $0.049382 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.3.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ KI โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความเข้มแสงโหมด Mega นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมุติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KI สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)		
	125	145	175
20	168	166	166
15	247	250	245
10	401	399	398

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	3	500	166.6667	1.333333
15	3	742	247.3333	6.333333
10	3	1198	399.3333	2.333333
125	3	816	272	14041
145	3	815	271.6667	13924.33
175	3	809	269.6667	13912.33

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	83744.89	2	41872.44	16036.26	1.56E-08	6.944272
Columns	9.555556	2	4.777778	1.829787	0.272716	6.944272
Error	10.44444	4	2.611111			
Total	83764.89	8				

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด KI สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Mega ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ KI : Mode Mega ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 1.56E-08

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 1.56E-08 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่
โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.272716

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.272716 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด KT

4.4.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ KT โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความเข้มแสงโหมด Super นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KT สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ระยะ (cm)	ความหนา (g / m ²)		
	125	145	175
20	9	9	8
15	13	13	13
10	20	20	20

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	3	26	8.666667	0.333333
15	3	39	13	0
10	3	60	20	0
125	3	42	14	31
145	3	42	14	31
175	3	41	13.666667	36.333333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	196.2222	2	98.11111	883	5.11E-06	6.944272
Columns	0.222222	2	0.111111	1	0.444444	6.944272
Error	0.444444	4	0.111111			
Total	196.8889	8				

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโหมด Super ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ KT : Mode Super ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $5.11E-06$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 5.11E-06 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนาแน่นผลทำให้ความเข้มข้นแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.444444

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.444444 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาแน่นผลทำให้ความเข้มข้นไม่เท่ากัน

4.4.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์กระดาศชนิด KT สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)		
	125	145	175
20	36	36	35
15	51	51	50
10	80	81	79

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	3	107	35.66667	0.333333
15	3	152	50.66667	0.333333
10	3	240	80	1
125	3	167	55.66667	500.3333
145	3	168	56	525
175	3	164	54.66667	500.3333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	3050.889	2	1525.444	13729	2.12E-08	6.944272
Columns	2.888889	2	1.444444	13	0.017778	6.944272
Error	0.444444	4	0.111111			
Total	3054.222	8				

รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาศชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ของการวิเคราะห์ชนิดกระดาศ KT : Mode Ultra ได้ผลดังนี้ ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $2.12E-08$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 2.12E-08 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.0177777

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 0.0177777 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.4.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์กระดาศชนิด KT สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ระยะ (cm)	ความหนา (g/m^2)		
	125	145	175
20	141	143	139
15	203	206	201
10	318	321	315

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	3	423	141	4
15	3	610	203.3333	6.333333
10	3	954	318	9
125	3	662	220.6667	8066.333
145	3	670	223.3333	8146.333
175	3	655	218.3333	7969.333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	48362.89	2	24181.44	87053.2	5.28E-10	6.944272
Columns	37.55556	2	18.77778	67.6	0.000826	6.944272
Error	1.111111	4	0.277778			
Total	48401.56	8				

รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด KT สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโหมด Mega ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ KT : Mode Mega ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $5.28E-10$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 5.28E-10 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนาแน่นผลทำให้ความเข้มข้นแตกต่างกันหรือไม่
โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.000826

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $0.000826 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาแน่นผลทำให้ความเข้มข้นไม่เท่ากัน

4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาศชนิด KA

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาศ KA โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความเข้มข้นแสงโหมต Super นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมุติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

4.5.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมต Super

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์กระดาศชนิด KA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมต Super

ระยะ (cm)	ความหนา (g / m ²)			
	125	145	175	220
20	10	10	10	10
15	15	15	15	15
10	25	24	25	24

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	4	40	10	0
15	4	60	15	0
10	4	98	24.5	0.333333
125	3	50	16.66667	58.33333
145	3	49	16.33333	50.33333
175	3	50	16.66667	58.33333
220	3	49	16.33333	50.33333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	434	2	217	1953	3.61E-09	5.143253
Columns	0.333333	3	0.111111	1	0.454725	4.757063
Error	0.666667	6	0.111111			
Total	435	11				

รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์
ในโหมด Super ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการ
วิเคราะห์ชนิดกระดาษ KA : Mode Super ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $3.61E-09$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 3.61E-09 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความหนาแน่นผลทำให้ความเข้มข้นแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.454725

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.454725 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาแน่นผลทำให้ความเข้มข้นไม่เท่ากัน

4.5.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์กระดาศชนิด KA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)			
	125	145	175	220
20	41	40	42	40
15	61	60	61	59
10	100	97	100	96

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	4	163	40.75	0.916667
15	4	241	60.25	0.916667
10	4	393	98.25	4.25
125	3	202	67.33333	900.3333
145	3	197	65.66667	836.3333
175	3	203	67.66667	874.3333
220	3	195	65	811

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	6840.667	2	3420.333	6156.6	1.15533E-10	5.14325285
Columns	14.91667	3	4.972222	8.95	0.012379834	4.75706266
Error	3.333333	6	0.555556			
Total	6858.917	11				

รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาศชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์

ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ KA : Mode Ultra ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $1.15533E-10$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 1.15533E-10 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.012379834

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 0.012379834 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.5.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด KA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)			
	125	145	175	220
20	163	160	165	159
15	245	239	246	235
10	391	385	400	380

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	4	647	161.75	7.5833333
15	4	965	241.25	26.916667
10	4	1556	389	74
125	3	799	266.3333	13337.333
145	3	784	261.3333	13030.333
175	3	811	270.3333	14250.333
220	3	774	258	12607

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	106390.5	2	53195.25	5364.2269	1.74628E-10	5.143253
Columns	266	3	88.66667	8.9411765	0.01240901	4.757063
Error	59.5	6	9.916667			
Total	106716	11				

รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาศชนิด KA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์
ในโหมด Mega ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาศ KA : Mode Mega ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $1.74628E-10$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 1.74628E-10 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความหนา มีผลทำให้ความชื้นแตกต่างกันหรือไม่
 โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.01240901
 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$
 \therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $0.01240901 < 0.05$
 ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความชื้นไม่เท่ากัน

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาศชนิด KL

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาศ KL โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความชื้นแสงโหมด Super นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

4.6.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์กระดาศชนิด KL สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)		
	125	175	205
20	10	10	9
15	14	14	13
10	23	23	20

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	4	647	161.75	7.583333
15	4	965	241.25	26.91667
10	4	1556	389	74
125	3	799	266.3333	13337.33
145	3	784	261.3333	13030.33
175	3	811	270.3333	14250.33
220	3	774	258	12607

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	106390.5	2	53195.25	5364.227	1.75E-10	5.143253
Columns	266	3	88.66667	8.941176	0.012409	4.757063
Error	59.5	6	9.916667			
Total	106716	11				

รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์
ในโหมด Super ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการ
วิเคราะห์ชนิดกระดาษ KL : Mode Super ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $1.75E-10$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 1.75E-10 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนามีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.012409

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$; $0.012409 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาไม่ผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.6.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์กระตาศชนิด KL สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ระยะ (cm)	ความหนา (g / m ²)		
	125	145	175
20	38	39	36
15	56	56	51
10	91	93	81

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	3	29	9.666667	0.333333
15	3	41	13.66667	0.333333
10	3	66	22	3
125	3	47	15.66667	44.33333
175	3	47	15.66667	44.33333
205	3	42	14	31

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	237.5556	2	118.7778	267.25	5.51758E-05	6.944272
Columns	5.55556	2	2.77778	6.25	0.058769513	6.944272
Error	1.77778	4	0.444444			
Total	244.8889	8				

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระตาศชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระตาศ KL : Mode Ultra ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $5.51758E-05$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 5.51758E-05 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.058769513

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 0.058769513 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.6.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์กระดาดชนิด KL สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m ²)		
	125	145	175
20	153	156	143
15	91	93	81
10	225	228	204

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	3	113	37.66667	2.333333
15	3	163	54.33333	8.333333
10	3	265	88.33333	41.33333
125	3	185	61.66667	726.3333
145	3	188	62.66667	762.3333
175	3	168	56	525

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	4000.889	2	2000.444	302.5882	4.31155E-05	6.944272
Columns	77.55556	2	38.77778	5.865546	0.064655015	6.944272
Error	26.44444	4	6.611111			
Total	4104.889	8				

รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระต่ายชนิด KL สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโหมด Mega ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระต่าย KL : Mode Mega ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 4.31155E-05

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 4.31155E-05 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนาจะมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่
โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.064655015

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$ $0.064655015 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาจะมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.7 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับกระดาษชนิด AA

ทำการเก็บข้อมูลจากกระดาษ AA โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ระยะ 10 15 และ 20 เซนติเมตร โดยกำหนดใช้เซ็นเซอร์ที่ความเข้มแสงโหมด Super นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์สมมุติฐานด้วยเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร

4.7.1 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด AA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Super

ระยะ (cm)	ความหนา (g/m ²)			
	125	145	175	220
20	10	10	9	9
15	23	23	23	23
10	155	155	154	155

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	4	38	9.5	0.333333
15	4	92	23	0
10	4	619	154.75	0.25
125	3	188	62.66667	6436.333
145	3	188	62.66667	6436.333
175	3	186	62	6397
220	3	187	62.33333	6489.333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	51517.17	2	25758.58	185461.8	4.23E-15	5.143253
Columns	0.916667	3	0.305556	2.2	0.188921	4.757063
Error	0.833333	6	0.138889			
Total	51518.92	11				

รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโหมด Super ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ AA : Mode Super ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 4.23E-15

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 4.23E-15 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.1889201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha$ $0.1889201 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนาไม่แตกต่างกัน

4.7.2 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์กระดาชชนิด AA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra

ระยะ (cm)	ความหนา (g /m2)			
	125	145	175	220
20	39	39	39	39
15	57	56	56	55
10	91	91	91	90

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	4	156	39	0
15	4	224	56	0.666667
10	4	363	90.75	0.25
125	3	187	62.333333	697.3333
145	3	186	62	703
175	3	186	62	703
220	3	184	61.333333	680.3333

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	5566.167	2	2783.083	14313	9.20E-12	5.143253
Columns	1.583333	3	0.527778	2.714286	0.137679	4.757063
Error	1.166667	6	0.194444			
Total	5568.917	11				

รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาชชนิด AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์ในโหมด Ultra ด้วย ANOVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์ชนิดกระดาษ AA : Mode Ultra ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ $9.20E-12$

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 9.20E-12 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.137679

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 0.137679 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหนา มีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.7.3 การวิเคราะห์สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ตารางที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์กระดาษชนิด AA สำหรับการตั้งค่าเซ็นเซอร์ในโหมด Mega

ระยะ (cm)	ความหนา (g / m ²)			
	125	145	175	220
20	39	39	39	39
15	57	56	56	55
10	91	91	91	90

Anova: Two-Factor Without Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
20	4	619	154.75	0.25
15	4	883	220.75	72.25
10	4	1432	358	4.666667
125	3	724	241.3333	11442.33
145	3	738	246	10633
175	3	736	245.3333	10612.33
220	3	736	245.3333	10410.33

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	86005.5	2	43002.75	1354.417	1.08E-08	5.143253
Columns	41	3	13.66667	0.430446	0.738835	4.757063
Error	190.5	6	31.75			
Total	86237	11				

รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกระดาษ AA สำหรับการติดตั้งเซ็นเซอร์
ในโหมด Mega ด้วย ANOVA

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการ
วิเคราะห์ชนิดกระดาษ AA : Mode Mega ได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ความเข้มแสง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ความเข้มเท่ากัน)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ความเข้มไม่เท่ากัน)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะการติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 1.08E-08

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 1.08E-08 < 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะทางมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความหมายมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่
โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.73883

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.73883 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ความหมายมีผลทำให้ความเข้มไม่เท่ากัน

4.8 ผลการวิเคราะห์การทดลองสำหรับระยะเวลาติดตั้งเซ็นเซอร์

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับระยะเวลาติดตั้งเซ็นเซอร์

Types	P-value		
	SUPER	ULTRA	MEGA
CA	3.39646E-12	1.36718E-14	1.14679E-14
KI	1.46391E-06	6.73573E-09	1.55505E-08
KT	5.10709E-06	2.12156E-08	5.27801E-10
KA	3.60792E-09	1.15533E-10	1.74628E-10
KL	5.51758E-05	4.31155E-05	4.86726E-06
AA	4.23233E-15	9.20235E-12	1.0795E-08

Anova: Two-Factor Without
Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
CA	6	6.843E-12	2.281E-12	7.63E-24
KI	6	2.972E-06	9.907E-07	1.407E-12
KT	6	1.025E-05	3.419E-06	1.731E-11
KA	6	7.796E-09	2.598E-09	7.995E-18
KL	6	0.0002063	6.877E-05	1.379E-09
AA	6	2.160E-08	7.202E-09	7.762E-17
S	12	0.0001235	2.058E-05	9.748E-10
U	12	8.628E-05	1.438E-05	6.194E-10
M	12	9.788E-06	1.631E-06	7.879E-12

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	5.7E-09	10	1.154E-09	10.325858	0.0267	6.6516
Columns	5.60E-10	4	2.801E-10	2.5044986	0.6541	8.2056
Error	2.23E-09	20	2.236E-10			
Total	8.57E-09	34				

รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับระยะเวลาติดตั้งเซ็นเซอร์

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกสองทาง (Two-Way ANOVA) ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์กรณีระยะเวลาติดตั้งได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ระยะเวลาติดตั้ง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ระยะติดตั้งในการวัดกระดาดแต่ละชนิดมีผลต่างกันหรือไม่)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ระยะติดตั้งเซ็นเซอร์ในแต่ละโหมดการวัดมีผลต่างกันหรือไม่)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะเวลาติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.026787

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} < \alpha ; 0.026787 < 0.05$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะติดตั้งในการวัดกระดาศแต่ละชนิดต่างกันมีผลแตกต่างกัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า p-value ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.654182

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

\therefore จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.654182 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะติดตั้งในแต่ละโหมดการวัดมีผลไม่แตกต่างกัน

4.9 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับความหนาของกระดาศ

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับความหนาของกระดาศ

Types	P-value		
	SUPER	ULTRA	MEGA
CA	0.015735	0.001476	0.002314
KI	0.444444	0.049383	0.272716
KT	0.444444	0.017778	0.000826
KA	0.454725	0.012380	0.012409
KL	0.058770	0.064655	0.011998
AA	0.188921	0.137679	0.738835

Anova: Two-Factor Without
Replication

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
CA	3	0.019	0.00650	6.40E-05
KI	3	0.766	0.25551	0.039240
KT	3	0.46	0.154349	0.063188
KA	3	0.479	0.159837	0.065218
KL	3	0.135	0.045140	0.000832
AA	3	1.065	0.355144	0.111070
S	6	1.60703	0.26783	0.042159
U	6	0.28335	0.047225	0.002532
M	6	1.03909	0.173183	0.08812

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Rows	0.251830	5	0.050366	1.221777	0.3669	3.3258
Columns	0.146992	2	0.073496	1.782868	0.2176	4.1028
Error	0.412235	10	0.041223			
Total	0.811058	17				

รูปที่ 4.20 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับความหนาของกระดาษ

จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร ในการวิเคราะห์ผลการทดลองของการวิเคราะห์กรณีความหนาของกระดาษได้ผลดังนี้

วิเคราะห์ที่วิธีปฏิบัติ = ระยะเวลาติดตั้ง

$H_0 : \tau_i = 0 ; \forall i$ (ระยะเวลาติดตั้งในการวัดกระดาษแต่ละชนิดมีผลต่างกันหรือไม่)

$H_1 : \tau_i \neq 0 ; \exists i$ (ระยะเวลาติดตั้งเซนเซอร์ในแต่ละโหมดการวัดมีผลต่างกันหรือไม่)

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ที่ระยะเวลาติดตั้งมีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกัน

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.366984

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะยอมรับ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.36698384 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะติดตั้งในการวัดกระดาศแต่ละชนิดต่างกัันมีผลแตกต่างกัน

ที่ความหนา มีผลทำให้ความเข้มแตกต่างกันหรือไม่

โดยที่ค่า $p\text{-value}$ ที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 0.217662

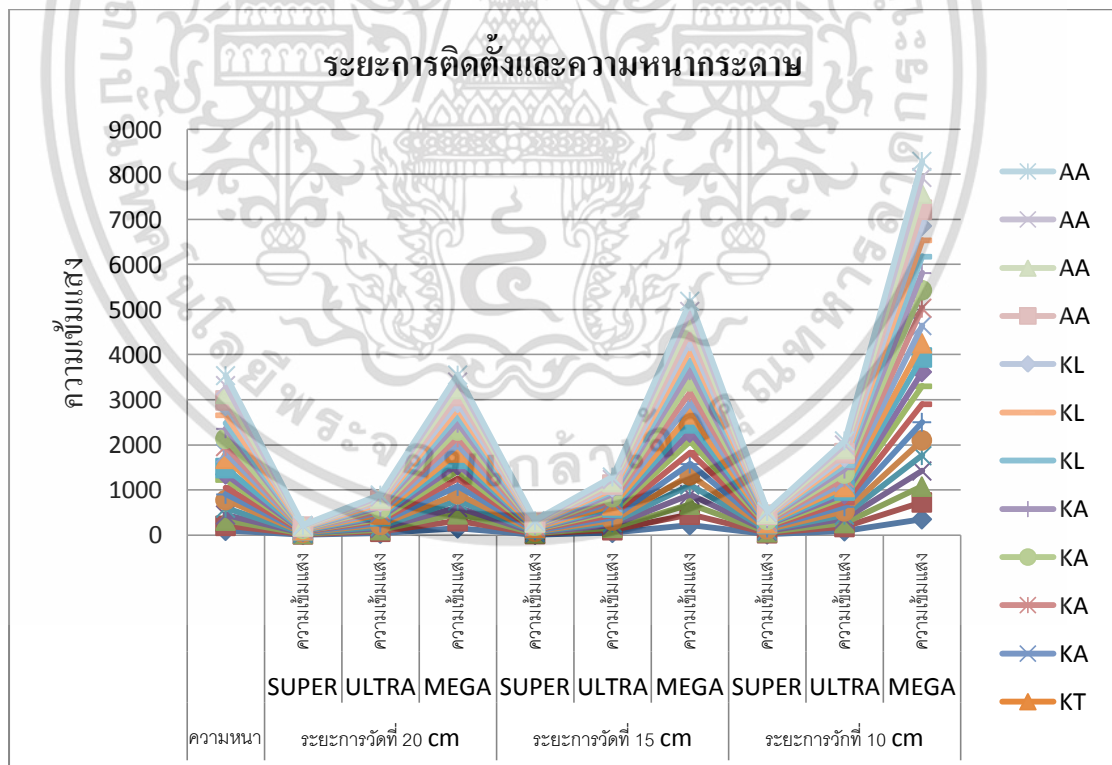
เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$

∴ จะปฏิเสธ H_0 เนื่องจาก $p\text{-value} > \alpha$; $0.217662 > 0.05$

ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระยะติดตั้งในแต่ละโหมดการวัดมีผลไม่แตกต่างกัน

4.10 สรุปผลการวิเคราะห์

การนำ Digital Fiber optic มาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับสถานะของกระดาศ จากข้อสมมุติฐาน เรื่องชนิดความหนาของกระดาศ และระยะการติดตั้ง sensor มีข้อสรุปได้ว่า ความหนางของกระดาศไม่มีผลต่อการทำงานของ Sensor แต่ระยะการติดตั้ง sensor ในการตรวจจับสถานะมีผลต่อการทำงานของ Sensor ดังนั้นในการเลือกใช้งาน sensor ต้องหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งใช้งาน เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดของการทำงานของ Sensor



รูปที่ 4.21 การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับระยะการติดตั้งและความหนาของกระดาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากทดลองเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหาความเป็นไปได้ที่มีผลต่อสมมติฐานการตรวจสอบหาสาเหตุการวิเคราะห์ปัญหา Nuisance Trip ที่ส่งผลทำให้กระบวนการผลิตหยุดลง โดยจะศึกษาจากการตั้งสมมติฐานที่ประกอบด้วยความแตกต่าง ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของกระดาษมีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่
2. ความหนาของกระดาษผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์หรือไม่
3. ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์มีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่
4. การเลือกโหมดใช้งานเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มแสงที่ต่างกันมีผลต่อการตรวจจับกระดาษหรือไม่

การวิเคราะห์ปัญหาความเป็นไปได้ที่มีผลต่อสมมติฐานการหยุดเครื่องจักรผลิตกระดาษที่เกิดจากการทำงานของเซ็นเซอร์ ที่ได้นำแนวความคิดของการเก็บข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ตัวแปร (2-Way ANOVA) และการใช้โปรแกรม Microsoft Office Excel มาช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า

1. ชนิดของกระดาษไม่มีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์
2. ความหนาของกระดาษแต่ละชนิดไม่มีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์
3. ตำแหน่งการติดตั้งในการวัดกระดาษแต่ละชนิดต่างก็มีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์
4. โหมดใช้งานเซ็นเซอร์ที่มีความเข้มแสงในแต่ละโหมดไม่มีผลต่อการทำงานของเซ็นเซอร์

ปัจจัยหลักที่ติดตั้งไม่ถูกต้องส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซ็นเซอร์ ดังนั้นผู้ทดลองได้นำผลและปรับเปลี่ยนวิธีที่เหมาะสมกว่าในการติดตั้งเซ็นเซอร์ ผลกระทบของการทำงานจากตำแหน่งการติดตั้งที่เกิดจากการเซ็นเซอร์จะหายไปนอกจากนี้เครื่องจักรผลิตกระดาษจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

งานวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้ของตัวแปรต่างๆที่ทำให้เกิดการวัดผิดพลาดของเซนเซอร์วัดความหนาของกระดาษ ทั้งนี้ยังไม่ได้สรุปปัจจัยอื่น ๆ วิธีป้องกันการวัดผิดพลาดของเซนเซอร์ตรวจจับสถานะของกระดาษในกรณีที่เกี่ยวข้องกับสิ่งรบกวนรูปแบบอื่นเช่น สีของกระดาษ ความร้อน ความชื้น

ซึ่งในส่วนของเซนเซอร์ตรวจจับสถานะของกระดาษที่ใช้ในเครื่องจักรผลิตกระดาษนั้น สัญญาณที่วัดได้จะสอดคล้องกับความเร็วรอบของตัวเครื่องจักรผลิตกระดาษดังนั้นสามารถใช้ความถี่ที่ได้จากความเร็วรอบกำหนดให้เป็นสัญญาณวัดที่ถูกต้อง ซึ่งสัญญาณความถี่อื่น ๆ ที่ปนเข้ามาหมายถึงสัญญาณรบกวนนั่นเอง ดังนั้นถ้ามีอุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองสัญญาณรบกวนเหล่านี้ก็จะทำให้มีส่วนลดข้อผิดพลาดนี้ลงได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Tirasesth, R. Masuchun, T. Thepmanee, W. Masuchun, Y. Shi and H. Sasaki, Impact of time and costs when determining batch size in a supply chain, International Journal of Innovative Computing, Information & Control, vol.5, no.11(A), pp.3659-3666, 2009.
- [2] T. F. Murphy and S.-C. Chen, Paper transition control of paper-making processes: Paper grade change, Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Control Applications, pp.1278-1283,1999.
- [3] M. Aníbal Valenzuela, J. M. Bentley and R. D. Lorenz, Sensorless tension control in paper machines, IEEE Transactions on Industry Applications, vol.39, no.2, pp.294-304, 2003.
- [4] Z. Xiao, Papermaking process paper web tension measurement and control, The 24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), pp.3973-3975, 2012.
- [5] D. C. Montgomery and G. C. Runger, Applied Statistics and Probability for Engineers (The Fifth Edition), Wiley Global Education, 2010.
- [6] T. Thepmanee and S. Junlee, Investigation into nuisance tripping of stream turbine generator due to increase of shaft vibration amplitudes, ICIC Express Letters, Part B: Applications, vol.5, no.1, pp.243-250, 2014.

ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- [1] Teerawat Thepmanee, Chaowalit Onnom, “ANALYZING POSSIBLE CAUSES OF IMPERFECT PAPER PRODUCTION ”, ICIC Express Letters Part B: Applications, Volume 6, Number 3, pp.805-809, March, 2015.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CIC Express Letters, Part B: Applications

An International Journal of Research and Surveys

Editors-in-Chief

Yan Shi, Tokai University, Japan

Ramesh Agarwal, Washington University, USA



Indexed by *Ei Compendex (Elsevier)*
Scopus (Elsevier)
INSPEC (IET)

ICIC EXPRESS LETTERS, Part B: Applications

Volume 6, Number 3, March 2015

CONTENTS (*Continued*)

Empirical Study on Technology System and Manufacturing Efficiency <i>Xiaomei Li</i>	709
Fault-Tolerant Control against Actuator Faults for a Class of T-S Fuzzy Discrete-Time Interconnected Systems <i>Wei Zhang, Wentao Lou and Shaocheng Tong</i>	717
Contribution of Governors to Word Sense Disambiguation of English Preposition <i>Xueping Xu, Jianping Yu and Xiaoyu Piao</i>	723
Predictions of Outbound Tourist for Taiwan Using ARIMA and Artificial Neural Network Approaches <i>Yuehjen E. Shao and Mei-Lien Liu</i>	731
Sensitivity Analysis of Sample Allocation and Measurement Frequency under a Degradation Test with Gamma Process <i>Jyun-You Chiang, Wen-Yun Sung, Tzong-Ru Tsai and Yuhlong Lio</i>	737
A Novel Hybrid Approach to Image Ranking System <i>Pyke Tin, Thi Thi Zin, Takashi Toriu and Hiromitsu Hama</i>	743
Applying QR Codes to Building Facility Management System <i>Ron Chen, Yan-Chyuan Shiau, Yung-Piao Chiu and Po-Yen Wu</i>	749
Measuring IT Security Risk Based on Key Risk Indicator <i>Young Ran Hong and Dongsoo Kim</i>	757
Building a Library of Consumer Product LCA for Enhancing Sustainable Consumer Behavior <i>Minjung Kwak, Changmuk Kang, Minji Park, Dong-Yeon Shin and Hansol Choi</i>	763
Common Cause Failure Parameter Estimation from Generic Data under Masked Testing Schemes <i>Tae-Jin Lim</i>	771
A Heuristic Algorithm of Shortest Travel Time for Order Sequencing Strategy in Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS) <i>Jae-Dong Son</i>	779
Resource Minimization in Network Coding by Integer Programming <i>Taehyung Park</i>	785
The Citizens' Acceptance Factors to the Ubiquitous Services of U-City Project <i>Yoo-Joo Jeong, Chang-Woo Kim and Seok-Chan Jeong</i>	791
Study of Zero Anaphora Resolution in Professional Literature of Chinese <i>Wei Chin and Xiaodong Qiao</i>	797
Analyzing Possible Causes of Imperfect Paper Production <i>Teerawat Thepmanee and Chaowalit Onnom</i>	805
A Hybrid Memetic Algorithm for Solving Hardware/Software Partitioning <i>Geng Lin</i>	811

(*Continued*)

ICIC EXPRESS LETTERS, Part B: Applications

AN INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH AND SURVEYS

VOLUME 6, NUMBER 3, March 2015

CONTENTS (Continued)

Empirical Study on Technology System and Manufacturing Efficiency <i>Xiaomei Li</i>	709
Fault-Tolerant Control against Actuator Faults for a Class of T-S Fuzzy Discrete-Time Interconnected Systems <i>Wei Zhang, Wentao Lou and Shaocheng Tong</i>	717
Contribution of Governors to Word Sense Disambiguation of English Preposition <i>Xueping Xu, Jianping Yu and Xiaoyu Piao</i>	723
Predictions of Outbound Tourist for Taiwan Using ARIMA and Artificial Neural Network Approaches <i>Yuehjen E. Shao and Mei-Lien Liu</i>	731
Sensitivity Analysis of Sample Allocation and Measurement Frequency under a Degradation Test with Gamma Process <i>Jyun-You Chiang, Wen-Yun Sung, Tzong-Ru Tsai and Yuhlong Lio</i>	737
A Novel Hybrid Approach to Image Ranking System <i>Pyke Tin, Thi Thi Zin, Takashi Toriu and Hiromitsu Hama</i>	743
Applying QR Codes to Building Facility Management System <i>Ron Chen, Yan-Chyuan Shiau, Yung-Piao Chiu and Po-Yen Wu</i>	749
Measuring IT Security Risk Based on Key Risk Indicator <i>Young Ran Hong and Dongsoo Kim</i>	757
Building a Library of Consumer Product LCA for Enhancing Sustainable Consumer Behavior <i>Minjung Kwak, Changmuk Kang, Minji Park, Dong-Yeon Shin and Hansol Choi</i>	763
Common Cause Failure Parameter Estimation from Generic Data under Masked Testing Schemes <i>Tae-Jin Lim</i>	771
A Heuristic Algorithm of Shortest Travel Time for Order Sequencing Strategy in Automated Storage and Retrieval Systems (AS/RS) <i>Jae-Dong Son</i>	779
Resource Minimization in Network Coding by Integer Programming <i>Taehyung Park</i>	785
The Citizens' Acceptance Factors to the Ubiquitous Services of U-City Project <i>Yoo-Joo Jeong, Chang-Woo Kim and Seok-Chan Jeong</i>	791
Study of Zero Anaphora Resolution in Professional Literature of Chinese <i>Wei Chin and Xiaodong Qiao</i>	797
Analyzing Possible Causes of Imperfect Paper Production <i>Teerawat Thepmanee and Chaowalit Onnom</i>	805
A Hybrid Memetic Algorithm for Solving Hardware/Software Partitioning <i>Geng Lin</i>	811

(Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ANALYZING POSSIBLE CAUSES OF IMPERFECT PAPER PRODUCTION

TEERAWAT THEPMANEE AND CHAOWALIT ONNOM

Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
ktteeraw@kmitl.ac.th; chaowalit.inse@hotmail.com

Received February 2014; accepted April 2014

ABSTRACT. *This paper presents an analysis of possible causes of nuisance tripping of paper machine effect to imperfect paper production. The possible causes of the focused paper machine failure are paper thickness, paper type, sensor configuration, and sensor placement. Experiment procedures based on analysis of variance (ANOVA) are designed to test the interesting causes. Analysis result can be useful for minimizing the imperfect paper production.*

Keywords: Paper machine, Sheet break, Photo sensor, ANOVA (analysis of variance)

1. Introduction. The production and delivery in batches for paper processing have attracted wide attention of the research community over the years [1]. Large production batch can put away some fixed costs such as setup cost. When more than one type of product arrives at the same production stage, big newcomer batch has to wait until the current production batch is completed. Paper producing in each batch has to be matched with the machine setup before the production. For instance chemical substances are mixed for specific types of paper, paper thickness, paper feeding speed, pressing force, drying temperature, and paper inspection in each step by processing control systems [2-4]. Manufacturing processes use sensors to examine process from beginning to end. If there are any problems in the process, the machine has to stop for problem verifying and be solved before the processes can continue. Those affect manufacturing efficiency.

This paper presents the analysis of sheet break problem of paper machine caused by sensor giving nuisance trip to controller, in order to stop the machine using analysis of variance method [5]. That procedure is widely applied to test on the hypothesis for further investigation on route cause and find appropriate solution for paper industry [6]. This research addresses the factors that affect the abnormal sense of sensors. The hypothesis consists of the difference in thickness and type of paper, configuring the sensors and its inaccurate placement. The second section of this research describes paper manufacturing process and paper sensors configuring. The third section describes experiment procedure and gathering information. The results, analysis, and conclusion are explained in the fourth and fifth sections, respectively.

2. Paper Production. The paper machine used for this case study has 16.20 ton/hour or 330 kilograms/minute production capacity. The product values per cost are: CA paper type's cost is 10 Baht/kilograms, KA paper type's cost is 15 Baht/kilograms, and the width of paper is 4.70 meters. Each sheet breaking requires 30 minutes to restart the machine. It costs about 300,000 baht each time. There are 2 main processes of paper production: shock preparation and paper machine task. This research is emphasized on only paper machine part.

The forming process of paper machine in Figure 1 consists of many processes. The first procedure is releasing pulp from Head Box to be formed and specify the thickness

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

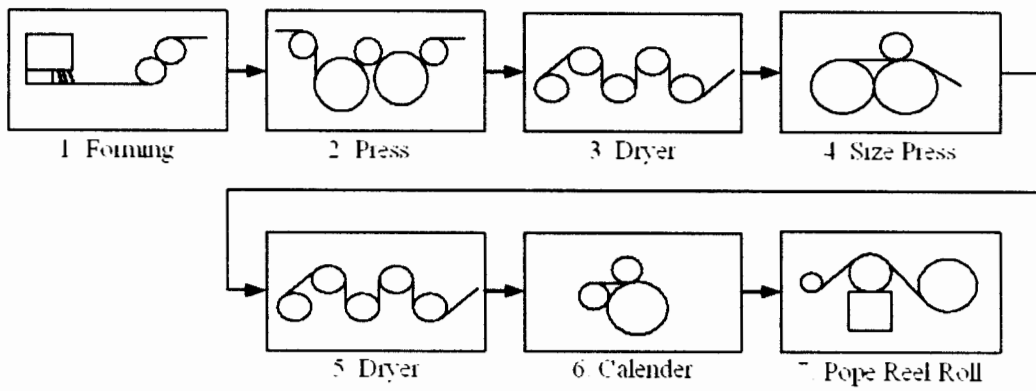


FIGURE 1. Simplified process flow diagram of paper machine

TABLE 1. Paper types

Paper types	Thickness (g/m ²)					
	100	110	115	125	150	180
CA	100	110	115	125	150	180
KI	125	145	175			
KT	125	140	205			
KA	125	145	175	220		
KL	125	175	205			
AA	125	145	185	220		

of paper. After this process, pulp is transferred to the first section, forming section. The forming section forms paper and preliminary releases water out of pulps, and then transfers to the second section, press section. The press section again releases water out of pulp by pressing. After that, paper is transferred to the third section, dryer section. In the dryer section, paper is dried using heat. The heat is increased until the paper dries, and then paper is transferred to the fourth section, size press section. In the size press section, paper is covered with flour-water to increase stickiness and strength. The fifth section is to dry paper again and continue to the sixth section, calender section. In the calender section, polishing paper surface, afterward the paper is rolled to keep for the seventh section, pope reel. The pope reel section rolls paper until it weighs 16 tons. Then, the winder reels paper to a small reel weighted 1 ton. These are all paper production processes.

The third section is drying paper with different heating levels. The paper has to flow the dryers for a long distance. In this process, sensors are applied to detect the flowing paper status for making paper go through the next section. Sensor placement is set up between each paper dryer. If sensor detects no paper, the result is transferred to PLC. After that, PLC reports controlling signals to drive system to stop dryer's rotation. The process has to be started again; restart transferring paper into dryers. Sometimes there is a mistake of sensors in paper thickness differences also, and it stops process, too.

The Kraft paper production can be divided to 2 types. The first one is corrugating medium: CA. The second one is Kraft liner board. Both types are named by thickness and paper's producing technique, as shown in Table 1.

In paper manufacturing process, both paper type and thickness are changed to customer requirement. Changing paper type and thickness sometimes causes fault signals faults on sensors detecting. Therefore, the hypothesis of this research is paper thickness, paper types, and unsuitable sensors placement. Sensors are photo sensors, diffuse-reflective type. They lighten objects and reflect in detecting paper. Sensors report output signal "ON" when they detect paper, or "OFF" when they do not find any paper.

TABLE 2. Sensor light intensity setting

Mode	Setting	Current value (CV)	
		“ON”	“OFF”
Super	10	8 – 12	8 > CV > 12
Ultra	50	45 – 55	45 > CV > 55
Mega	100	95 – 105	95 > CV > 105

Modes of sensor configuration can be selected being: Super, Ultra or Mega. Each mode is different in light intensity, which is transmitted from sensors and reflected to detect paper. From Table 2, the light intensities configuring in each modes are: 10, 50 and 100 consequently. The current value is light intensity, which is measured by sensors. The results of current value are between 0-999. When the current value matches with the setting value, “ON”, sensors relay send output signals as the paper is detected in production process.

The example of how sensors work in Super mode is: when the setting value is 10, the machine is “ON” with 8 to 12 of current value. If the setting value is less than or more than 10, the sensors show “OFF” status. In Ultra mode, the setting value is 50, the machine “ON” with 45 to 55 of current value. If the setting value is less than or more than 50, sensors show “OFF” status. The last mode is Mega mode. When the setting value is 100, sensors show “ON” with 95 to 105 of current value. If the setting value is less than or more than 100, sensors show “OFF” status.

3. Design of Experiment. The experimental design has hypothesis on thickness, different types, configuration and wrong placement sensors which may affect the performance of sensors. The experiment was tested in laboratory using specific types and thickness of paper as shown in Table 1. The working modes are as same as shown in Table 2. Table 3 shows distance between sensors and paper in 3 ranges 10, 15 and 20 centimeters consequently.

TABLE 3. Example CA paper at Super mode

Distance (cm)	Thickness (g/m ²)					
	100	110	115	125	150	180
20	10	10	9	9	9	9
15	14	14	14	13	13	13
10	22	24	22	22	21	21

In our study, we investigate the impact of imperfect paper production. The two-way ANOVA is used to analyze the data. The hypothesis is that the distance of sensors placement is ineffective on light intensity measured by sensors. Also, the thickness of paper is ineffective on light intensity measured by sensors. The experimental table of CA paper in Super mode is shown in Table 3. Each type of paper had to be tested in all 3 modes. Therefore, 6 types of paper in every mode gave 18 experimental tables.

4. Numerical Illustration. From the hypothesis, distance of sensors placement and thickness of paper may affect the performance of sensors. As shown in Table 3, the result from the two factor ANOVA of CA paper in Super mode is in Table 4.

From Table 4, the conclusion of two-way ANOVA experiments for CA paper in Super mode is the value of hypothesis testing on distance of sensors placement effects light intensity which is measured by sensors at significant level of 0.05. Also, the thickness of paper affects light intensity measured by sensors at significant levels of 0.05. Thus,

TABLE 4. The 2-way ANOVA results to study the impact of CA paper

Source of variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Distance	500.1111	2	250.0556	978.4783	3.4E-12	4.102821
Thickness	6.277778	5	1.255556	4.913043	0.015735	3.325835
Error	2.555556	10	0.255556			
Total	508.9444	17				

TABLE 5. The 2-way ANOVA results for measured results of all experiments

(a) P-value of distance				(b) P-value of thickness			
Types	P-value			Types	P-value		
	Super	Ultra	Mega		Super	Ultra	Mega
CA	3.3965E-12	1.3672E-14	1.1468E-14	CA	0.015735	0.001476	0.002314
KI	1.4639E-06	6.7357E-09	1.5551E-08	KI	0.444444	0.049383	0.272716
KT	5.1071E-06	2.1216E-08	5.2780E-10	KT	0.444444	0.017778	0.000826
KA	3.6079E-09	1.1553E-10	1.7463E-10	KA	0.454725	0.012380	0.012409
KL	5.5176E-05	4.3116E-05	4.8673E-06	KL	0.058770	0.064655	0.011998
AA	4.2323E-15	9.2023E-12	1.0795E-08	AA	0.188921	0.137679	0.738835

placement distance and thickness do affect light intensity which is measured by sensors. The conclusions of all 18 experiments are shown in Table 5(a) and Table 5(b).

From Table 5(a), the result of two-way ANOVA experiment can be concluded that the distance of sensors placement affects detecting of all paper types and in every mode with significant level of 0.05. From Table 5(b), the result of two-way ANOVA experiment can be concluded the thickness of some paper types and also in some modes; grey areas in the Table, do not affect sensors measurement at significant level of 0.05.

Then we further separately investigate the impact of distance-involved and thickness-involved parameters. The P-value in Table 5(a) is used to represent the impact of distance-involved parameter while the P-value in Table 5(b) is used to represent the impact of thickness-involved parameter. Three levels of parameters (Super, Ultra, Mega) are of interest in this study.

ANOVA is again used to investigate the impact of parameters, distance and thickness in Table 5(a) and Table 5(b). For the hypothesis in Table 5(a), the first case, can sensors placement distance of each paper types make different results? Does the sensors placement distance in each mode make different results? For the hypothesis in Table 5(b), the second case, does thickness of each paper make different results? Does thickness of paper in different modes make different results? The results of experiments are shown in Table 6 and Table 7 consequently.

The result of the experiment in Table 6, can be concluded that the distance of sensors placement for each types of paper does affect paper detection, and also distance of sensors placement in each mode does not affect paper detection at significant level of 0.05.

TABLE 6. The 2-way ANOVA results to study the impact of distance

Source of variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Paper type	2.8871E-09	5	5.7742E-10	5.162929	0.013394	3.325835
Mode	2.801E-10	2	1.4005E-10	1.252249	0.327091	4.102821
Error	1.1184E-09	10	1.1184E-10			
Total	4.2856E-09	17				

TABLE 7. The 2-way ANOVA results to study the impact of thickness

Source of variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Paper types	0.25183	5	0.050366	1.221778	0.366984	3.325835
Mode	0.146992	2	0.073496	1.782868	0.217662	4.102821
Error	0.412236	10	0.041224			
Total	0.811058	17				

The result of the experiment in Table 7, can be concluded that the thickness of each type of paper does not affect paper detection, and thickness of each type of paper does not affect paper detection at significant level of 0.05.

5. **Conclusion.** The analysis of the paper machine failure caused by the sensor is used to detect the paper through the process. It sends nuisance trip to controller to stop the machine. Analysis of variance is the method that has been used to test the thickness and type of paper, which will affect the sensor performance. The experimental results show that the main factor, incorrect installation, affects the sensor performance. The current values of sensor placement have wide differential but the current values of the paper type and thickness do not have such difference. Thus, the manufacturer has taken the result and modified more suitable way to install the sensors. The effect of sheet break caused by the sensors is gone. Moreover, the paper machine has much more efficiency.

REFERENCES

- [1] K. Tirasesth, R. Masuchun, T. Thepmanee, W. Masuchun, Y. Shi and H. Sasaki, Impact of time and costs when determining batch size in a supply chain, *International Journal of Innovative Computing, Information & Control*, vol.5, no.11(A), pp.3659-3666, 2009.
- [2] T. F. Murphy and S.-C. Chen, Paper transition control of paper-making processes: Paper grade change, *Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Control Applications*, pp.1278-1283, 1999.
- [3] M. Anibal Valenzuela, J. M. Bentley and R. D. Lorenz, Sensorless tension control in paper machines, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol.39, no.2, pp.294-304, 2003.
- [4] Z. Xiao, Papermaking process paper web tension measurement and control, *The 24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, pp.3973-3975, 2012.
- [5] D. C. Montgomery and G. C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers (The Fifth Edition)*, Wiley Global Education, 2010.
- [6] T. Thepmanee and S. Junlee, Investigation into nuisance tripping of stream turbine generator due to increase of shaft vibration amplitudes, *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, vol.5, no.1, pp.243-250, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายเชาวลิต อ่อนน้อม
วัน-เดือน-ปีเกิด	วันที่ 27 เมษายน 2526
ที่อยู่	36/6 ม.2 ต.ไผ่ชะเลียด อ.ศรีมโหสถ จ.ปราจีนบุรี 25190 โทร. 084-0204976
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบเครื่องมื่อวัด จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีการศึกษา 2550 และในปีการศึกษา 2555 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) ระบบควบคุมอัตโนมัติ PLC DCS QCS 2.) การใช้งานและการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ Fled Instrument 3.) ระบบกระบวนการผลิตกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้