สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี่ แบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนด้วยโปรแกรมมินิแทป

ANALYSIS OF SIGNIFICANT PARAMETERS AFFECTING SURFACE FLEXOGRAPHY PRINTING SYSTEM ON POLYPROPYLENE TAPE BY MINITAB PROGRAM

T061207

วพ.
ว/ท71ก
ป548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 61207
วัน,เดือน,ปี..... 17 ก.ค. 2549

b.....
i.....

ปรีดารา ธรรมเสวต

PREEDARA THUMSAVATE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2548

ISBN 974 – 15 – 2118 - 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF SIGNIFICANT PARAMETERS AFFECTING SURFACE FLEXOGRAPHY PRINTING SYSTEM ON POLYPROPYLENE TAPE BY MINITAB PROGRAM

PREEDARA THUMSAVATE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN PETROCHEMCAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974 – 15 – 2118 - 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนด้วยโปรแกรมมินิแทป
นักศึกษา	นางสาวปรีดารา ธรรมเศวต
รหัสประจำตัว	43061217
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมปิโตรเคมี
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนชนิด Biaxial-oriented polypropylene (BOPP) ในกระบวนการผลิต ทดสอบของบริษัทผลิตเทปกาวด้วยโปรแกรมมินิแทปเพื่อกำหนดสภาวะการผลิตในกระบวนการผลิตจริง เทปกาวพิมพ์ลาย 2 ชนิดที่ศึกษา คือ เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย ตัวแปรที่ศึกษา คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ และเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย ตัวแปรที่ศึกษา คือ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น และปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น พบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพการพิมพ์บนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ สภาวะการผลิตที่กำหนด คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 °ซ ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 3 วินาที ที่อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์คงที่ที่ 30 °ซ สำหรับกรณีที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย สภาวะการผลิตที่กำหนดจากตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อคุณภาพการพิมพ์ คือ ระดับโคโรนาที่ 12 ± 2 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 °ซ ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 5 วินาที และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นคงที่ที่ 30 °ซ ซึ่งได้กำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานของบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Analysis of Significant Parameters Affecting Surface Flexography Printing System on Polypropylene Tape by MINITAB Program
Student	Ms.Preedara Thumsavate
Student ID	43061217
Degree	Master of Engineering
Programme	Petrochemical Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Anchaleeporn W. Lothongkum

ABSTRACT

The significant parameters that affect the surface flexography printing system on the adhesive laminated biaxial-oriented polypropylene tape were analyzed by the MINITAB program in a pilot plant of a particular case study to set up the operating conditions. Two types of adhesive laminated polypropylene tapes with chemical, and corona surface treatments were tested. For the former case the printing drum temperature, ink viscosity, preheating temperature of unprinted tape and ink-baking oven temperature were studied. In case of the latter, the corona level, printing drum temperature, ink viscosity, ink-baking oven temperature, releasing-agent baking oven temperature, and solid contents of the releasing agent were studied. It was found that the significant parameters for surface flexography printing on the adhesive laminated polypropylene tape with chemical treatment were printing drum temperature, ink viscosity and preheating temperature of unprinted tape. Accordingly, the operating conditions were set at the printing drum temperature of 45 ± 5 °C, ink viscosity of 25 ± 3 seconds and constant preheating temperature of unprinted tape of 30 °C. In the other case, with corona surface treatment, the operating conditions were at the corona level of 12 ± 2, printing drum temperature of 45 ± 5 °C, ink viscosity of 25 ± 5 seconds and constant releasing-agent baking oven temperature of 30 °C. The results were used as the standard operating procedures in the company.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารและพนักงานของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนการทำงานวิจัยที่โรงงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โครงการเมธีวิจัยอาวุโส สกว.-ศ.ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล โครงการวิจัยร่วมภาครัฐ-เอกชนของศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีอนุภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เทคโนโลยีวัสดุแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รศ.ดร.อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาและข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในระหว่างการทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขและเพิ่มเติมรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ สมาชิกในครอบครัวและเพื่อนทุกท่านที่ให้กำลังใจตลอดมา

ปรีดารา ธรรมเศวต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป X

ศัพท์เทคนิค XIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 6

1.3 สมมติฐานของการศึกษา 6

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย 6

1.5 ขอบเขตการวิจัย 7

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา 7

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 8

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 ประวัติและวิวัฒนาการของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี 9

2.2 เครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี 10

2.3 แม่พิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี 12

2.4 หมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี 13

2.5 วัสดุที่ใช้พิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี 19

2.6 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี 20

2.7 การปรับผิวหน้าของเทปกาวพลาสติกก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 22

2.8 การถ่ายโอนและการยึดติดของหมึกพิมพ์ 24

2.9 การออกแบบการทดลอง 25

2.10 โปรแกรมมินิแทป 36

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 52

3.1 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 53

3.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 56

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล 62

4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 62

4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 72

4.3 ผลการทดลองของการผลิตเทปกาวพิมพ์ลายในระดับอุตสาหกรรมด้วยการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีแบบพิมพ์พื้นผิวโดยใช้สภาวะการผลิตจากผลการวิจัย 89

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 91

5.1 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 91

5.2 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 92

5.3 ข้อเสนอแนะ 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง 94

ภาคผนวก 97

ภาคผนวก ก. มาตรฐานการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้าน บนฟิล์มพอลิโพรพิลีน 98

ภาคผนวก ข. มาตรฐานการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบน เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและ โดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 100

ภาคผนวก ค. มาตรฐานการทดสอบปริมาณของแข็งของสารเคลือบลื่น 104

ภาคผนวก ง. มาตรฐานการทดสอบค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ ของผลิตภัณฑ์เทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลาย 105

ภาคผนวก จ. คู่มือการใช้เครื่อง Taber abraser 107

ภาคผนวก ฉ. ตารางการกระจายแบบ F 109

ภาคผนวก ช. ข้อมูลการทดลองของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี แบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน 114

ประวัติผู้เขียน 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านและแบบพิมพ์พื้นผิว 5

2.1 ตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร 30

2.2 ค่าสถิติทดสอบในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร 31

2.3 ผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเคมี A และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่มีต่อปริมาณผลผลิต C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร 34

2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าสถิติทดสอบเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเคมี A และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี 34

2.5 ระดับความสามารถของกระบวนการ 47

3.1 สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป 55

3.2 สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป 58

4.1 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 62

4.2 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป 68

4.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป 82

4.5 ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ของผลิตภัณฑ์เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ใช้สภาวะการผลิตจากผลของงานวิจัยนี้ 90

5.1 สภาวะการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 92

5.2 สภาวะการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 92

ฉ.1 ตารางการกระจายแบบ F 109

ช.1 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 114

ช.2 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป 115

ช.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป 116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ช.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน 3

1.2 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน ที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย.....4

1.3 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน ที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย.....4

2.1 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีประเภทป้อนม้วน 10

2.2 โครงสร้างของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์แบบพีระมิด 11

2.3 โครงสร้างของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์แบบ Quadrangular 11

2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของของไหลชนิดต่างๆ ...14

2.5 กราฟแสดงของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติกและการเกิดปรากฏการณ์ ทิกโซโทรปี 16

2.6 แบบจำลองการไหลของของไหลนิวทอเนียน 17

2.7 ระบบการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี 21

2.8 อุปกรณ์สร้างโคโรนา 24

2.9 การใช้โปรแกรมมินิแทปในการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 37

2.10 การใช้โปรแกรมมินิแทปในการเลือกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร และแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ.....37

2.11 การใช้โปรแกรมมินิแทปในการเลือกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร และแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ โดยการกำหนดจำนวนการทำซ้ำของแต่ละแบบการทดลอง ...38

2.12 ตัวอย่างแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปรจากโปรแกรมมินิแทป แต่ละ ตัวแปรมี 2 ระดับ และไม่มีการทำการทดลองซ้ำ.....39

2.13 การบันทึกผลการทดลองในโปรแกรมมินิแทป 40

2.14 ตัวอย่างผังพาเรโตเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ 41

2.15 ตัวอย่าง Main effects plot เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับผลการทดลอง.....42

2.16 ตัวอย่าง Interaction plot เพื่อวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างตัวแปร 43

2.17 ตัวอย่าง Cube plot เพื่อวิเคราะห์ค่าของตัวแปรที่ให้ผลการทดลองที่ต้องการ 44

2.18 แผนภาพการกระจายของผลการทดลองที่ค่า C_p ต่างๆ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.19	แผนภาพการกระจายของผลการทดลองในเชิงเปรียบเทียบกับค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะสำหรับแต่ละค่า C_p และค่า C_{pk}	48
3.1	โครงสร้างของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิว	53
4.1	ผังพาเรโตแสดงตัวแปรในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป	64
4.2	Main effects plot ของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป	65
4.3	Interaction plot ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป	66
4.4	Cube plot ของค่าการทดลองและค่าตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป	67
4.5	ข้อมูลการวิเคราะห์การถดถอยของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป	70
4.6	Main effects plot เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย	71
4.7	ดัชนีวัดความสามารถจากการปฏิบัติงานตามมาตรฐานการผลิตที่ได้จากการทดลองของกระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป	72
4.8	ผังพาเรโตแสดงตัวแปรในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 Main effects plot ของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 78

4.10 Interaction plot ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 80

4.11 Cube plot ของค่าการทดลองและค่าตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 81

4.12 ข้อมูลการวิเคราะห์การถดถอยของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 86

4.13 Main effects plot เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย 88

4.14 ดัชนีวัดความสามารถจากการปฏิบัติงานตามมาตรฐานการผลิตที่ได้จากการทดลองของกระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป 89

ข.1 แบบฟอร์มการตรวจสอบผลการผลิตเทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลายด้วยเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวที่ใช้สภาวะการผลิตจากผลการวิจัย 103

จ.1 เครื่อง Taber abraser 107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศัพท์เทคนิค

การปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนา	Corona surface treatment
การปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมี	Chemical surface treatment
การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้าน	Reverse flexography printing
การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิว	Surface flexography printing
ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์	Ink abrasion resistance
ความหนืดของหมึกพิมพ์	Ink viscosity
เครื่องมือวัดความทนทานต่อการขัดถู	Taber abraser
เทปกาวพอลิโพรพิลีน	Adhesive laminated polypropylene tape
ใบปาดหมึกพิมพ์	Doctor blade
ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น	Solid contents in releasing agent
โปรแกรมมินิแทป	MINITAB program
มาตรฐานการปฏิบัติงาน	Standard operating procedures (SOPs)
ระดับโคโรนา	Corona level
ลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์	Fountain roll
ลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์	Anilox roll
สารเคลือบลื่น	Releasing agent
อ่างหมึกพิมพ์	Fountain pan
อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น	Releasing-agent baking oven temperature
อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์	Ink-baking oven temperature
อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์	Preheating temperature of unprinted tape
อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์	Printing drum temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา [1-4]

บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ก่อตั้งเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2510 โดยเป็นหนึ่งในสำนักงานสาขากว่า 60 ประเทศทั่วโลกของบริษัทมินเนโซต้า ไมนิ่ง แอนด์ แมนูแฟคเจอริ่ง หรือ 3 เอ็ม ที่มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่เซนต์พอล มลรัฐมินเนโซต้า ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตและผู้นำทางการตลาดในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมการผลิตอิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ การแพทย์และเวชภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์เพื่อความปลอดภัย ผลิตภัณฑ์เพื่อการโทรคมนาคม ผลิตภัณฑ์สำนักงาน และผลิตภัณฑ์เพื่อตลาดผู้บริโภค โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะเป็นบริษัทที่ให้ผลตอบแทนการลงทุนที่คุ้มค่าด้วยผลประกอบการที่ต่อเนื่อง สร้างความพึงพอใจสูงสุดแก่ลูกค้าด้วยผลิตภัณฑ์คุณภาพและบริการที่เป็นเลิศ ให้ความสำคัญต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม ทุ่มเทเอาใจใส่ที่จะเรียนรู้ และทำในสิ่งที่ตอบสนองต่อความต้องการที่ไม่เคยหยุดนิ่งของโลกที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

ปัจจุบันบริษัทมีสำนักงานฝ่ายขายและฝ่ายบริการลูกค้าอยู่ที่ถนนอโศกมนตรี มีคลังสินค้าตั้งอยู่บนถนนวิภาวดีรังสิต และมีโรงงานผลิตตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ที่ได้รับรองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม ISO 14000 และมาตรฐานคุณภาพ ISO 9000 และ QS 9000 บริษัทมีความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาและเติบโตอย่างต่อเนื่อง ด้วยความพร้อมในการให้บริการสินค้ามีการเชื่อมโยงในด้านเทคโนโลยีจากศูนย์วิจัยค้นคว้าและทดลองในกว่า 30 ประเทศ บริษัท 3 เอ็ม ได้รับการคัดเลือกให้เป็นบริษัทอันดับหนึ่งที่เป็นเลิศในด้านนวัตกรรม จากการสำรวจของนิตยสารฟอร์จูน ในปี พ.ศ. 2545

โรงงานพิมพ์หมึกพิมพ์บนผลิตภัณฑ์ของ บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย แบ่งเป็น 2 โรงงานย่อย คือ

1. โรงงานพิมพ์ระบบซิลค์สกรีน เป็นการพิมพ์หมึกพิมพ์บนสติกเกอร์พลาสติกโดยพิมพ์ผ่านบล็อกพิมพ์ผ้าสกรีน สำหรับใช้ตกแต่งยานยนต์หรือเพื่อการโฆษณา

2. โรงงานพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีสำหรับผลิตเทปกาวพิมพ์ลาย โดยพิมพ์หมึกพิมพ์ลงบนฟิล์มพลาสติกหรือเทปกาวพลาสติกในลักษณะของการพิมพ์แบบป้อนม้วน

งานวิจัยนี้ศึกษาระบบการผลิตที่โรงงานพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี

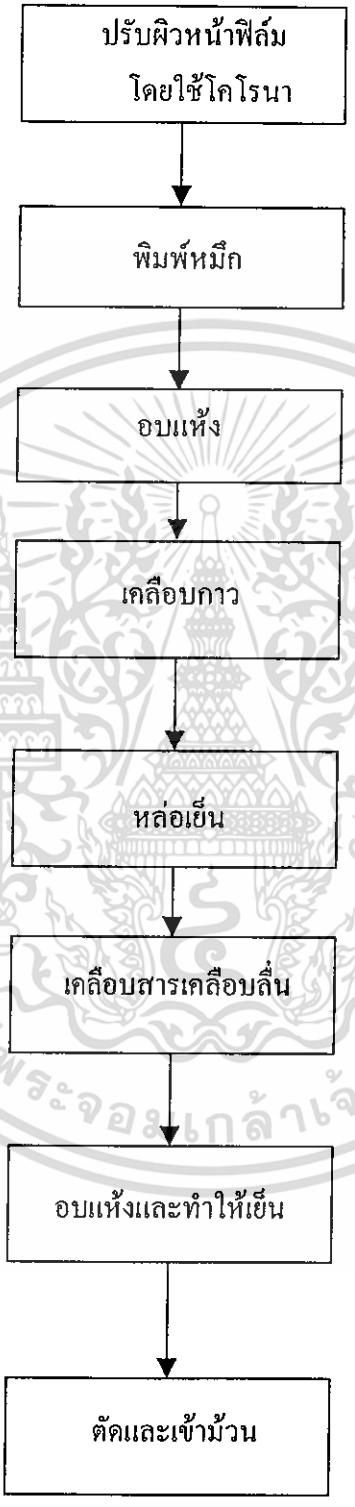
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลายมีความสำคัญในอุตสาหกรรมการพิมพ์วัสดุบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบัน ส่วนมากผลิตโดยระบบการพิมพ์แบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านและแบบพิมพ์พื้นผิวเพราะเป็นระบบการพิมพ์ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถพิมพ์ได้ด้วยความเร็วสูงเมื่อเทียบกับการพิมพ์แท่นราบ นอกจากนี้สามารถพิมพ์ลงบนวัสดุได้หลายประเภท เช่น กระดาษ ฟิล์มพลาสติก เทปกาวพลาสติก แผ่นโลหะ อุตสาหกรรมบางประเภทต้องการการบรรจุหีบห่อที่สามารถป้องกันความชื้นเข้าไปสัมผัสสินค้า ดังนั้นวัสดุประเภทฟิล์มพลาสติกและเทปกาวพลาสติกโดยเฉพาะเทปกาวพอลิโพรพิลีนจึงนิยมนำมาใช้พิมพ์ลวดลายสำหรับงานบรรจุภัณฑ์แทนวัสดุประเภทกระดาษเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีพื้นผิวเรียบ พิมพ์ลวดลายได้คมชัดกว่าพิมพ์บนกระดาษ ราคาไม่สูง และไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อมหลังการกำจัดด้วยการเผา ผู้ผลิตแต่ละรายจำเป็นต้องพัฒนาการพิมพ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์งานพิมพ์ที่คมชัดและมีคุณภาพซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากทางการตลาดการพิมพ์เพื่อสามารถรักษาหรือเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด

ปัญหาของโรงงานผลิตเทปกาวพิมพ์ลายของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด คือ กระบวนการพิมพ์แบบพิมพ์กลับด้าน (Reverse printing) ที่มีอยู่ไม่สามารถรองรับปริมาณความต้องการของตลาดได้เพียงพอ บริษัทมีกำลังการผลิตเพียง 1,000 ม้วนต่อวัน ในขณะที่ความต้องการของตลาดมีมากกว่า 5,000 ม้วนต่อวัน (ข้อมูลการผลิตเทปกาวพิมพ์ลายและการจัดจำหน่ายของฝ่ายการตลาด บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ประจำปี พ.ศ. 2545) การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านมีขั้นตอนการผลิตมากถึง 8 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 1.1 ใช้เวลาในการติดตั้งเครื่องที่ 1.5 – 2.0 ชั่วโมง และใช้เวลาในการผลิตนานประมาณ 1.5 - 2.0 นาทีต่อหนึ่งรอบของการผลิต ในแต่ละขั้นตอนการผลิตต้องใช้วัตถุดิบราคาสูงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ และบางครั้งเกิดการสูญเสียวัตถุดิบในแต่ละขั้นตอนการผลิต นอกจากนี้เครื่องจักรยังมีขนาดใหญ่ ระบบต่างๆ ซับซ้อน ต้องการพื้นที่กว้างมากในการจัดวางเครื่องจักร การลงทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิตสูง มีการใช้ปริมาณพลังงานและเชื้อเพลิงจำนวนมาก บริษัทจึงจำเป็นต้องเปลี่ยนการพิมพ์เป็นระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิว (Surface printing) เพื่อขยายกระบวนการผลิต เพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด และลดต้นทุนการผลิตเพราะเครื่องพิมพ์ระบบนี้มีราคาต่ำ และมีขั้นตอนการผลิตเพียง 3 ขั้นตอน การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย แสดงดังรูปที่ 1.2 และ 6 ขั้นตอนสำหรับการพิมพ์บนเทปกาวที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย ดังรูปที่ 1.3 การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวนี้จึงลดการใช้วัตถุดิบและพลังงาน ลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต ลดเวลาในการติดตั้งเครื่องเป็น 0.5 – 1 ชั่วโมง เวลาในการผลิตเป็นประมาณ 1 – 1.5 นาทีต่อหนึ่งรอบของการผลิต ดังนั้นต้นทุนการผลิตโดยรวมของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวจึงต่ำกว่าการพิมพ์ระบบ

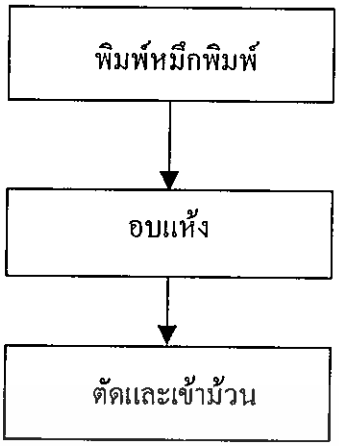
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้าน ตารางที่ 1.1 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านและแบบพิมพ์พื้นผิว

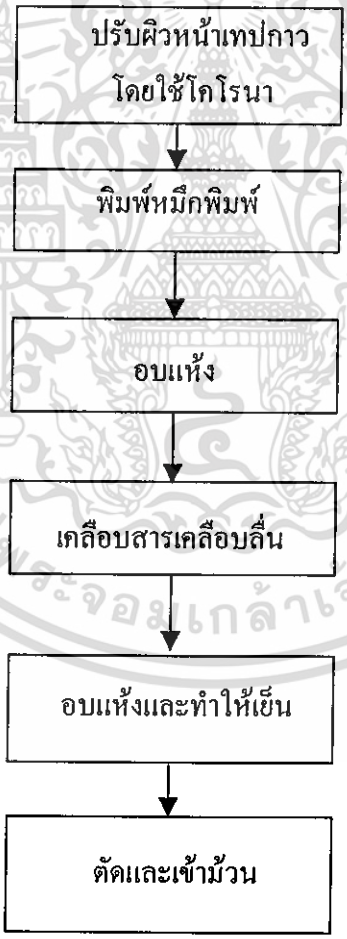


รูปที่ 1.1 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย [3]



รูปที่ 1.3 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านและแบบพิมพ์พื้นผิว

รายละเอียด	การพิมพ์แบบ พิมพ์กลับด้าน	การพิมพ์แบบ พิมพ์พื้นผิว
ราคาเครื่องพิมพ์ (บาท)	5,000,000	2,000,000
ราคาวัตถุดิบต่อการผลิตเทปกาว พิมพ์ลาย 1 ม้วน ความยาว 25 เมตร (บาท)	4.80	2.40
ค่าแรงต่อการผลิตเทปกาวพิมพ์ลาย 1 ม้วน ความยาว 25 เมตร (บาท)	2.00	2.00
เวลาที่ใช้ในการติดตั้งเครื่องต่อครั้ง (ชั่วโมง)	1.5 - 2	0.5 - 1
เวลาที่ใช้ต่อรอบของการผลิต (นาที)	1.5 - 2	1 - 1.5
ของเสียจากการผลิตต่อจำนวน การผลิตใน 1 แผนการผลิต (%)	15	5

เพื่อให้การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวที่จะติดตั้งใหม่นี้ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงเสนอการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ด้วยโปรแกรมมินิแทป และทดลองผลิตในกระบวนการผลิตทดสอบ เพื่อหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม ลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดพลาดสำหรับกระบวนการผลิตจริง และกำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับพนักงาน โดยศึกษาการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน 2 ชนิด คือ เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย ตัวแปรเบื้องต้นที่คาดว่าจะมีผลต่อการพิมพ์วิเคราะห์จากฐานข้อมูลตัวแปรของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้าน คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ สำหรับเทปกาวชนิดที่ 2 คือ เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย ตัวแปรที่ศึกษา คือ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น และปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

1.2.2 หาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน

1.2.3 กำหนดมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีนสามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดตัวแปรที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง ดังนั้น

- ตัวแปรที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์

- ตัวแปรที่คาดว่ามีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย คือ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น และปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนโดยใช้โปรแกรมมินิแทปในการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เนื่องจากเป็นแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูง ได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เพื่อกำหนดสภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญสำหรับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษากระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน

1.5.2 ศึกษากระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

1.5.3 ศึกษาโปรแกรมมินิแทปและการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน

1.5.4 หาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมจากการทดลองผลิตในกระบวนการผลิตทดสอบและทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.5.5 ผลิตในระดับอุตสาหกรรมและทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ได้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนโดยอาศัยฐานข้อมูลของกระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีบนฟิล์มพอลิโพรพิลีนแบบพิมพ์กลับด้าน

1.6.2 ศึกษาโปรแกรมมินิแทปและวิธีการออกแบบการทดลอง

1.6.3 กำหนดตัวแปรที่คาดว่ามีผลกระทบต่อการพิมพ์บนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

1.6.4 ออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทปเพื่อกำหนดการทดลองที่สภาวะต่างๆ

1.6.5 ทดสอบตามสภาวะจากการออกแบบการทดลอง ทดลองผลิตในกระบวนการผลิตทดสอบ และรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

1.6.6 วิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนด้วยโปรแกรมมินิแทป

1.6.7 สรุปผลการวิจัย

1.6.8 ผลิตในระดับอุตสาหกรรมด้วยสภาวะการผลิตที่ได้จากงานวิจัย

1.6.9 กำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับพนักงาน

1.6.10 จัดพิมพ์วิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.7.1 ทราบตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

1.7.2 สามารถกำหนดสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายในมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงาน

1.7.3 ผู้วิจัยเกิดทักษะในการวางแผนการทดลองที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติและวิวัฒนาการของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี [5-8]

การพิมพ์ในยุคก่อนประวัติศาสตร์เป็นการพิมพ์โดยแท่งศิลารูปทรงกระบอก พบที่กรุงบาบิโลน ประเทศอียิปต์ อายุประมาณ 3,600 ปี บนแท่งศิลาได้รับการแกะเป็นตัวอักษรไว้โดยรอบ สันนิษฐานว่าคงใช้สำหรับพิมพ์บนแผ่นหนังแกะที่ขูดเอาไขมันออกและฟอกให้สะอาดด้วยน้ำปูนขาว ซึ่งจัดเป็นวัสดุใช้พิมพ์ที่ชาวอียิปต์นำมาใช้แทนกระดาษก่อนการค้นพบวิธีทำกระดาษ ต่อมาชาวอียิปต์ได้คิดค้นวิธีทำกระดาษโดยใช้ต้นกกชนิดหนึ่ง (Cyperus papyrus) นำมาสานขัดกันเป็นแผ่น แช่ในน้ำจนนิ่ม ทุบให้แผ่ออกติดกันเป็นแผ่น นำไปตากแดดจนแห้ง ในยุคนั้นเรียกกระดาษชนิดนี้ว่า ปาปีรัส (Papyrus) ต่อมาชาวยุโรปตั้งชื่อว่าเปเปอร์ (Paper) ยุคปัจจุบันชาวจีนเป็นชาติแรกที่คิดประดิษฐ์กระดาษขึ้นราว พ.ศ. 648 โดยใช้วัตถุดิบเป็น ปอ เปลือกต้นหม่อน ไม้ไผ่ เศษผ้าเก่า แห อวน ในช่วงสงครามจีนกับอาหรับ ชาวจีนที่ถูกจับเป็นเชลยถูกบังคับให้สอนวิชาทำกระดาษแก่ชาวอาหรับ ต่อมาได้แพร่เข้าไปในยุโรปและได้มีการก่อตั้งโรงงานขนาดใหญ่ที่เพนซิลวาเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ใน พ.ศ. 2233 การพิมพ์ในยุคต้นๆ ใช้ไม้แกะสลักเป็นแม่พิมพ์ หมึกพิมพ์ที่ใช้อาจจะทำจากเขม่าไฟผสมกาวผึ่งให้แห้ง เวลาใช้นำมาผ่นกับน้ำ

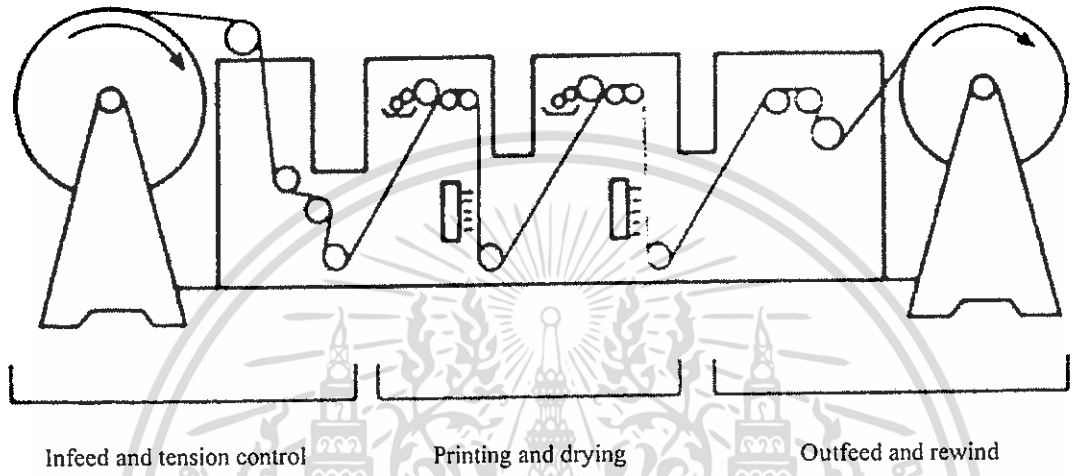
ในประเทศไทยได้เริ่มทำกระดาษขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2460 ปัจจุบันมีโรงงานกระดาษที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนหลายแห่งมีปริมาณการผลิตกระดาษราว 2,800,000 ตันต่อปี ญี่ปุ่นได้สร้างเครื่องมือสำหรับใช้พิมพ์ใน พ.ศ. 1307 - 1313 มีลักษณะคล้ายเจดีย์เป็นวงล้อพิมพ์ ตัวอักษรไม้แกะสลักที่ทาหมึกพิมพ์ไว้แล้วจะถูกสอดไว้ในวงล้อและกลิ้งพิมพ์ลงบนม้วนกระดาษ ในราว พ.ศ. 1584 - 1592 ชาวจีนได้ประดิษฐ์ตัวพิมพ์สำหรับเรียงพิมพ์ซึ่งทำมาจากผงหินผสมกาวน้ำแล้วอบแห้ง ต่อมาชาวเกาหลีได้ประดิษฐ์ตัวพิมพ์ที่ทำด้วยโลหะผสมระหว่างทองแดงและดีบุก

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีเป็นระบบการพิมพ์พื้นนูนซึ่งยังไม่เป็นที่แพร่หลายในยุคแรก คงใช้กันในส่วนราชสำนัก จนกระทั่งถึงยุคแห่งการบุกเบิกระบบการพิมพ์พื้นนูนของโยฮานน์ กูเตนเบิร์ก ผู้ริเริ่มการพิมพ์หนังสือแบบครบวงจร ตั้งแต่การสร้างแม่แบบหล่อตัวพิมพ์ พัฒนาหมึกพิมพ์ และเครื่องพิมพ์ ต่อมาในปี พ.ศ. 2015 กระบวนการพิมพ์หนังสือของกูเตนเบิร์กได้เปิดเผยต่อสาธารณะ หลังจากนั้นทางยุโรปได้ตื่นตัวทำการคิดค้นพัฒนาวิธีการ อุปกรณ์ และวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ รวมทั้งพัฒนาการสร้างเครื่องพิมพ์พื้นนูนที่มีประสิทธิภาพในการพิมพ์ได้ดียิ่งขึ้น มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาช่วยในการเรียงพิมพ์เพื่อความคมชัดและรวดเร็วจนกระทั่งวิวัฒนาการมาเป็นการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี [5-9]

เครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีได้รับการออกแบบพิเศษสามารถใช้พิมพ์ลงบนวัสดุได้หลายชนิด หลายขนาด โครงสร้างของเครื่องมือไม่ซับซ้อน โดยส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 75 เป็นเครื่องพิมพ์แบบป้อนม้วน และร้อยละ 25 เป็นระบบป้อนแผ่น เครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีประเภทป้อนม้วนประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีประเภทป้อนม้วน [8]

2.2.1 ส่วนป้อนวัสดุใช้พิมพ์และส่วนควบคุมแรงตึง (Infeed and tension control section)

ในการพิมพ์แบบป้อนม้วนต้องมีการคลี่ม้วนวัสดุใช้พิมพ์ออกมาก่อนที่จะป้อนเข้าส่วนพิมพ์ต่อไป ข้อดีของการพิมพ์แบบป้อนม้วน คือ พิมพ์ได้รวดเร็ว จำนวนมาก พิมพ์สีต่างๆ ซ้อนทับกันได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้ต้องควบคุมแรงตึงของม้วน (Tension control) ให้เหมาะสมเพื่อป้องกันปัญหาการหย่อน ยับ และขาดของวัสดุที่ใช้พิมพ์ก่อนทำการพิมพ์

2.2.2 ส่วนพิมพ์และส่วนทำแห้ง (Printing and drying section)

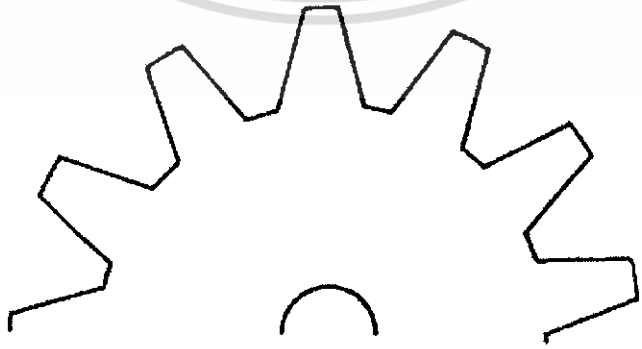
ส่วนพิมพ์ประกอบด้วยอ่างหมึกพิมพ์ ลูกกลิ้งหมึกพิมพ์ ใบปาดหมึกพิมพ์ แม่พิมพ์ และลูกกลิ้งกดพิมพ์ ส่วนประกอบที่สำคัญของการพิมพ์ระบบนี้ คือ ลูกกลิ้งหมึกพิมพ์ประกอบด้วยลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์ และลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ ลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์ทำจากยางมีหน้าที่นำหมึกพิมพ์จากอ่างหมึกพิมพ์ส่งต่อไปยังลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ และยังทำหน้าที่เป็นตัวรีดหมึกพิมพ์ไปด้วยในตัว ส่วนลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์เป็นลูกกลิ้งที่ทำหน้าที่รับหมึกพิมพ์จากลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์เพื่อส่งต่อไปยังแม่พิมพ์ ที่ผิวของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็กจำนวนมากตั้งแต่ 10 ถึง 550 เซลล์ต่อนิ้ว ซึ่งสอดคล้องกับการระบุความละเอียดของภาพพิมพ์ การควบคุมปริมาณหมึกพิมพ์ที่ดีจะทำให้ได้การพิมพ์ที่ดี ลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์จึงนับว่าเป็นหัวใจของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของเซลล์เป็นสิ่งที่ทำให้งานพิมพ์ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ควบคุมการพิมพ์ง่าย และได้คุณภาพงานพิมพ์ที่คงที่ ลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ที่ดีควรมีขนาดปากเซลล์กว้างและมีกำแพงแคบแต่แข็งแรง มีความลึกของเซลล์ที่เหมาะสมกับปริมาณหมึกพิมพ์ที่ต้องการถ่ายโอนให้แม่พิมพ์ โครงสร้างของเซลล์บนลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์มี 2 แบบ คือ แบบพีระมิด (Pyramid) และแบบ Quadrangular ดังรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์แบบพีระมิด [8]

จากรูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลล์บนพื้นผิวของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์มีรูปร่างเป็นแบบสามเหลี่ยมพีระมิด ความลึกของเซลล์ไม่มาก สามารถรับหมึกพิมพ์จากลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์ได้เร็ว เหมาะกับการพิมพ์ที่ต้องการความรวดเร็ว ลวดลายไม่ละเอียดมากนัก เนื่องจากปากเซลล์ที่มีหมึกพิมพ์บรรจุอยู่แคบกว่าแบบ Quadrangular ดังนั้นพื้นที่ที่หมึกพิมพ์จะถูกถ่ายโอนไปยังแม่พิมพ์จึงมีปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์โครงสร้างแบบสามเหลี่ยมพีระมิดนี้จะมีความทนทานต่อการใช้งานสูงกว่า เนื่องจากกำแพงที่กั้นระหว่างบ่อหมึกพิมพ์มีความหนาและจำนวนที่มากกว่าจึงทนทานต่อแรงเสียดสีระหว่างลูกกลิ้งได้ดีกว่าแบบ Quadrangular



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์แบบ Quadrangular [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.3 ลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์แบบ Quadrangular มีขนาดปากเซลล์ที่กว้างจึงสามารถถ่ายโอนหมึกพิมพ์ไปยังแม่พิมพ์ได้ดี สามารถพิมพ์งานที่มีความละเอียดและให้ความคมชัดสูง แต่เนื่องจากแต่ละเซลล์มีความลึกและปริมาตรมากจึงไม่เหมาะกับการพิมพ์ที่มีความเร็วสูงมาก และเนื่องจากโครงสร้างของกำแพงที่กั้นระหว่างบ่อหมึกพิมพ์บางกว่าแบบสามเหลี่ยมพีระมิด ทำให้มีความทนทานต่อการเสียดสีระหว่างลูกกลิ้งและอายุการใช้งานต่ำกว่าลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์แบบสามเหลี่ยมพีระมิด

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีนิยมใช้หมึกพิมพ์เหลวที่แห้งตัวเร็ว ปัจจัยที่ทำให้หมึกพิมพ์แห้งตัวช้า เช่น การถ่ายโอนหมึกพิมพ์ในปริมาณมาก ลักษณะผิวของวัสดุที่ใช้พิมพ์ซึ่งมีผลต่อการดูดซึมหมึกพิมพ์ ความเร็วในการพิมพ์ต้องสัมพันธ์กับอัตราเร็วในการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ หมึกพิมพ์ต้องมีองค์ประกอบที่ช่วยให้เกิดการแห้งตัวได้เร็ว จากปัจจัยข้างต้นทำให้จำเป็นต้องมีส่วนทำแห้งติดตั้งอยู่ในเครื่องพิมพ์เพื่อทำให้หมึกพิมพ์แห้งเร็วขึ้น ส่วนทำแห้งที่ติดตั้งอยู่ในเครื่องพิมพ์มี 2 แบบ คือ ส่วนทำแห้งโดยใช้ลมร้อนเป็นแบบที่นิยมมากเนื่องจากราคาถูก และส่วนทำแห้งโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลตซึ่งสามารถทำแห้งได้รวดเร็วแต่มีราคาสูง

2.2.3 ส่วนเก็บม้วน (Outfeed and rewind section)

ปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมในส่วนเก็บม้วน คือ แรงดึง ความเรียบ และความเรียบร้อยของม้วนเทป

2.3 แม่พิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี [5-7, 10-12]

แม่พิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีเป็นแม่พิมพ์พื้นนูนที่มีความยืดหยุ่น วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ต้องมีความสามารถในการรับและถ่ายโอนหมึกพิมพ์ไปยังวัสดุที่ใช้พิมพ์ได้ดี วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์มี 2 ประเภท คือ แม่พิมพ์ยางซึ่งอาจเป็นยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ และแม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่มีความไวแสง สามารถติดตั้งโอบรอบโมลด์แม่พิมพ์ได้ กระบวนการทำแม่พิมพ์ยางจะใช้การฉายแสงจากแผ่นเนกาทิฟไปบนแผ่นโลหะที่เคลือบผิวหน้าด้วยสารไวแสง ส่วนที่ได้รับแสงจะแข็งตัว นำแผ่นโลหะไปกัดด้วยกรด ส่วนที่ไม่ได้รับแสงจะหลุดไป ส่วนที่เหลืออยู่จะเป็นบริเวณภาพ ใช้แผ่นโลหะนี้เป็นต้นแบบทำแม่พิมพ์ยางหล่อ จากนั้นใช้แม่พิมพ์ยางหล่อเป็นต้นแบบในการทำแม่พิมพ์ยาง สำหรับกระบวนการทำแม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่มีความไวแสงมีขั้นตอนเดียว สามารถแข็งตัวเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเลต โดยการฉายแสงจากแผ่นเนกาทิฟไปบนแผ่นพอลิเมอร์ที่มีความไวแสง และไปผ่านการล้างด้วยตัวทำละลายหรือน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ทดลองพิมพ์โดยใช้แม่พิมพ์พอลิเมอร์ที่มีความไวแสงโอบรอบโมลด์แม่พิมพ์โลหะไว้เนื่องจากมีกระบวนการทำแม่พิมพ์ที่รวดเร็วและไม่ยุ่งยาก รวมทั้งปลอดภัยจากสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากไม่มีขั้นตอนการกัดโลหะด้วยกรดและใช้น้ำในการล้างแผ่นพอลิเมอร์ที่มีความไวแสง

2.4 หมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี [5-7, 10-16]

2.4.1 ประเภทของหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี

ประเภทของหมึกพิมพ์แบ่งได้ตามชนิดของตัวทำละลายเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.4.1.1 หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย (Solvent base ink) นิยมใช้พิมพ์ลงบนกระดาษ เทปกาวพลาสติก ฟิล์มพลาสติก และสติกเกอร์พลาสติก ตัวทำละลายที่ใช้มักเป็นสารผสมระหว่างแอลกอฮอล์และเอสเทอร์ ขึ้นอยู่กับความต้องการในการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ สมบัติที่ดีของหมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลาย คือ แห้งตัวเร็ว ความทนทานต่อการขัดถูดี และความมันวาวสูง เป็นต้น

2.4.1.2 หมึกพิมพ์ฐานน้ำ (Water base ink) ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายหลัก ส่วนใหญ่พิมพ์ลงบนกระดาษ ควบคุมความหนืดให้คงที่ได้ง่ายเนื่องจากมีการแห้งตัวช้าไม่เป็นอันตรายต่อลูกกลิ้งและสุขภาพของช่างพิมพ์ แต่อาจต้องใช้ความร้อนสูงในการทำให้หมึกพิมพ์แห้งซึ่งอาจมีผลทำให้วัสดุที่ใช้พิมพ์เสียรูปได้

2.4.1.3 หมึกพิมพ์ยูวี (UV base ink) นิยมพิมพ์ฉลากหรือป้ายสินค้า มีผลทำให้แม่พิมพ์ยางหรือพอลิเมอร์เกิดการบวมตัวได้ อย่างไรก็ตามหมึกพิมพ์ประเภทนี้สามารถแห้งตัวเร็วด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตภายในตู้อบ

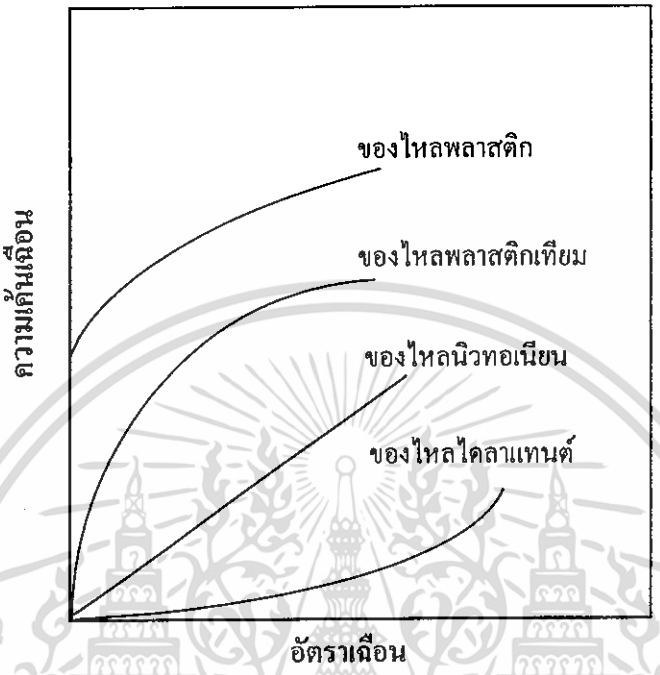
ในงานวิจัยนี้ศึกษาการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวโดยใช้หมึกพิมพ์ฐานตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ เนื่องจากหมึกพิมพ์ประเภทนี้มีความหนืดน้อยและแห้งตัวเร็ว สามารถพิมพ์งานได้รวดเร็ว ราคาไม่สูง และเนื่องจากเป็นตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ จึงทำให้แม่พิมพ์พอลิเมอร์ซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้บวมตัวน้อยหรือไม่บวมตัวเลย และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน

2.4.2 สมบัติของหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี

สารที่เป็นส่วนประกอบหลักของหมึกพิมพ์มี 3 ประเภท คือ สารให้สีซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติความเข้มสีและความทนทานต่อแสง สารยึดเหนี่ยวเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการยึดเกาะและความแข็งแรงทนทาน ส่วนประกอบสุดท้าย คือ สารตัวทำละลายเกี่ยวข้องกับการเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน คุณสมบัติการไหล และการแห้งตัวของหมึกพิมพ์ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักของหมึกพิมพ์ที่จำเป็นต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.1 สมบัติการไหลของหมึกพิมพ์ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน (Shear stress - τ) และอัตราเฉือน (Shear rate - D) หรือกราฟแสดงความหนืด แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราเฉือนของของไหลชนิดต่างๆ [14]

ความหนืด คือ ความต้านทานของของไหลต่อการไหล หน่วยของความหนืด คือ พอยส์ (Poise) โดยที่ความหนืด 1 พอยส์ คือ แรงที่ทำให้ของไหลที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 ตารางเซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาที ความหนืดของของไหลเป็นสัดส่วนระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือน ซึ่งคือความชันของเส้นกราฟ ดังสมการที่ 2.1

$$\eta = \frac{\tau}{D} \tag{2.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

η = ความหนืดของของไหล มีหน่วยพอยส์หรือกรัมต่อเซ็นติเมตร วินาที ($g\ cm^{-1}\ s^{-1}$)

τ = ความเค้นเฉือนหรือแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ มีหน่วยกรัมต่อเซนติเมตร วินาที^{2} ($g\ cm^{-1}\ s^{-2}$)

D = อัตราเฉือน มีหน่วยต่อวินาที (s^{-1})

ของไหลแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ของไหลนิวทอเนียน (Newtonian fluid) และของไหลนอนนิวทอเนียน (Non newtonian fluid) ดังนี้

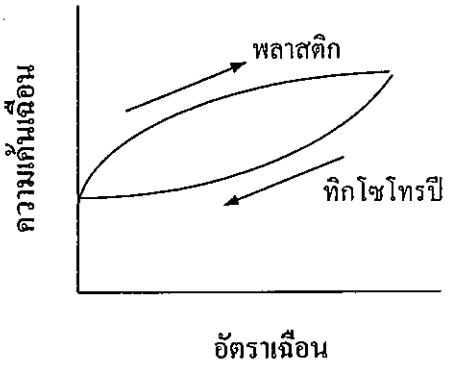
ของไหลนิวทอเนียน มีความเค้นเฉือนแปรผันตรงกับอัตราเฉือนคงที่ ของไหลประเภทนี้จึงมีความหนืดคงที่และส่วนมากมักมีความหนืดต่ำได้แก่ น้ำ กลีเซอรีน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น

ของไหลนอนนิวทอเนียน หรืออาจเรียกว่า ของไหลหนืด (Viscous fluid) มีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนไม่เป็นเส้นตรง ของไหลนอนนิวทอเนียนมี 3 ชนิด คือ

1. ของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติกเทียม (Pseudoplastic fluid) หรือ Shear thinning fluid เมื่อเพิ่มความเค้นเฉือนพบว่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรกและจะลดลง เมื่อความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น คือ เมื่อมีแรงมากระทำกับของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติกเทียม เช่น การคนหรือการกวน ของไหลจะมีความหนืดลดลงและไม่กลับสู่ความหนืดเดิม สาเหตุเพราะการกวนทำให้โมเลกุลของของไหลเกิดการเรียงตัวใหม่อย่างเป็นระเบียบในทิศทางเดียวกันกับแรงที่กวน ซึ่งการเรียงตัวใหม่นี้ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง ของไหลนั้นจึงไหลได้ดีขึ้น ของไหลประเภทนี้ ได้แก่ แป้งเปียก สารละลายเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น

2. ของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติก (Plastic fluid) ในช่วงแรกเมื่อเพิ่มความเค้นเฉือนอัตราเฉือนยังคงเป็นศูนย์ของไหลจึงไม่เกิดการไหล แต่ถ้ายังให้ความเค้นเฉือนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงค่าหนึ่ง ของไหลจะเริ่มไหลเนื่องจากของไหลมีความหนืดลดลง ค่าจุดตัดบนแกนของความเค้นเฉือนหรือตำแหน่งความเค้นเฉือนที่ทำให้ของไหลเริ่มไหลเรียกว่า จุดคราก (Yield point) หลังจากนั้นของไหลจะมีความหนืดลดลงและสามารถไหลได้ดียิ่งขึ้นเมื่อยังมีการให้ความเค้นเฉือนอย่างต่อเนื่อง ของไหลประเภทนี้ ได้แก่ หมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี สีทาบ้าน และหมึกพิมพ์ผ้า เป็นต้น ของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติกบางชนิด เช่น สารแขวนลอยคาโอลิน (Kaolin suspension) และปิโตรลาตัม (Petrolatum) เป็นต้น หากหยุดให้ความเค้นเฉือนอัตราเฉือนจะลดลงอย่างช้าๆ ของไหลจะกลับมาหนืดขึ้นจนกระทั่งหยุดไหลที่ความหนืดเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าทิกโซโทรปี (Thixotropy) ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติกและการเกิดปรากฏการณ์ทิกโซโทรปี [15]

โมเลกุลของของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติกที่เกิดปรากฏการณ์ทิกโซโทรปีมีการเชื่อมโยงกันแบบโครงร่างตาข่ายอย่างหลวมๆ ลักษณะเป็นเจล เมื่อมีแรงมากระทำโครงสร้างของของไหลที่เป็นเจลจะถูกทำลายด้วยแรงกระทำนั้นและเปลี่ยนไปเป็นของไหลที่ไหลง่าย และเมื่อหยุดแรงที่กระทำโมเลกุลของของไหลจะกลับมาเชื่อมโยงกันในลักษณะเป็นเจลอีก

3. ของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทไดลาแทนต์ (Dilatant) หรือ Shear thickening fluid เมื่อเพิ่มความเค้นเฉือนพบว่าสัดส่วนระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราเฉือนจะเพิ่มขึ้น ของไหลประเภทนี้จะมีความหนืดสูงขึ้นเมื่อให้ความเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น คือ เมื่อมีแรงมากระทำกับของไหล เช่น การคนหรือการกวน แต่เมื่อหยุดกวนความหนืดของของไหลจะลดลงและกลับสู่ความหนืดค่าเดิม ของไหลประเภทนี้ ได้แก่ ผงแป้งในน้ำ ทรายในน้ำ และผงสีที่เข้มข้นมาก เป็นต้น

หมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีฐานตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์เป็นของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติก เมื่อเพิ่มการกวนหรือเพิ่มความเค้นเฉือนให้กับหมึกพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์จะเพิ่มขึ้นในช่วงต้นจนถึงค่าหนึ่งแล้วความหนืดจะลดลงและเริ่มไหล ดังนั้นขณะที่พิมพ์จำเป็นต้องกวนหมึกพิมพ์ที่บรรจุอยู่ในอ่างหมึกพิมพ์ตลอดเวลาเพื่อให้หมึกพิมพ์ไหล เพราะหากหยุดกวนหรือหยุดให้ความเค้นเฉือนหมึกพิมพ์จะกลับหนืดจนกระทั่งหยุดไหล และลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์จะไม่สามารถส่งหมึกพิมพ์จากอ่างหมึกพิมพ์ต่อไปยังลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ได้

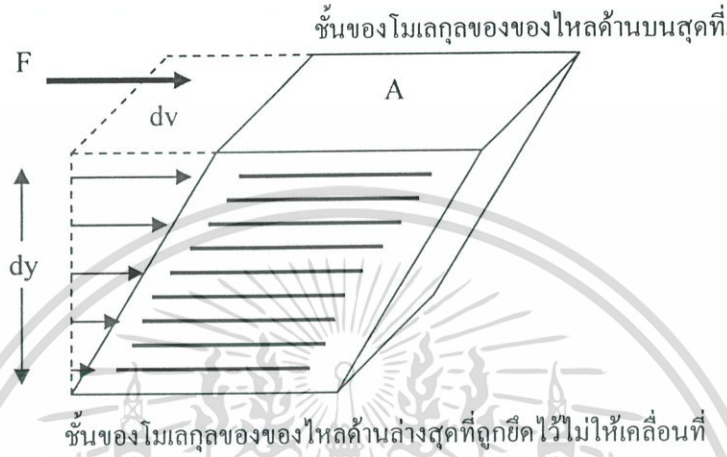
2.4.2.2 ความหนืดของหมึกพิมพ์ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีเพราะมีผลกระทบต่อความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บนวัสดุที่ใช้พิมพ์ ความหนืดเป็นสมบัติทางการไหล เมื่อให้แรงกระทำต่อหมึกพิมพ์พบว่าหมึกพิมพ์จะไหลได้ แต่เมื่อหยุดให้แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

กระทำหมึกพิมพ์จะหยุดไหล การที่หมึกพิมพ์ไม่สามารถไหลได้อย่างอิสระเนื่องจากแรงหน่วงหรือแรงต้านการไหล

ความหนืดของของไหลนิวทอเนียนสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 2.1 โดยพิจารณาส่วนของของไหลซึ่งประกอบด้วยชั้นของโมเลกุลของของไหลที่ขนานกันและซ้อนกันหลายชั้นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองการไหลของของไหลนิวทอเนียน [15]

จากรูปชั้นของโมเลกุลของของไหลด้านล่างสุดถูกยึดไว้ ส่วนชั้นของโมเลกุลด้านบนจะได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ชั้นของโมเลกุลด้านล่างถัดไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากชั้นของโมเลกุลของของไหลด้านล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่

ความเค้นเฉือน คือ ค่าแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ ดังสมการที่ 2.2

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{2.2}$$

โดยที่

F = แรงที่กระทำกับชั้นของโมเลกุลของของไหลด้านบนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่

A = พื้นที่หน้าตัดของชั้นของโมเลกุลของของไหล

อัตราเฉือน คือ เกรเดียนของความเร็วหรือความแตกต่างของความเร็วระหว่างชั้นของโมเลกุลของของไหล 2 ชั้นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป ดังสมการที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
61207

$$D = \frac{dv}{dy} \tag{2.3}$$

โดยที่

dv = ความแตกต่างของความเร็วระหว่างชั้นของโมเลกุลของของไหล

dy = ระยะทางที่เปลี่ยนไป

ความหนืดของของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติกเทียมและไดลาแทนต์จะไม่คงที่ สามารถคำนวณค่าความหนืดเฉลี่ยของของไหลทั้ง 2 ประเภทนี้ได้จากสมการ Power law ดังนี้

$$\tau = KD^n \tag{2.4}$$

โดยที่

K = ดัชนีค่าคงที่ (Consistency index) หรือความหนืดเฉลี่ยของของไหล เป็นค่าของความเค้นเฉือนที่ทำให้ของไหลมีอัตราเฉือนเท่ากับ 1 วินาที$^{-1}$

n = ดัชนีของพฤติกรรมการไหล (Flow behavior index)

= 1 สำหรับของไหลนิวทอเนียน

< 1 สำหรับของไหลพลาสติกเทียม

> 1 สำหรับของไหลไดลาแทนต์

สมการที่ 2.4 เมื่อทำเป็นสมการลอกการิทึมได้สมการที่ 2.5

$$\log\tau = \log K + n \log D \tag{2.5}$$

เขียนกราฟความสัมพันธ์ของ $\log\tau$ และ $\log D$ จะได้กราฟเส้นตรง ที่มีความชัน คือ n และค่าของจุดตัดบนแกนของ $\log\tau$ คือ $\log K$

ความหนืดของของไหลนอนนิวทอเนียนประเภทพลาสติก คำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$\eta = \frac{(\tau - f)}{D} \tag{2.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

f = ค่าจุดดรากของของไหลพลาสติก (ค่าของจุดตัดบนแกนของความเค้นเฉือน)

หมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีจัดเป็นหมึกพิมพ์เหลว มีความหนืดอยู่ระหว่าง 0.1 – 1.0 พอยส์ หรือ 20-30 วินาที เมื่อวัดด้วย Zahn cup #2 ถ้าหมึกพิมพ์ที่ใช้สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีมีความหนืดสูงมากจนไม่สามารถไหลได้อย่างอิสระจะทำให้การถ่ายโอนหมึกพิมพ์ไปยังวัสดุที่ใช้พิมพ์ได้น้อยกว่าที่ต้องการ

2.5 วัสดุที่ใช้พิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี [5-8, 10-11, 17]

2.5.1 วัสดุที่ใช้พิมพ์ประเภทกระดาษ

กระดาษเป็นวัสดุใช้พิมพ์ประเภทหนึ่งที่ใช้อย่างแพร่หลาย กระดาษประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นใยจากพืชชนิดต่างๆ ซึ่งพืชแต่ละชนิดสามารถผลิตกระดาษที่มีสมบัติแตกต่างกัน และส่วนที่เป็นสารเติมแต่งต่างๆ กระดาษแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.1.1 กระดาษเคลือบผิว (Coated paper) คือ กระดาษที่มีการเคลือบผิวด้วยสารตัวเติมต่างๆ ที่ช่วยให้กระดาษมีคุณสมบัติในการพิมพ์ดีขึ้น กระดาษเคลือบผิวชนิดที่นิยมใช้ คือ กระดาษอาร์ต ทำจากเยื่อเคมี มีความขาว คงทน ผิวเรียบ และมีความมันวาวสูง เหมาะสำหรับการพิมพ์งานสอดสีที่ต้องการคุณภาพสูง มีทั้งชนิดเคลือบด้านเดียวและสองด้าน นิยมใช้พิมพ์งานหนังสือ นิตยสาร โปสเตอร์ แผ่นพับ หรือบัตรอวยพร เป็นต้น

2.5.1.2 กระดาษไม่เคลือบผิว (Uncoated paper) คือ กระดาษที่ไม่มีการเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิว มีคุณภาพการพิมพ์ด้อยกว่ากระดาษเคลือบผิว กระดาษไม่เคลือบผิวที่นิยมใช้ได้แก่ กระดาษหนังสือพิมพ์ หรือกระดาษปรู๊ฟ เป็นเยื่อผสมระหว่างเยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้นผลิตจากเยื่อไม้เป็นหลัก อาจมีเยื่อเคมีผสมเข้าไปเล็กน้อยเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กระดาษ เหมาะสำหรับงานพิมพ์หนังสือพิมพ์ หนังสือแบบเรียน นิตยสาร แผ่นใบปลิว หรือใบแทรก เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกระดาษปอนด์ซึ่งเป็นกระดาษที่ผลิตจากเยื่อเคมีทั้งหมด มีความขาวและความแข็งแรงมากกว่ากระดาษปรู๊ฟ ใช้สำหรับพิมพ์งานที่ต้องการคุณภาพสูง เช่น หนังสือแบบเรียน นิตยสาร หรือวารสาร เป็นต้น

2.5.2 วัสดุที่ใช้พิมพ์ประเภทพลาสติก

พลาสติกเป็นวัสดุใช้พิมพ์ที่เข้ามามีบทบาทต่ออุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อย่างมาก พลาสติกเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี อาจนำมาใช้โดยตรงได้เลยหรือต้องมีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ให้เหมาะสมก่อนนำไปใช้งาน ส่วนมากมักจะผลิตอยู่ในรูปของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟิล์มหรือเทปกาวพลาสติกซึ่งมีความหนาน้อยกว่า 250 ไมครอน และแผ่นพลาสติกซึ่งมีความหนาตั้งแต่ 250 ไมครอนขึ้นไป วัสดุที่ใช้พิมพ์ประเภทพลาสติกแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.2.1 เทอร์โมพลาสติกมีรูปร่างโมเลกุลเป็นสายโซ่ตรง เป็นพลาสติกที่หลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อนและกลับคืนสภาพเดิมเมื่อทำให้เย็นตัวลงซึ่งสามารถกระทำได้หลายครั้ง โดยที่สมบัติทางเคมีของพลาสติกไม่เปลี่ยนแปลง ชนิดของเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่ คือ พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน พอลิสไตรีน พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิเอสเทอร์ เป็นต้น

2.5.2.2 พลาสติกเทอร์โมเซต เป็นพลาสติกประเภทคงตัว ไม่หลอมตัวอีกเมื่อได้รับความร้อนซ้ำ เนื่องจากรูปร่างโมเลกุลเป็นแบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแหทำให้ไม่สามารถนำกลับมาผลิตใหม่ได้ ชนิดของพลาสติกเทอร์โมเซต เช่น เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์

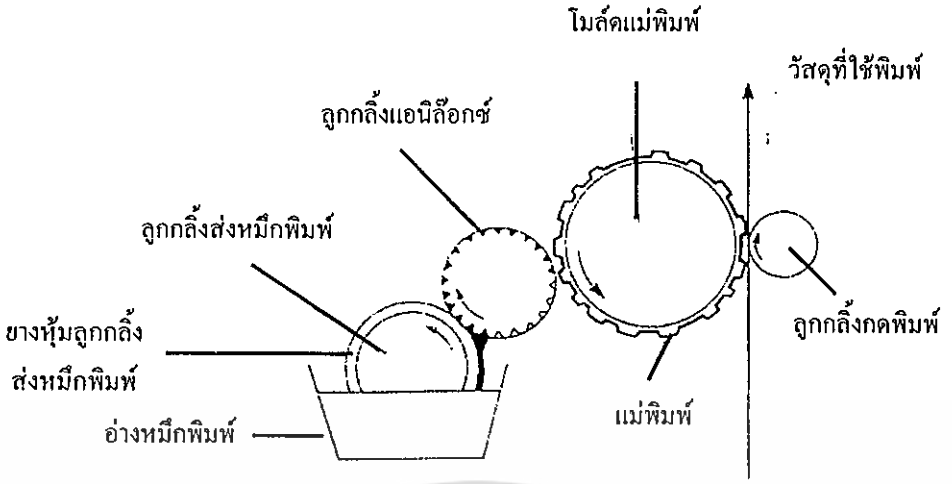
2.5.3 วัสดุที่ใช้พิมพ์ประเภทโลหะ

โลหะเป็นวัสดุที่ใช้พิมพ์สำหรับบรรจุภัณฑ์โลหะมานานแล้ว เนื่องจากมีสมบัติเด่น เช่น มีความแข็ง ความเหนียว และความมันวาวสูง แผ่นโลหะที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุที่ใช้พิมพ์ คือ แผ่นเหล็กไม่เคลือบผิว แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก หรือแผ่นอลูมิเนียม เป็นต้น

2.6 กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี [5-12, 17-21]

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีเป็นระบบการพิมพ์พื้นนูนเช่นเดียวกับระบบการพิมพ์เลตเตอร์เพรส คือ เป็นการพิมพ์หรือการถ่ายโอนหมึกพิมพ์จากบริเวณแม่พิมพ์ลงบนวัสดุที่ใช้พิมพ์ ข้อแตกต่างอยู่ที่แม่พิมพ์และหมึกพิมพ์ แม่พิมพ์ในระบบเฟล็กโซกราฟฟีทำจากยางหรือพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนตัวหรือยืดหยุ่นได้มากกว่าแม่พิมพ์ในระบบเลตเตอร์เพลส และจากการที่หมึกพิมพ์เลตเตอร์เพลสมีความหนืดมากทำให้ระบบการจ่ายหมึกพิมพ์ประกอบด้วยลูกกลิ้งหมึกพิมพ์จำนวนมากที่ทำงานร่วมกันให้หมึกพิมพ์มีความหนาชั้นลดลงเรื่อยๆ จนมีความหนาที่เหมาะสมก่อนถ่ายโอนลงบนแม่พิมพ์ ระบบการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแสดงดังรูปที่ 2.7 เริ่มจากหมึกพิมพ์ที่บรรจุอยู่ในอ่างหมึกพิมพ์ถูกส่งไปยังลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์ ซึ่งลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์อาจมีหรือไม่มีใบปาดหมึกพิมพ์ที่ทำหน้าที่ปาดหมึกพิมพ์ให้เรียบ ลูกกลิ้งส่งหมึกพิมพ์จะทำหน้าที่ส่งต่อหมึกพิมพ์ไปยังเซลล์เล็กๆ บนลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ เพื่อที่แม่พิมพ์ซึ่งโอบรอบโมลด์แม่พิมพ์มารับหมึกพิมพ์จากลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ แล้วส่งหมึกพิมพ์ต่อไปยังวัสดุที่ใช้พิมพ์โดยอาศัยลูกกลิ้งกดพิมพ์ การตั้งแรงกดพิมพ์ระหว่างแม่พิมพ์และวัสดุที่ใช้พิมพ์ด้วยลูกกลิ้งกดพิมพ์ขึ้นกับความหนาของวัสดุที่ใช้พิมพ์ เพื่อให้ได้ภาพออกมามีความคมชัดและสวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ระบบการถ่ายโอนหมึกพิมพ์ของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี [6]

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีเป็นการพิมพ์ที่ใช้เพื่อพิมพ์สิ่งพิมพ์ประเภทบรรจุภัณฑ์ต่างๆ เป็นหลัก นอกจากบรรจุภัณฑ์แล้วยังใช้เพื่อพิมพ์สิ่งพิมพ์ทั่วไป เช่น ฉลากสติกเกอร์ เทปปิดกล่อง หรือกระดาษปิดผนัง เป็นต้น ในช่วงแรกๆ มักนิยมใช้พิมพ์ฉลากสินค้าลงบนกระดาษ ต่อมาได้มีการพัฒนาพิมพ์ลงบนฟิล์มพลาสติกและเทปกาวพลาสติกเพื่อทดแทนการพิมพ์ลงบนกระดาษ เนื่องจากฟิล์มพลาสติกและเทปกาวพลาสติกมีสมบัติที่ทนทานต่อการใช้งานภายนอกอาคารได้ดีกว่ากระดาษ นอกจากนี้ฟิล์มพลาสติกและเทปกาวพลาสติกยังมีพื้นผิวที่เรียบสามารถพิมพ์ลวดลายได้คมชัดมากกว่ากระดาษซึ่งมีพื้นผิวที่หยาบ ข้อสำคัญฟิล์มพลาสติกและเทปกาวพลาสติกเป็นวัสดุที่มีสมรรถนะและอายุการใช้งานที่นานกว่ากระดาษรวมทั้งสามารถโค้งงอและเข้ามุมเล็ก ๆ ได้ดี ปัจจุบันธุรกิจพิมพ์ฉลากหรือป้ายสินค้าด้วยการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีบนฟิล์มพลาสติกและเทปกาวพลาสติกมีประมาณ 40 – 42 % ซึ่งเพิ่มขึ้นมาจาก พ.ศ. 2542 - 2545 ประมาณ 30 % จะเห็นได้ว่าอัตราการเติบโตอยู่ที่ 5 – 7 % ต่อปี

Terry Baker เป็นผู้บุกเบิกการพิมพ์ลงบนฟิล์มประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate : PET) สำหรับสินค้าฉลากและป้ายพิมพ์ ต่อมาได้พัฒนาพิมพ์ลงบนฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE) และปรับปรุงเรื่อยมาจนใช้เทปกาวพอลิโพรพีลีน (Biaxial-oriented polypropylene : BOPP) ที่มีกระบวนการผลิตพิเศษให้เทปกาวพอลิโพรพีลีนสามารถทนต่อแรงดึงได้ทั้งในแนวด้านกว้างและด้านยาว สำหรับการใช้งานในตลาดที่มีความต้องการคุณภาพของผลิตภัณฑ์สูงและอายุการใช้งานนาน พบว่าอัตราการเติบโตของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีลงบนเทปกาว BOPP ในปัจจุบันเพิ่มขึ้น 8 – 10 % ต่อปี และมีแนวโน้มที่จะเติบโตอย่างต่อเนื่องต่อไป การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีบนวัสดุพอลิโพรพิลีนแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน [3, 18]

การพิมพ์แบบพิมพ์กลับด้านเป็นการพิมพ์ภาพลงบนพื้นผิวด้านล่างของฟิล์มพอลิโพรพิลีน สามารถพิมพ์บนวัสดุใสเท่านั้น ลวดลายที่พิมพ์จะมีลักษณะเป็นภาพกลับด้านในขณะที่พิมพ์ โดยใช้ผิวด้านบนของวัสดุที่ใช้พิมพ์เพื่อป้องกันการหลุดของหมึกพิมพ์จากการขัดถู ขั้นตอนการพิมพ์แสดงดังรูปที่ 1.1 ในบทที่ 1

2.6.2 การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน [3, 19]

การพิมพ์แบบพิมพ์พื้นผิวเป็นการพิมพ์ภาพลงบนพื้นผิวด้านบนของเทปกาวพอลิโพรพิลีน สามารถพิมพ์บนเทปกาวทุกสี ลวดลายที่พิมพ์จะมีลักษณะเป็นภาพเหมือนจริงในขณะที่พิมพ์ เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่ใช้ในการพิมพ์ลวดลายมี 2 ชนิด คือ

2.6.2.1 เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย กระบวนการพิมพ์มีขั้นตอนอย่างง่าย แสดงดังรูปที่ 1.2 ในบทที่ 1

2.6.2.2 เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย กระบวนการพิมพ์มีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 1.3 ในบทที่ 1

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลอง วิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนทั้ง 2 ชนิด โดยใช้โปรแกรมมินิแทบเพื่อทดแทนกระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน

2.7 การปรับผิวหน้าของเทปกาวพลาสติกก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย [6, 20]

เทปกาวพอลิโพรพิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่ใช้มากชนิดหนึ่ง เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างแบบเส้นตรง ไม่มีกิ่งโซ่สาขา มีความเป็นผลึกสูง มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 160 – 170 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่นต่ำประมาณ 0.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีคุณสมบัติเชิงกลด้านความเหนียวและความแข็งแรงสูง ทนต่อน้ำมัน ความร้อนและความเย็นได้ดี ผนึกติดได้ด้วยความร้อน กันความชื้นได้ดี จากคุณสมบัติข้างต้นจึงนิยมใช้เป็นวัสดุเทปกาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ เพราะทนต่อสภาพแวดล้อมและไม่เกิดการอ่อนตัว

เนื่องจากเทปกาวพอลิโพรพิลีนมีผิวที่เรียบและไม่มีความพรุนซึ่งแตกต่างจากกระดาษ ทำให้ไม่สามารถดูดซึมตัวทำละลายในหมึกพิมพ์และไม่ยอมให้หมึกพิมพ์ซึมผ่านได้ง่าย ทำให้หมึกพิมพ์ติดได้ยากและแห้งตัวยาก การปรับผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับผิวของเทปกาวพอลิโพรพิลีนให้สามารถรับหมึกพิมพ์และยึดติดได้ดี การปรับผิวหน้าเทปกาวทำได้หลายลักษณะตามการประยุกต์ใช้งาน วิธีการปรับผิวหน้าเทปกาวที่นิยม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 การปรับผิวหน้าเทปกาวโดยวิธีทางเคมี

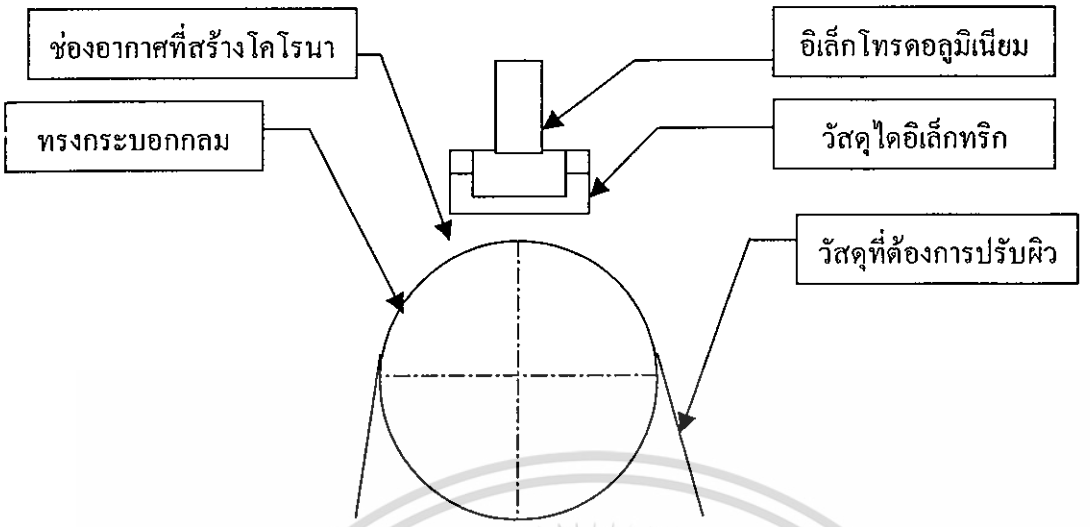
การปรับผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนโดยวิธีทางเคมี ทำโดยเคลือบผิวหรือเพิ่มโมเลกุลของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งลงไปบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน วิธีนี้สามารถควบคุมโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่ต้องการปรับผิวหน้าได้ดี หรือการใช้สารละลายของโครเมียมออกไซด์และอะซิติกแอนไฮดรายด์ เพื่อทำให้เกิดอนุมูลอิสระและเกิดหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของเทปกาวพอลิโพรพิลีน หรือการใช้สารเคมีทำให้ผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนเกิดการบวมตัวส่งผลให้ผิวหน้าขรุขระไม่เรียบ ถ้าเกิดปฏิกิริยารุนแรงก็จะช่วยกัดกร่อนผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนให้เกิดเป็นร่องขรุขระ เมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับพิมพ์ก็จะช่วยให้เกิดการยึดติดกับหมึกพิมพ์ดีขึ้น ตัวอย่างสารเคมีที่ใช้ เช่น กรดโครมิก ทอลูอีน เป็นต้น วิธีนี้ค่อนข้างอันตราย

2.7.2 การปรับผิวหน้าเทปกาวโดยใช้โคโรนาหรือการยิงด้วยประจุไฟฟ้า

การปรับผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนโดยใช้โคโรนาเป็นเทคนิคที่ใช้การเพิ่มแรงยึดติดระหว่างหมึกพิมพ์กับเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่ใช้พิมพ์ด้วยการยิงประจุไฟฟ้าพลังงานสูงแก่พื้นผิวของเทปกาวพอลิโพรพิลีน เนื่องจากผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนประกอบด้วยพันธะของคาร์บอนและไฮโดรเจนซึ่งไม่มีขั้ว ทำให้ไม่เกิดการยึดติดของหมึกพิมพ์กับผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีน การปรับผิวหน้าด้วยวิธีนี้เป็นการผ่านไฟฟ้าเข้าไปในขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งอยู่ห่างกันประมาณ 2 มิลลิเมตร ทำให้อากาศในช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเกิดการแตกตัวเป็นไอออนภายในอุปกรณ์สร้างโคโรนา ซึ่งจะมองเห็นโคโรนาเป็นประจุไฟฟ้าต่อเนื่องสีม่วงแกมน้ำเงิน ไอออนที่เกิดขึ้นสามารถไปดึงเอาอะตอมของไฮโดรเจนบนผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนออกและแทนที่ด้วยอะตอมของออกซิเจน เกิดพันธะของคาร์บอนและออกซิเจนซึ่งมีขั้วสูงขึ้น ทำให้เทปกาวพอลิโพรพิลีนสามารถรับหมึกพิมพ์ได้ดี เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่ผ่านการปรับผิวหน้าแล้วจะเสื่อมสภาพลงไปเมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง จึงควรนำไปใช้พิมพ์โดยเร็วที่สุดหลังจากการปรับผิวหน้า

รูปที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์สร้างโคโรนา ประกอบด้วยแท่งอิเล็กโทรดอลูมิเนียมที่ต่อกับไฟฟ้าแรงดันสูง มีวัสดุทรงกระบอกรองรับเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่ต้องการปรับผิวหน้า เทปกาวจะเคลื่อนที่ผ่านช่องอากาศที่สร้างโคโรนา สำหรับวัสดุไดอิเล็กทริกที่เป็นฉนวนไฟฟ้ามีหน้าที่ช่วยรักษาสภาพประจุสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์สร้างโคโรนา [6]

2.8 การถ่ายโอนและการยึดติดของหมึกพิมพ์ [5-9, 21-25]

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการพิมพ์ คือ การถ่ายโอนและการยึดติดของหมึกพิมพ์บนผิวหน้าของวัสดุที่ใช้พิมพ์ การศึกษาการถ่ายโอนของหมึกพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีสามารถตรวจสอบได้จากความคมชัดของลวดลายพิมพ์ที่ได้เปรียบเทียบกับลวดลายต้นแบบมาตรฐาน

การยึดติด คือ สภาพที่สองพื้นผิวยึดเกาะกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างพื้นผิวไม่ว่าจะเป็นแรงทางเคมีหรือแรงเชิงกล กระบวนการยึดติดจะเกี่ยวข้องกับแรงตึงผิวและพลังงานผิว

แรงตึงผิวของหมึกพิมพ์ หมายถึง แรงภายในของหมึกพิมพ์ที่ดึงโมเลกุลแต่ละโมเลกุลที่พื้นผิวของหมึกพิมพ์เข้าสู่จุดศูนย์กลางของหมึกพิมพ์ เพื่อให้หมึกพิมพ์พยายามคงสภาพเป็นหยดกลมๆ ให้มากที่สุด แรงตึงผิวเป็นค่าเฉพาะสำหรับของเหลวแต่ละชนิด มีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อตารางเมตร (mN/m^2) ถ้าหมึกพิมพ์มีค่าแรงตึงผิวสูงแสดงว่าหมึกพิมพ์จะมีการยึดติดบนวัสดุที่ใช้พิมพ์ เช่น เทปกาวพอลิโพรพิลีนได้ต่ำ

พลังงานผิวของเทปกาวพอลิโพรพิลีน หมายถึง แรงหรือพลังงานอิสระที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ผิวของเทปกาวพอลิโพรพิลีนซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้พิมพ์ มีหน่วยเป็นมิลลินิวตันต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นพลังงานที่ต้องการในการสร้างพื้นผิวใหม่ วัสดุพิมพ์ที่มีความเป็นขั้วสูงจะมีพลังงานผิวสูง ทำให้วัสดุพิมพ์นั้นมีคุณสมบัติการเปียกมาก กล่าวคือ มีแรงดึงดูดของเหลวให้เปียกบนวัสดุนั้นมาก เทปกาวพอลิโพรพิลีนไม่มีขั้วจึงมีพลังงานผิวต่ำและคุณสมบัติการเปียกต่ำ ทำให้การยึดติดกับหมึกพิมพ์ต่ำ การศึกษาการยึดติดของหมึกพิมพ์ในกระบวนการพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ทำโดยการทดสอบความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่ยึดติดบนผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีน

2.9 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments : DOE) [26-29]

การออกแบบการทดลองเป็นการวางแผนหรือการกำหนดลำดับและจำนวนของการทดสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เชื่อถือได้และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ การทดลองในที่นี้หมายถึงการทดสอบที่คาดว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้น (Input) ที่ป้อนเข้ากระบวนการหรือระบบแล้ว จะสามารถทราบผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Output) ได้ วิธีการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมมีผลต่อผลการทดลองและข้อสรุปที่ได้ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหรือเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้น โดยต้องลดความผันแปรภายนอกต่อกระบวนการให้มากที่สุด

ประเภทของตัวแปรในการออกแบบการทดลอง คือ

1. ตัวแปรต้นหรือตัวแปรที่ควบคุมได้หรือปัจจัย คือ ตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรนั้นได้และคาดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือผลลัพธ์ที่สนใจ เช่น อุณหภูมิ หรือความดัน เป็นต้น

2. ตัวแปรตอบสนองหรือผลการทดลองหรือผลลัพธ์ คือ ตัวแปรที่มีผลจากตัวแปรต้น เช่น ความแข็งของโลหะ เป็นต้น

3. ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ คือ ตัวแปรที่ไม่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรนั้นได้ เนื่องจากเกิดจากธรรมชาติของกระบวนการ เช่น ผู้ปฏิบัติงานขาดความชำนาญ หรือเครื่องจักรไม่ทันสมัย เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูงต้องกำจัดตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขณะทำการทดลอง

การออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพจะทำให้สามารถรวบรวมข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติได้อย่างน่าเชื่อถือ สามารถลดขนาดของความคลาดเคลื่อนในการทดลอง และสามารถสรุปผลได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ รวมถึงช่วยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่หรือปรับปรุงกระบวนการผลิตได้

2.9.1 หลักการออกแบบการทดลอง

การทดลองที่ต้องการให้เกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด จะต้องนำวิธีทางสถิติเข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบการทดลอง คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1.1 การทำการทดลองซ้ำ (Replication) การทำการทดลองซ้ำสามารถประมาณค่าของความผิดพลาดในการทดลองได้ โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่ามีความแตกต่างในเชิงสถิติหรือไม่ ถ้าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างกันมากในเชิงสถิติแสดงว่าเกิดความผิดพลาดในการทดลอง ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ นอกจากนี้การทำการทดลองซ้ำสามารถประมาณค่าเฉลี่ยของผลการทดลองได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2.9.1.2 การทำการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) คือ การทดลองที่มีตัวแปรต้นหรือตัวแปรที่ควบคุมได้เป็นแบบสุ่ม กระจายตัวอย่างอิสระ และมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นการทดลองแบบนี้เป็นการทดลองที่ให้โอกาสในการเก็บข้อมูลแต่ละตัวเท่ากัน

2.9.1.3 การทำการทดลองแบบบล็อก (Blocking) เป็นการทดลองที่มีการจัดกลุ่มในการเก็บข้อมูลเพื่อให้ผลการทดลองมีความเที่ยงตรงมากขึ้นและลดตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ เช่น รุ่นของวัตถุดิบ หรือกลุ่มบุคคลที่ทำการทดลอง เป็นต้น การทดลองแบบนี้จะทดลองเมื่อตัวแปรของการทดลองไม่มีความสม่ำเสมอ จำเป็นต้องแยกเอาผลของตัวแปรที่แตกต่างกันออกไป จะสนใจเฉพาะผลการทดลองที่เกิดขึ้นในแต่ละกลุ่มข้อมูลเท่านั้น ตัวอย่างเช่น การทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการป้อนตัวเร่งปฏิกิริยาต่อความแข็งของพอลิโพรพิลีน ตัวแปรต้นที่ศึกษาในการทดลองนี้มีเพียง 1 ตัวแปร คือ อัตราการป้อนตัวเร่งปฏิกิริยา และในการทดลองทั้งหมดต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 2 รุ่น ซึ่งคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอาจมีความผันแปรในระหว่างรุ่นได้ ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ในการทดลองนี้ คือ รุ่นของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นเพื่อให้ผลการทดลองมีความเที่ยงตรงจำเป็นต้องลดผลของความผันแปรของคุณภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างรุ่นซึ่งอาจรบกวนการทดลองได้ โดยการจัดกลุ่มในการเก็บข้อมูลและกำหนดให้หนึ่งบล็อกของกลุ่มข้อมูล คือ หนึ่งรุ่นของตัวเร่งปฏิกิริยา และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเฉพาะผลการทดลองที่เกิดขึ้นในแต่ละรุ่นของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่านั้น

2.9.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจำเป็นที่จะต้องเข้าใจว่ากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนการทดลองประกอบด้วย

2.9.2.1 การทำความเข้าใจถึงปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดปัญหาหรือความต้องการของกระบวนการคืออะไร โดยต้องหาข้อมูลจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับลดความผันแปรภายนอกต่อกระบวนการ

2.9.2.2 การเลือกตัวแปรต้นหรือปัจจัยและระดับ (Level) ของตัวแปรต้น ตัวแปรต้น คือ ตัวแปรที่คาดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองแบ่งเป็น ตัวแปรเชิงปริมาณซึ่งสามารถกำหนดเป็นตัวเลขได้ เช่น อุณหภูมิ หรือความดัน เป็นต้น และตัวแปรเชิงคุณภาพซึ่งไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดเป็นตัวเลขได้ เช่น โทนสี หรือชนิดของหัวฉีด เป็นต้น การเลือกตัวแปรต้นผู้ทำทดลองต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งอาจมาจากประสบการณ์การทดลองในอดีต และความรู้จากทฤษฎี โดยต้องพิจารณาด้วยว่าจะสามารถควบคุมตัวแปรต้นที่เลือกได้อย่างไร ในการเลือกตัวแปรต้นมีข้อพิจารณา ดังนี้

1. หาตัวแปรต้นที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

2. หาวิธีการกำหนดค่าของตัวแปรต้นที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าใกล้เคียงกับค่าของข้อกำหนดเฉพาะ (Specification)

3. หาวิธีการกำหนดค่าของตัวแปรต้นที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีความแปรปรวนน้อยมาก

4. หาวิธีการกำหนดค่าของตัวแปรต้นที่ทำให้ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้มีผลต่อตัวแปรตอบสนองน้อยที่สุด

ระดับ คือ สภาวะต่างๆ ของตัวแปรต้นหรือปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ในการกำหนดระดับของตัวแปรต้นควรกำหนดให้ระดับของตัวแปรต้นที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ เช่น 2 ระดับ เป็นต้น อาจกำหนดที่ค่าสภาวะของตัวแปรต้นต่ำสุดและสูงสุดที่สามารถควบคุมได้

2.9.2.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง ต้องแน่ใจได้ว่าตัวแปรตอบสนองนี้สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ ตัวแปรตอบสนองอาจใช้เป็นค่าเดียวหรือหลายค่าก็ได้ แต่ต้องวัดค่าได้ด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง ตัวอย่างเช่น การทดลองเพื่อศึกษาผลของวิธีการหล่อเย็นในกระบวนการผลิตถุงพอลิโพรพิลีนระหว่างระบบลมหล่อเย็นและระบบน้ำหล่อเย็นต่อความแข็งแรงของถุงพอลิโพรพิลีน อาจเลือกตัวแปรตอบสนอง คือ ความทนทานต่อแรงดึง ซึ่งวัดค่าได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) หรือความทนทานต่อแรงกระแทก ซึ่งวัดค่าได้จากเครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact resistance tester) ค่าใดค่าหนึ่งดังที่กล่าวหรือทั้งสองค่าก็ได้เพราะทั้งความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อแรงกระแทกแสดงถึงความแข็งแรงของถุงพอลิโพรพิลีน

2.9.2.4 การออกแบบการทดลอง การเลือกแบบการทดลองเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่างเพื่อกำหนดจำนวนการทำการทดลองซ้ำ และการเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและตัดสินใจว่าจะใช้วิธีการทำการทดลองแบบสุ่มหรือใช้วิธีการทำการทดลองแบบบล็อกอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ตัวอย่างเช่น การทดลองเพื่อศึกษาผลของวิธีการหล่อเย็นในกระบวนการผลิตถุงพอลิโพรพิลีนระหว่างระบบลมหล่อเย็นและระบบน้ำหล่อเย็นต่อความแข็งแรงของถุงพอลิโพรพิลีน การทดลองนี้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ วิธีการหล่อเย็นด้วยระบบลมและวิธีการหล่อเย็นด้วยระบบน้ำ แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ใช้ระบบหล่อเย็น และไม่ใช้ระบบหล่อเย็น กรณีไม่มีการทำการทดลองซ้ำสามารถออกแบบการทดลองได้ 4 แบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าต้องการให้ขนาดของตัวอย่าง คือ 20 ตัวอย่าง ต้องทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง และเลือกวิธีการทำการทดลองแบบสุ่มเนื่องจากทุกแบบการทดลองใช้เครื่องหล่อเย็นตัวเดิม ซึ่งไม่มีความแปรปรวนของวิธีการหล่อเย็นทั้ง 2 ระบบที่จะไปรบกวนการทดลองได้ ซึ่งมีโอกาสในการเก็บข้อมูลแต่ละข้อมูลเท่ากัน

2.9.2.5 การทำการทดลอง ต้องดำเนินการตามแผนการทดลองและตรวจติดตามกระบวนการทำงานอย่างระวัง ถ้ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลอง จะทำให้การทดลองที่ดำเนินไปนั้นใช้ไม่ได้ การวางแผนการทดลองมีความสำคัญมากต่อความสำเร็จ

2.9.2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ สามารถวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความผันแปรของข้อมูลได้ด้วยหลักการทางสถิติจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ หรือการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญจากผังพาเรโต เป็นต้น และอาจใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์เชิงสถิติด้วย เพื่อตัดสินใจว่าข้อสรุปที่ได้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองและมีความน่าเชื่อถือหรือไม่

2.9.2.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ อาจแสดงในรูปแบบตารางหรือกราฟ และให้ข้อแนะนำแนวทางของการทดลองที่เกิดขึ้น

2.9.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล [26 –29]

ในการทำการทดลองจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาหรือวิเคราะห์ผลของตัวแปรหรือปัจจัย และการออกแบบการทดลอง การออกแบบการทดลองแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การออกแบบการทดลองเมื่อมีตัวแปรเดียว และการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial design) ที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยหรือตัวแปรทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลอง โดยทั่วไปการทดลองจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของปัจจัยหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล งานวิจัยนี้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยศึกษาปัจจัยหรือตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไปภายในการทดลองครั้งเดียว แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลนี้มีประสิทธิภาพมากเนื่องจากพิจารณาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของทุกตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรหลัก และตัวแปรที่มีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกัน ตัวอย่างเช่น การทดลองหนึ่งคาดการณ์ว่ามีปัจจัยหรือตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิ และความดัน โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 2 ค่า คือ 50 และ 100 องศาเซลเซียส และความดัน 2 ค่า คือ 1 และ 3 บรรยากาศ เรียกค่าของแต่ละปัจจัยหรือตัวแปรว่าระดับ คือ อุณหภูมิมี 2 ระดับ และความดันมี 2 ระดับ ไม่มีการทำซ้ำ (1 Replicate) จากตัวอย่างที่กล่าวมาสามารถออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลได้ 2 (จำนวนระดับของอุณหภูมิ) x 2 (จำนวนระดับของความดัน) x 1 (จำนวนการทำซ้ำ) เท่ากับ 4 แบบการทดลอง แสดงดังผังอย่างง่ายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ความดัน (บรรยากาศ)	
		1	3
อุณหภูมิ (°ซ)	50	●	●
	100	●	●

การทดลองแบบแฟกทอเรียลของตัวแปร 2 ตัวแปร ถ้าผลต่างระหว่างผลการทดลองของตัวแปรที่ 1 ที่ระดับสูงกับระดับต่ำที่ผลการทดลองของตัวแปรที่ 2 ที่ระดับต่ำ มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างผลการทดลองของตัวแปรที่ 1 ที่ระดับสูงกับระดับต่ำที่ผลการทดลองของตัวแปรที่ 2 ที่ระดับสูง แสดงว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่ 1 และความดันเป็นตัวแปรที่ 2 แต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ แสดงผลการทดลองอย่างง่ายดังนี้

		ความดัน (บรรยากาศ)	
		1	3
อุณหภูมิ (°ซ)	50	50	52
	100	80	82

ผลต่างของผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากผลของอุณหภูมิที่ความดัน 1 บรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 30 ซึ่งมาจากผลต่างของผลการทดลอง คือ 80 และ 50 และผลต่างของผลการทดลองที่เกิดขึ้นจากผลของอุณหภูมิที่ความดัน 3 บรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 30 ซึ่งมาจากผลต่างของผลการทดลอง คือ 82 และ 52 กล่าวได้ว่าอุณหภูมิและความดันไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน แต่ถ้าผลการทดลองของอุณหภูมิที่ความดัน 3 บรรยากาศ มีค่า 42 ดังนั้นผลต่างของผลการทดลองมีค่า 40 หมายความว่าผลของอุณหภูมิขึ้นกับระดับของความดัน แสดงว่าอุณหภูมิและความดันมีอันตรกิริยาต่อกัน การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อมีอันตรกิริยาเกิดขึ้นเนื่องจากเป็นการทดลองที่พิจารณาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นทั้งหมดของทุกตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรหลัก และตัวแปรที่มีอันตรกิริยาระหว่าง ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้

2.9.3.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร เป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่ง่ายที่สุด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับตัวแปรเพียง 2 ตัวแปร คือ A และ B ถ้าตัวแปร A ประกอบด้วย a ระดับ และตัวแปร B ประกอบด้วย b ระดับ จำนวนการทำซ้ำ n ครั้ง สามารถออกแบบการทดลองได้จำนวน abn แบบ และเนื่องจากลำดับของการทดลองถูกเลือกมาแบบสุ่ม จึงถือเป็นการออกแบบแบบสุ่มบริบูรณ์ (Completely randomize design) สามารถแสดงตัวแปรตอบสนองที่ได้จากแต่ละแบบการทดลองดังตารางที่ 2.1 [27] ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear statistical model) ดังสมการที่ 2.7 ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

ตารางที่ 2.1 ตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร [27]

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

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}) \qquad (2.7)$$

โดยที่

i = 1, 2,. . ., a

j = 1, 2,. . ., b

k = 1, 2,. . ., n

y_{ijk} = ค่าของตัวแปรตอบสนอง

μ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองทั้งหมด

τ_i = ค่าคงที่ที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปร A

β_j = ค่าคงที่ที่เกิดจากอิทธิพลของตัวแปร B

$(\tau\beta)_{ij}$ = ค่าคงที่ที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร A และ B

ε_{ijk} = ความคลาดเคลื่อน

ตัวอย่างเช่น การทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร คือ ตัวแปร A ซึ่งมี a ระดับ และตัวแปร B ซึ่งมี b ระดับ และทำการทดลองซ้ำ n ครั้ง ดังนั้น y_{123} คือ ค่าของตัวแปรตอบสนองที่ได้จากการทดลองที่ระดับที่ 1 ของตัวแปร A และที่ระดับที่ 2 ของตัวแปร B จากการทดลองซ้ำครั้งที่ 3 เป็นต้น

การทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร จำเป็นต้องบอกได้ว่าตัวแปรใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง วิธีทางสถิติสำหรับวิเคราะห์ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนและพิจารณาค่าสถิติทดสอบ การวัดความแปรปรวนของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ดีที่สุดพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean square : MS) ซึ่งเป็นตัวประมาณค่าความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองที่ดีที่สุด สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสองได้จากสัดส่วนของผลรวมกำลังสอง (Sum of square : SS) ซึ่งเป็นค่าที่บอกความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองทั้งหมดกับขั้นของความอิสระ (Degree of freedom) ค่าสถิติทดสอบในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร คำนวณจากความสัมพันธ์ในตารางที่ 2.2 สำหรับผลรวมกำลังสองคำนวณได้จากสมการที่ 2.12 – 2.18 และค่าเฉลี่ยกำลังสองคำนวณได้จากสมการที่ 2.19 – 2.22 SS มีค่ามากทำให้ MS มีค่ามาก แสดงว่าข้อมูลการทดลองมีความแปรปรวนสูง กรณีที่ข้อมูลการทดลองมีความแปรปรวนภายในประชากรเดียวกันสูงหรือผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SS_E) มีค่ามาก MS_E จะมีค่ามาก ทำให้แต่ละตัวแปรมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองน้อยลง

ตารางที่ 2.2 ค่าสถิติทดสอบในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร [27]

ตัวแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	ค่าสถิติทดสอบ (F_o)
A	SS_A	$a-1$ หรือ ν_1	MS_A	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	$b-1$ หรือ ν_1	MS_B	$\frac{MS_B}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$ หรือ ν_1	MS_{AB}	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
ความคลาดเคลื่อน	SS_E	$ab(n-1)$ หรือ ν_2	MS_E	
รวม	SS_T	$abn-1$		

สามารถคำนวณค่าต่างๆ ในตารางที่ 2.2 ได้ดังสมการที่ 2.8 –2.22

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \tag{2.8}$$

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \tag{2.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \tag{2.10}$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \tag{2.11}$$

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2.12}$$

$$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2.13}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2.14}$$

$$SS_{Subtotals} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \tag{2.15}$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotals} - SS_A - SS_B \tag{2.16}$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \tag{2.17}$$

หรือ

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotals} \tag{2.18}$$

$$MS_A = \frac{SS_A}{a-1} \tag{2.19}$$

$$MS_B = \frac{SS_B}{b-1} \tag{2.20}$$

$$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)} \tag{2.21}$$

$$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)} \tag{2.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

SS = ผลรวมกำลังสอง เป็นค่าที่บอกความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองทั้งหมด

MS = ค่าเฉลี่ยกำลังสอง เป็นตัวประมาณค่าความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองที่ดีที่สุด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนนอกจากพิจารณาจากค่าเฉลี่ยกำลังสองที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.19 – 2.22 แล้ว ยังสามารถคำนวณได้จากโปรแกรมมินิแทป

ค่าสถิติทดสอบของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองเป็นดังสมการที่ 2.23 [27] ถ้าค่าสถิติทดสอบที่ได้จากการคำนวณยิ่งมีค่ามากแสดงว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองมากขึ้น

$$F_o > F_{\alpha,v1,v2} \qquad (2.23)$$

โดยที่

F_o = ค่าสถิติทดสอบจากการคำนวณตามความสัมพันธ์ในตารางที่ 2.2

$F_{\alpha,v1,v2}$ = ค่าสถิติทดสอบจากการเปิดตารางการกระจายแบบ F (F distribution) ดังตารางที่ ฉ.1

α = ระดับนัยสำคัญ (ระดับความเชื่อมั่น) คือ 1- α หรือ (1- α) x 100 %

$v1$ = ขั้นของความอิสระระหว่างตัวแปร หรือความเป็นอิสระระหว่างตัวแปร

$v2$ = ขั้นของความอิสระภายในตัวแปรเดียวกัน หรือความเป็นอิสระภายในตัวแปรเดียวกัน หรือขั้นของความอิสระของความคลาดเคลื่อน (Error)

ถ้า $v1$ มีค่ามากแสดงว่าตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระต่อกันมาก ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลน่าเชื่อถือมาก ถ้า $v2$ มีค่ามากแสดงว่าตัวแปรแต่ละตัวไม่เป็นอิสระต่อกัน ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ

ตัวอย่างการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเคมี A และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่มีต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี แต่ละตัวแปรทำการทดลองที่ 2 ระดับ คือ ความเข้มข้นของสารเคมี A ที่ 15 และ 25 % โดยน้ำหนัก และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่ 1 และ 2 กิโลกรัม และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง วัดผลโดยการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ C ที่ได้ในหน่วย กิโลกรัม สามารถออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลได้ 12 แบบการทดลอง แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ผลการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเคมี A และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร [26]

ความเข้มข้นของสารเคมี A	ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B						
		ที่ 1 กิโลกรัม			ที่ 2 กิโลกรัม		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
	ที่ 15 % นน.	28	25	27	18	19	23
	ที่ 25 % นน.	36	32	32	31	30	29

จากตารางที่ 2.3 และคำจำกัดความในหัวข้อ 2.9.3.1 พบว่าค่า a เท่ากับ 2 คือ ความเข้มข้นของสารเคมี A ที่ 15 และ 25 % นน. ค่า b เท่ากับ 2 คือ ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่ 1 และ 2 กิโลกรัม และ n เท่ากับ 3 คือ ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากสมการที่ 2.8 – 2.22 ความสัมพันธ์ในตารางที่ 2.2 และข้อมูลในตารางที่ 2.3 สามารถคำนวณค่าสถิติทดสอบในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนและค่าสถิติทดสอบเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารเคมี A และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี [26]

ตัวแปร	ผลรวมกำลังสอง	ขั้นของความอิสระ	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	ค่าสถิติทดสอบ (F_o)
ความเข้มข้นของสารเคมี A	208.33	1	208.33	53.15
ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B	75.00	1	75.00	19.13
อันตรกิริยาระหว่างตัวแปร	8.33	1	8.33	2.13
ความคลาดเคลื่อน	31.34	8	3.92	
รวม	323.00	11		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลของความเข้มข้นของสารเคมี A ต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีจากตารางที่ 2.4 ดังนี้

- F_o ของความเข้มข้นของสารเคมี A ที่คำนวณได้เท่ากับ 53.15
- $F_{0.10,1,8}$ ของความเข้มข้นของสารเคมี A จากตารางการกระจายตัวแบบ F ภาคผนวก ฉ. [26] เท่ากับ 3.46
  ที่ α (ระดับนัยสำคัญ) เท่ากับ 0.10
  v_1 (ขั้นของความอิสระของความเข้มข้นของสารเคมี A) เท่ากับ 1
  และ v_2 (ขั้นของความอิสระของความคลาดเคลื่อน) เท่ากับ 8
- F_o มีค่ามากกว่า $F_{0.10,1,8}$ ดังนั้นความเข้มข้นของสารเคมี A มีอิทธิพลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี

การวิเคราะห์ผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

- F_o ของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B ที่คำนวณได้เท่ากับ 19.13
- $F_{0.10,1,8}$ ของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B จากตารางการกระจายตัวแบบ F ภาคผนวก ฉ. [26] เท่ากับ 3.46
  ที่ α (ระดับนัยสำคัญ) เท่ากับ 0.10
  v_1 (ขั้นของความอิสระของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B) เท่ากับ 1
  และ v_2 (ขั้นของความอิสระของความคลาดเคลื่อน) เท่ากับ 8
- F_o มีค่ามากกว่า $F_{0.10,1,8}$ ดังนั้นปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B มีอิทธิพลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี

และสรุปได้ว่าอิทธิพลของความเข้มข้นของสารเคมีต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ C ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีมีมากกว่าอิทธิพลปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา B

2.9.3.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีหลายตัวแปรจะพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของทุกตัวแปร กรณีที่ศึกษาหลายตัวแปรจึงมีจำนวนของแบบการทดลองมากและใช้เวลานานในการเก็บข้อมูล ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบนี้มักนิยมให้มีจำนวนการทดลองน้อยที่สุดที่สามารถศึกษาผลของตัวแปรทุกตัวได้ครบถ้วน เพื่อให้จำนวนการทดลองน้อยที่สุดและเพียงพอต่อการวิเคราะห์ข้อมูล จึงนิยมออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^k ซึ่งเป็นการศึกษาปัจจัยหรือตัวแปร k ตัวแปร โดยที่แต่ละปัจจัยหรือตัวแปรมี 2 ระดับ ซึ่งเป็นจำนวนระดับน้อยที่สุดที่เพียงพอต่อการออกแบบการทดลอง ดังนั้นสามารถออกแบบการทดลองได้ 2 x 2 x 2 x .....(k ครั้ง) เท่ากับ 2^k แบบการทดลอง กรณีที่มีการทำการทดลองซ้ำ n ครั้ง สามารถออกแบบการทดลองได้ n x 2^k ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลและตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองสำหรับการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีหลายตัวแปรพิจารณาเช่นเดียวกับการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร

2.10 โปรแกรมมินิแทป [30-32]

2.10.1 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป

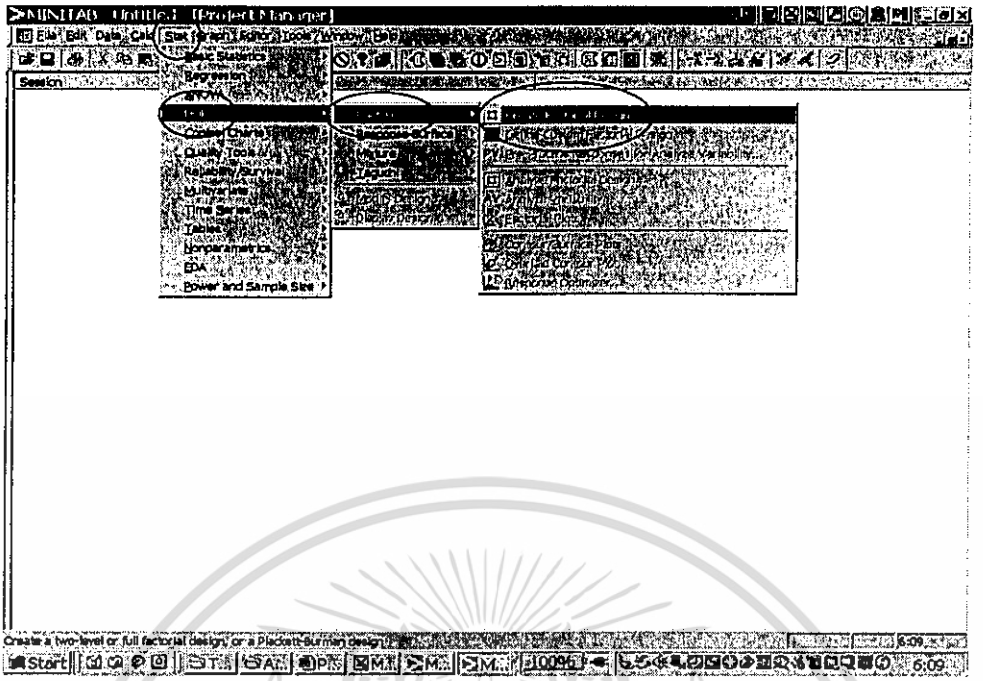
ดังได้กล่าวแล้วว่าการทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลจะเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะเป็นการทดลองที่พิจารณาผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของตัวแปรทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น การใช้โปรแกรมมินิแทปช่วยในการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วและมีความถูกต้องสูงในอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากโปรแกรมมินิแทปเป็นซอฟแวร์ทางสถิติที่นิยมใช้ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่ศึกษาหลายตัวแปร

สมมุติว่าการทดลองมีตัวแปร n ตัว และเพื่อให้มีจำนวนของแบบการทดลองน้อยสุดที่สามารถศึกษาผลของตัวแปรทุกตัวได้อย่างบริบูรณ์ จึงกำหนดให้แต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ ดังนั้นจำนวนการทดลองจึงเป็น 2 x 2 x _ _ _ x 2 (จำนวน n ครั้ง) การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลด้วยโปรแกรมมินิแทปสามารถทำได้โดยคำสั่งดังรูปที่ 2.9 – 2.11

จากรูปที่ 2.9 เป็นการใช้คำสั่งเพื่อเลือกให้โปรแกรมมินิแทปช่วยออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยเลือก Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design เมื่อเลือกคำสั่ง Create Factorial Design หน้าจอโปรแกรมจะเปลี่ยนไปเพื่อให้ใส่ข้อมูลจำนวนของตัวแปรและเลือกจำนวนของระดับที่ต้องการออกแบบการทดลองดังรูปที่ 2.10

การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อผลการทดลองควรพิจารณาเลือกระดับของตัวแปรที่จำนวนน้อยๆ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่แต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ โดยเลือกคลิกจำนวนของระดับที่ช่อง 2-level factorial [default generators] ใส่ข้อมูลจำนวนตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ 2 ตัวแปร โดยใส่เลข 2 ที่ช่อง Number of factors แล้วเลือกคำสั่ง Design ดังรูปที่ 2.10 โปรแกรมจะเปลี่ยนหน้าจอไปเพื่อให้ใส่ข้อมูลเพิ่มเติมดังรูปที่ 2.11

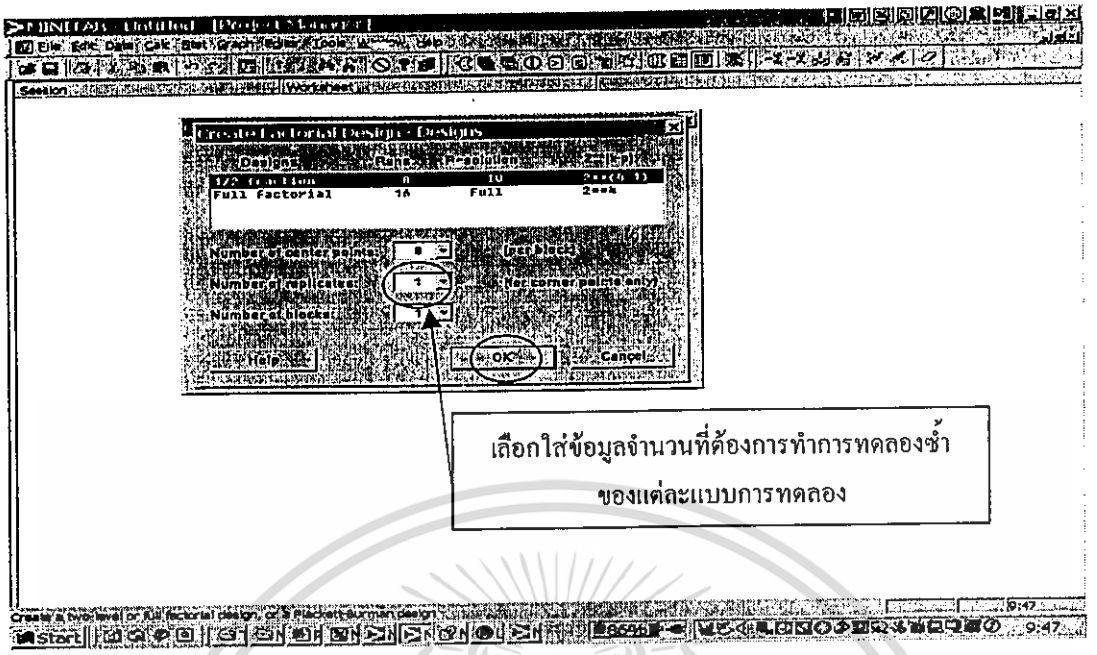
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การใช้โปรแกรมมินิแทปในการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล [30]

รูปที่ 2.10 การใช้โปรแกรมมินิแทปในการเลือกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปรและแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ [30]

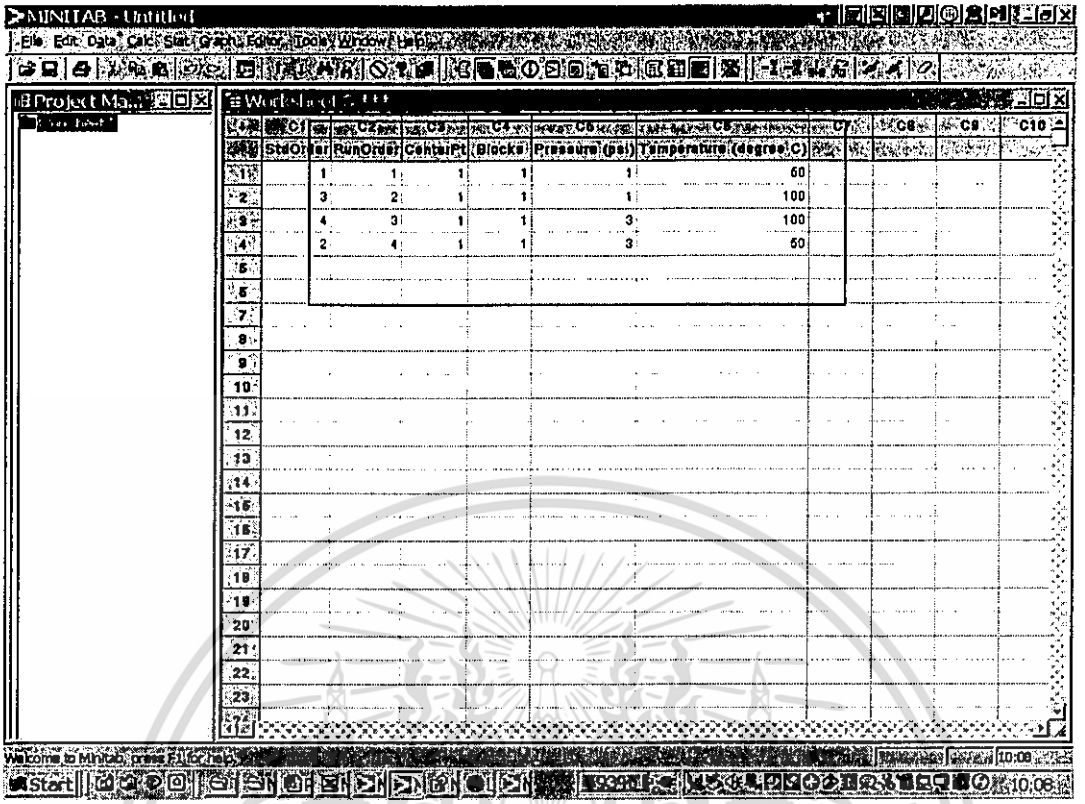
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การใช้โปรแกรมมินิแทปในการเลือกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปรและแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ โดยการกำหนดจำนวนการทำซ้ำของแต่ละแบบการทดลอง [30]

จากรูปที่ 2.11 กำหนดจำนวนการทำการทดลองซ้ำของแต่ละแบบการทดลองได้โดยใส่จำนวนเลขการทำทดลองซ้ำที่คำสั่ง Number of replicates แล้วเลือก OK เพื่อให้โปรแกรมนิแทปช่วยในการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปรและแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ ดังแบบการทดลองในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

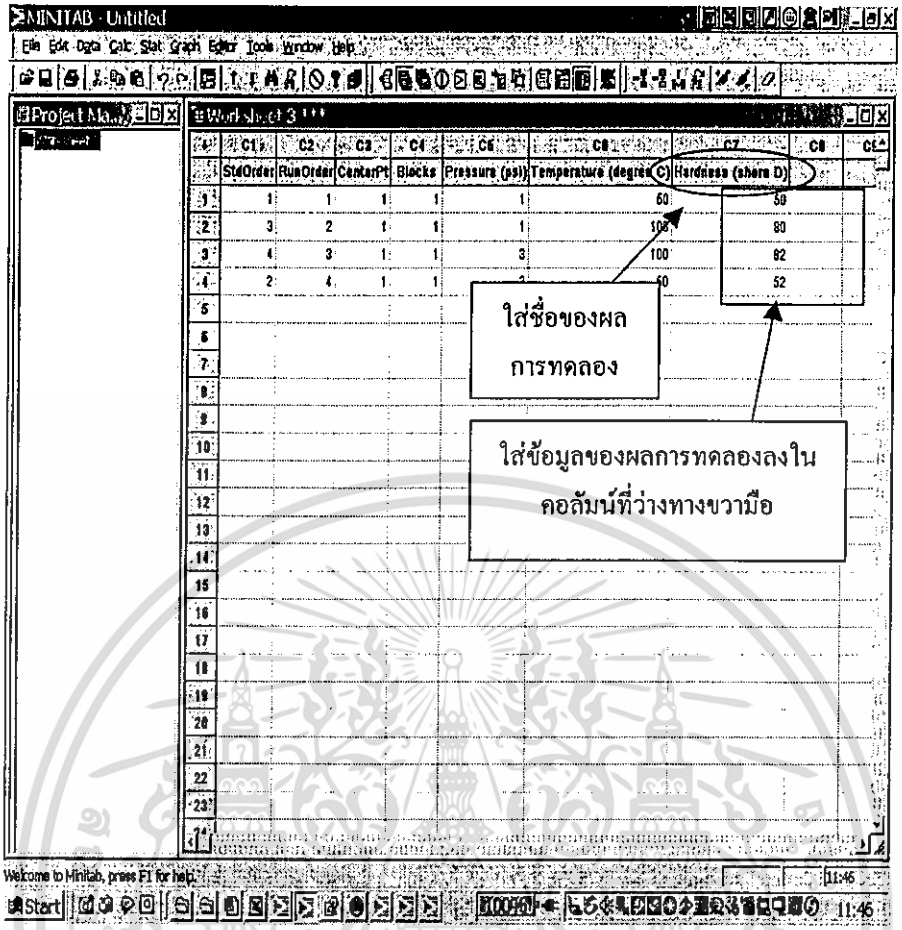


รูปที่ 2.12 ตัวอย่างแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2 ตัวแปรจากโปรแกรมมินิแทป แต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ และไม่มีการทำการทดลองซ้ำ [30]

2.10.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมมินิแทป

หลังจากใช้โปรแกรมมินิแทปออกแบบการทดลองดังรูปที่ 2.12 แล้วจึงทำการทดลองตามแบบการทดลองที่โปรแกรมได้ออกแบบไว้ เก็บรวบรวมข้อมูลของผลการทดลองที่ได้จากแต่ละแบบการทดลอง บันทึกข้อมูลของผลการทดลองในโปรแกรมมินิแทปที่คอลัมน์ว่างถัดไปด้านขวามือ เช่น คอลัมน์ C7 ในรูปที่ 2.12 และใส่ชื่อของผลการทดลองที่ช่องบนสุดของคอลัมน์ ผลการทดลองที่ได้แต่ละค่าจะต้องบันทึกให้ตรงกับแต่ละแบบของการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งสำคัญอย่างมากต่อความถูกต้องและแม่นยำของการวิเคราะห์ผลการทดลองในโปรแกรมมินิแทป การบันทึกผลการทดลองของทุกแบบการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

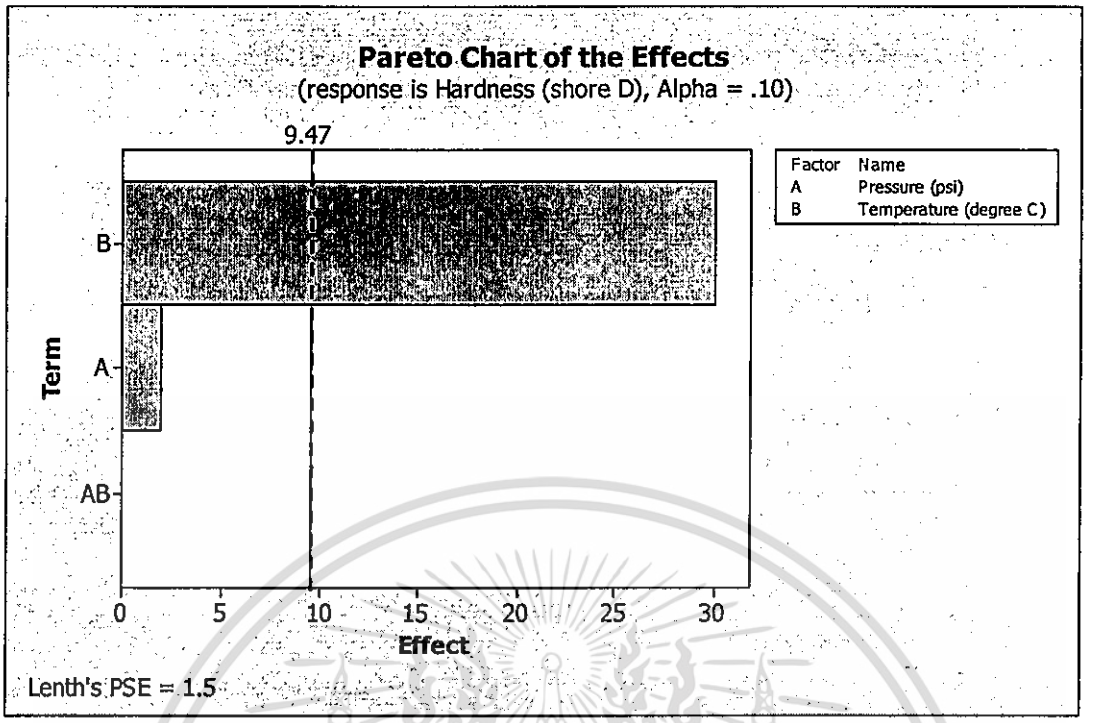


รูปที่ 2.13 การบันทึกผลการทดลองในโปรแกรมมินิแทป [30]

จากรูปที่ 2.13 จะใส่ชื่อและข้อมูลของผลการทดลองซึ่งในที่นี้ คือ ความแข็ง (Shore D) ลงในคอลัมน์ C7 เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อไป

2.10.2.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญโดยใช้ผังพาเรโต ซึ่งพล็อตระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ของการมีผลกระทบต่อผลการทดลอง (Effects) กับตัวแปรต่างๆ และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรที่ปรากฏในแนวแกน y ดังรูปที่ 2.14 โปรแกรมมินิแทปจะคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ของการมีผลกระทบต่อผลการทดลองจากการทำ Natural log ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของผลการทดลอง ค่าเปอร์เซ็นต์ของการมีผลกระทบต่อผลการทดลองจะบอกว่าเปอร์เซ็นต์ของตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการทดลองมากน้อยเพียงใด ถ้าตัวแปรใดมีค่าเปอร์เซ็นต์ของการมีผลกระทบต่อผลการทดลองสูงกว่าเส้นแสดงค่าของอัลฟาเท่ากับ 0.1 (เส้นประในผังพาเรโต รูป 2.14) แสดงว่าตัวแปรนั้นมีผลกระทบต่อผลการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ 1-อัลฟา คือ ค่าของระดับความเชื่อมั่น (Confident level) โดยทั่วไปจะวิเคราะห์ผลการทดลองที่อัลฟา 0.1 คือ ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.9 หรือ 90 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

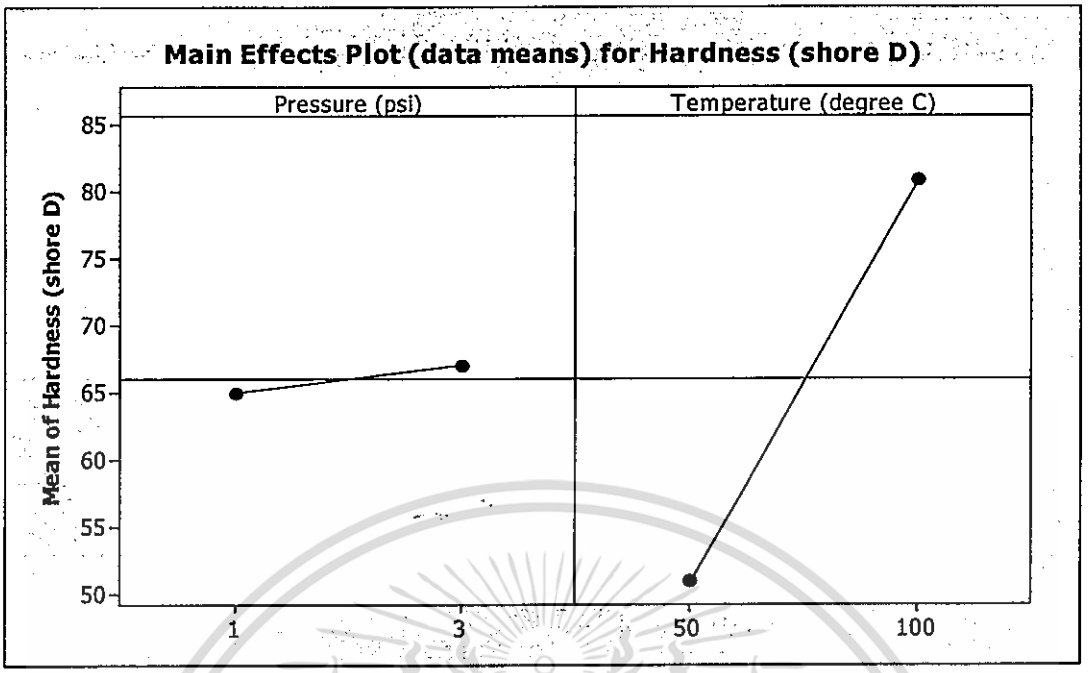


รูปที่ 2.14 ตัวอย่างผังพาเรโตเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ [30]

จากรูปที่ 2.14 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อผลการทดลอง คือ ตัวแปรที่มีค่าในแนวแกน x มากกว่าเส้นแสดงค่าของอัลฟาเท่ากับ 0.1 (เส้นประ) คือ ตัวแปร B (อุณหภูมิ) ส่วนตัวแปร A (ความดัน) และอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร A และ B ไม่มีนัยสำคัญต่อผลการทดลอง ซึ่งคือ ค่าความแข็ง เนื่องจากมีค่าในแนวแกน x น้อยกว่าเส้นแสดงค่าอัลฟา 0.1 นอกจากนี้ยังสามารถใช้ค่า P (P value) จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ด้วยโปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อผลการทดลอง ถ้าค่า P มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรที่กำลังพิจารณามีนัยสำคัญต่อผลการทดลอง

2.10.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับผลการทดลองโดยใช้ Main effects plot ดังรูปที่ 2.15 ถ้าเส้นกราฟที่ได้เป็นเส้นตรงมีความชันในเชิงบวกหมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับผลการทดลอง ถ้ามีความชันในเชิงลบหมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับผลการทดลอง ค่าความชันที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจนหมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์กับผลการทดลองอย่างมาก ดังนั้นถ้าเส้นเกือบเป็นแนวระดับหรือเป็นแนวระดับ หมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์กับผลการทดลองน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

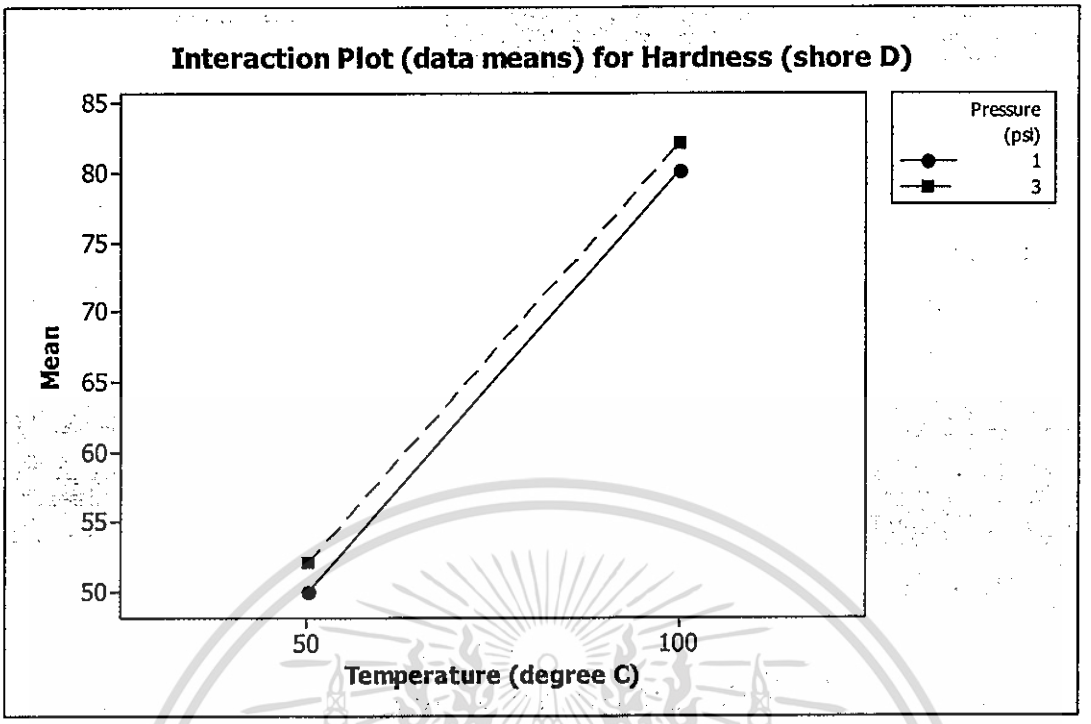


รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง Main effects plot เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับผลการทดลอง [30]

จากรูปที่ 2.15 แสดงว่าอุณหภูมิมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่าความแข็งอย่างมาก คือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความแข็งของวัสดุก็จะมากขึ้น สำหรับความดันมีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งน้อยมาก

2.10.2.3 การวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างตัวแปรด้วย Interaction plot ดังรูปที่ 2.16 เป็นการวิเคราะห์ว่าตัวแปรแต่ละตัวมีอันตรกิริยาระหว่างกันหรือไม่ ถ้าเส้นทับกับเส้นประตัดกัน หมายความว่าตัวแปรทั้งสองมีอันตรกิริยาระหว่างกัน แต่ถ้าเส้นทั้งสองขนานกันหมายความว่าตัวแปรทั้งสองไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน การตัดกันเป็นมุมที่กว้างและเห็นชัดเจนแสดงว่าตัวแปรมีอันตรกิริยาระหว่างกันอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

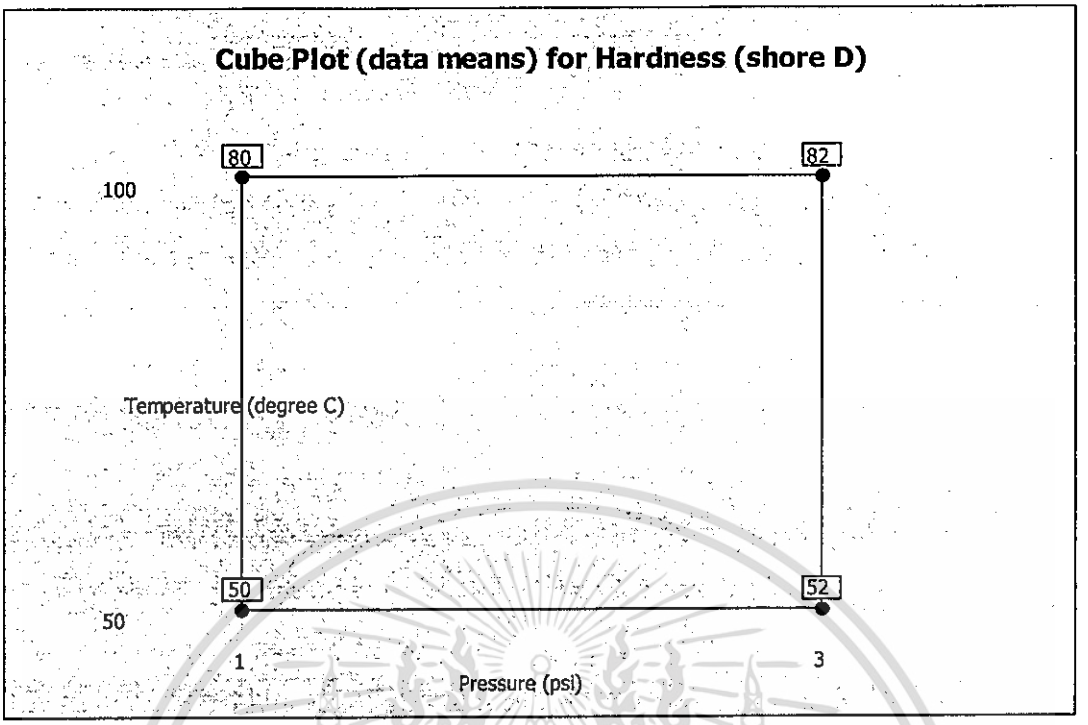


รูปที่ 2.16 ตัวอย่าง Interaction plot เพื่อวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างตัวแปร [30]

จากรูปที่ 2.16 ไม่พบว่ามีเส้นประและเส้นทึบตัดกันใน Interaction plot แสดงว่าความดันและอุณหภูมิไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน

2.10.2.4 การวิเคราะห์ค่าของตัวแปรที่ให้ผลการทดลองที่ต้องการ โดยใช้ Cube plot ดังรูปที่ 2.17 ค่าของตัวเลขที่มุมของ Cube plot จะแสดงค่าของผลการทดลอง ค่าของตัวแปรที่ให้ผลการทดลองที่ต้องการ พิจารณาได้จากค่าของตัวแปรในแนวแกน x, y และ z ณ ตำแหน่งมุมที่แสดงค่าของผลการทดลองที่ต้องการนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ตัวอย่าง Cube plot เพื่อวิเคราะห์ค่าของตัวแปรที่ให้ผลการทดลองที่ต้องการ [30]

จากรูปที่ 2.17 ผลการทดลองที่ต้องการ คือ ค่าความแข็งของวัสดุสูงที่สุด คือ 82 ซึ่งแสดงที่มุมของ Cube plot ตัวแปรที่ให้ค่าผลการทดลองที่ต้องการนี้ คือ อุณหภูมิในแนวแกน y ที่ 100 องศาเซลเซียส และความดันในแนวแกน x ที่ 3 psi

2.10.3 การทดสอบความเพียงพอและความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมมินิแทป [26, 30]

การวิเคราะห์ความผันแปรของข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R square-R^2) ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมมินิแทป ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็นค่าที่บอกถึงความผันแปรของข้อมูลที่ได้จากการทดลองว่าเกิดจากตัวแปรที่กำหนดหรือเกิดจากตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งนิยามได้ว่า

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย}}{\text{ความผันแปรทั้งหมดในข้อมูล}} \qquad (2.24)$$

ดังนั้น

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{1 - SS_E}{SS_T} \qquad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

R^2 = ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

SS_R = ผลรวมกำลังสองของเส้นถดถอย (Regression sum of square)

SS_E = ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Residual error sum of square)

SS_T = ผลรวมกำลังสองของข้อมูลการทดลองทั้งหมด

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากกว่า 70 % แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่เกิดจากตัวแปรที่กำหนด ข้อมูลที่เก็บรวบรวมมากเพียงพอและเชื่อถือได้ หมายความว่าถ้าความผันแปรในข้อมูลมีค่า 100 หน่วยแล้ว ความผันแปรที่มากกว่า 70 หน่วย สามารถอธิบายได้ด้วยสมการการถดถอย ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำกว่า 70 % แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่เกิดจากตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ หรือเกิดจากการออกแบบการทดลองที่ไม่เหมาะสม ต้องกลับไปพิจารณาตัวแปรที่ใช้ในการทดลองว่ามีอิทธิพลจริงหรือไม่ วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลผิดพลาดหรือไม่ และควรออกแบบการทดลองใหม่ [26]

2.10.4 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการโดยใช้โปรแกรมมินิแทป [30-31]

ในงานวิศวกรรมการตัดสินใจเกี่ยวกับความสามารถของกระบวนการจะคำนึงถึงค่าความเบี่ยงเบนของผลการทดลองว่าอยู่ในช่วงที่ยอมให้เกิดหรือไม่ ถ้าหากขนาดของความเบี่ยงเบนอยู่นอกขอบเขตที่ยอมให้เกิดแล้ว จำเป็นต้องมีการแก้ไขกระบวนการทันที การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในรูปของความเบี่ยงเบนของผลทดลองสามารถวิเคราะห์ด้วยดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ (Process capability index) คือ ค่า C_p (Process potential capability) ที่คำนวณได้จากโปรแกรมมินิแทป หรือจากสมการที่ 2.26

อย่างไรก็ตามการวัดความสามารถของกระบวนการด้วยค่า C_p เป็นการวัดค่าความสามารถของกระบวนการโดยไม่คำนึงถึงค่าที่ควรจะเป็นของผลการทดลอง หากค่าที่ควรจะเป็นของผลการทดลองไม่ได้อยู่ที่ค่ากึ่งกลางของข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) จะส่งผลให้ตีความหมายผิดพลาดได้ สามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเมื่อคำนึงถึงค่าที่ควรจะเป็นของผลการทดลองได้จากค่าของ C_{pk} (Process performance capability) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.27 - 2.28

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \tag{2.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

C_p = ดัชนีแสดงความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ

USL = พิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบน (Upper specification limit)

LSL = พิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง (Lower specification limit)

σ = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลอง

คำนึงถึงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบน ; $C_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma}$ (2.27)

คำนึงถึงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง ; $C_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma}$ (2.28)

โดยที่

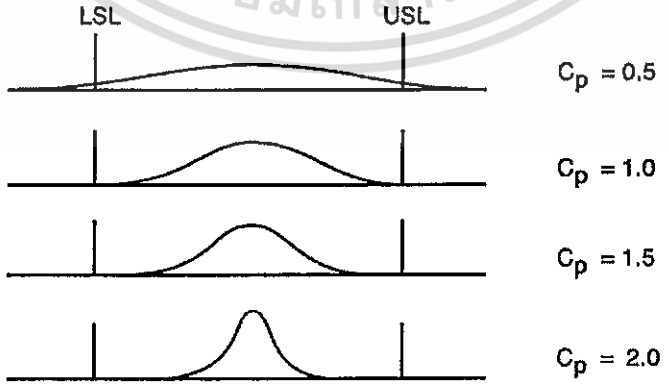
C_{pk} = ดัชนีแสดงความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการซึ่งเป็นค่าต่ำสุดของค่า C_{pu} หรือ C_{pl}

C_{pu} = ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการโดยคำนึงถึงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบน

C_{pl} = ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการโดยคำนึงถึงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง

μ = ค่ากลางของผลการทดลอง

จากสมการที่ 2.26 ยิ่งค่า C_p มีค่าสูงแสดงว่ากระบวนการมีความเบี่ยงเบนของผลการทดลองต่ำหรือกระบวนการมีความผันแปรต่ำ แสดงว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลง แผนภาพการกระจายของข้อมูลผลการทดลองในแต่ละค่า C_p แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แผนภาพการกระจายของผลการทดลองที่ค่า C_p ต่างๆ [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.18 แสดงการกระจายของผลการทดลองที่ค่า C_p ต่างๆ ว่ามีการกระจายข้อมูลหรือมีความเบี่ยงเบนของผลการทดลองอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้หรือไม่ พบว่าที่ค่า C_p เท่ากับ 0.5 ผลการทดลองบางส่วนอยู่เกินขอบเขตที่ยอมรับได้ ที่ค่า C_p เท่ากับ 1.0 ผลการทดลองทั้งหมดอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้พอดี สำหรับที่ค่า C_p เท่ากับ 1.5 และ 2.0 ผลการทดลองทั้งหมดอยู่ภายในขอบเขตที่ยอมรับได้ นั่นคือยิ่งค่า C_p สูง ผลการทดลองจะมีความเบี่ยงเบนต่ำ ในเชิงสถิติค่า C_p ที่นิยมใช้บอกระดับของความสามารถของกระบวนการที่ดีสำหรับอุตสาหกรรมทั่วไป คือ ที่ค่า C_p มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 เนื่องจากมีความเชื่อมั่นได้ว่ากระบวนการนั้นมีความเบี่ยงเบนของผลการทดลองต่ำและผลการทดลองทั้งหมดอยู่ภายในขอบเขตที่ยอมรับได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจะมีคุณภาพตรงตามต้องการทั้งหมด และยังเป็นค่า C_p ที่สามารถควบคุมกระบวนการนั้นได้โดยไม่เข้มงวดเกินไป ระดับของความสามารถของกระบวนการแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ระดับความสามารถของกระบวนการ [31]

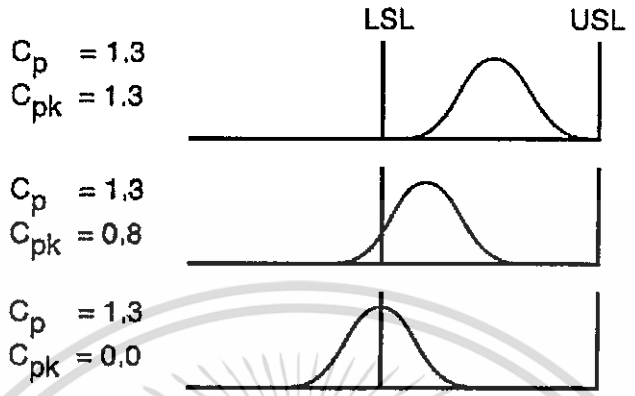
ค่า C_p	ลำดับของความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq C_p$	ดีอย่างมาก
$1.67 \leq C_p < 2.00$	ดีมาก
$1.33 \leq C_p < 1.67$	ดี
$1.00 \leq C_p < 1.33$	ควรปรับปรุง
$0.67 \leq C_p < 1.00$	ควรปรับปรุงอย่างมาก
$C_p < 0.67$	ควรปรับปรุงโดยเร่งด่วน

จากตารางที่ 2.5 เมื่อค่า C_p ต่ำกว่า 1.33 ควรมีการปรับปรุงกระบวนการอาจเนื่องมาจากความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งอาจปรับปรุงในเรื่องของเครื่องจักรใหม่ จัดฝึกอบรมพนักงานใหม่เพื่อเพิ่มทักษะการผลิต กำหนดข้อกำหนดเฉพาะของวัตถุดิบหรือกระบวนการใหม่ ขยายค่าพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบนและด้านล่างให้เหมาะสม หรืออาจเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ใหม่

ในการวิเคราะห์การกระจายของข้อมูลการพิจารณาจากค่า C_{pk} ทำให้ทราบเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูลในเชิงเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ ตำแหน่งของค่าที่ควรจะเป็นของผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ กล่าวคือ ถ้าค่า C_{pk} เท่ากับค่า C_p หมายความว่าค่าที่ควรจะเป็นของผลการทดลองอยู่ตรงค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ ถ้าค่า C_{pk} น้อยกว่าค่า C_p หมายความว่าค่าที่ควรจะเป็นของผลการทดลองจะเยื้องไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะไปทางพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง (LSL) รูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกระจายของผลการทดลองในเชิงเปรียบเทียบกับค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะสำหรับแต่ละค่า C_p และค่า C_{pk} แสดงดัง



รูปที่ 2.19 แผนภาพการกระจายของผลการทดลองในเชิงเปรียบเทียบกับค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะสำหรับแต่ละค่า C_p และค่า C_{pk} [30]

จากรูปที่ 2.19 ที่ค่า C_{pk} เท่ากับค่า C_p คือ 1.3 พบว่าค่ากลางของผลการทดลองอยู่ตรงกับค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะซึ่งเป็นค่ากลางระหว่างค่า LSL และ USL กรณีที่ค่า C_{pk} น้อยกว่าค่า C_p คือ ค่า C_{pk} เท่ากับ 0.0 และ 0.8 และค่า C_p เท่ากับ 1.3 พบว่าค่ากลางของผลการทดลองอยู่เยื้องจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะ โดยที่ค่ากลางของผลการทดลองที่ค่า C_{pk} เท่ากับ 0.0 จะอยู่เยื้องมากกว่าที่ค่า C_{pk} เท่ากับ 0.8 หรืออาจกล่าวได้ว่าที่ค่า C_{pk} ยิ่งมีค่าน้อยกว่าค่า C_p มาก แสดงว่าค่ากลางของผลการทดลองจะยิ่งอยู่เยื้องออกไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะมากตามลำดับ

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hochschule D. [33] ศึกษาผลกระทบของความแตกต่างระหว่างเซลล์ของลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ที่มีรูปทรงสี่เหลี่ยมและมีผนังเซลล์เอียง 45 องศา กับเซลล์รูปทรงหกเหลี่ยมและมีผนังเซลล์เอียง 60 องศา ต่อการถ่ายโอนของหมึกพิมพ์สำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่าการถ่ายโอนของหมึกพิมพ์จากอ่างหมึกพิมพ์ไปยังลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์และถ่ายโอนต่อไปที่แม่พิมพ์ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเซลล์บนลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ เซลล์รูปทรงสี่เหลี่ยมและผนังเซลล์เอียง 45 องศา มีผนังเซลล์ที่ต่ำกว่าเซลล์รูปทรงหกเหลี่ยมและมีผนังเซลล์เอียง 60 องศา ทำให้หมึกพิมพ์สามารถไหลข้ามผนังเซลล์ไปได้ง่ายและไม่ถูกกักเก็บไว้ในเซลล์เมื่อเทียบกับเซลล์รูปทรงหกเหลี่ยมและมีผนังเซลล์เอียง 60 องศา เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่อยู่ในเซลล์รูปทรงสี่เหลี่ยมและผนังเซลล์เอียง 45 องศา มีปริมาณน้อยกว่าในเซลล์รูปทรงหกเหลี่ยมและมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผนังเซลล์เอียง 60 องศา ส่งผลให้ลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ที่มีเซลล์รูปทรงสี่เหลี่ยมและผนังเซลล์เอียง 45 องศา ถ่ายโอนหมึกพิมพ์ได้น้อยกว่าลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ที่มีเซลล์รูปทรงหกเหลี่ยมและมีผนังเซลล์เอียง 60 องศาอยู่ถึง 30 % อย่างไรก็ตามลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ที่มีเซลล์รูปทรงสี่เหลี่ยมและผนังเซลล์เอียง 45 องศา สามารถผลิตได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ที่มีเซลล์รูปทรงหกเหลี่ยมและมีผนังเซลล์เอียง 60 องศา

Mark B. [34] ศึกษาวิธีการวัดค่าพลังงานพื้นผิวอย่างง่ายของฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวโดยใช้โคโรนา เพราะฟิล์มพอลิเมอร์ที่มีพลังงานพื้นผิวสูงจะมีความสามารถในการยึดติดกับหมึกพิมพ์ได้ดีและมีคุณภาพการพิมพ์สูง การเพิ่มค่าพลังงานพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ทำได้โดยการจ่ายประจุไฟฟ้าพลังงานสูงหรือโคโรนาให้กับผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องวัดค่าพลังงานพื้นผิวที่เหมาะสมสำหรับงานพิมพ์แต่ละประเภท จากการศึกษาพบว่าวิธีการหาค่าพลังงานพื้นผิวอย่างง่ายของฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวโดยใช้โคโรนาได้จากการวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับฟิล์มพอลิเมอร์ที่ทราบค่าแรงตึงผิว และคำนวณด้วยสมการที่ 2.29

$$\gamma_C = 0.75\gamma_L - \frac{1-\cos\theta}{0.046} \qquad (2.29)$$

โดยที่

γ_C = ค่าพลังงานพื้นผิวของฟิล์มพอลิเมอร์ที่ผ่านการปรับสภาพผิวโดยใช้โคโรนา

γ_L = ค่าพลังงานพื้นผิวของน้ำมีค่าเท่ากับ 72 มิลลินิวตันต่อเมตร

θ = องศามุมสัมผัสของหยดน้ำกับฟิล์มพอลิเมอร์

DeGrace J. [35] ศึกษาพฤติกรรมการแยกตัวของหมึกพิมพ์จากแม่พิมพ์ลงบนวัสดุที่ใช้พิมพ์ ซึ่งแสดงความสามารถในการถ่ายโอนของหมึกพิมพ์จากแม่พิมพ์สู่ผิวหน้าของวัสดุที่ใช้พิมพ์ ถ้าการถ่ายโอนหมึกพิมพ์น้อยเกินไปจะทำให้คุณภาพของงานพิมพ์ไม่ดี ลวดลายไม่คมชัด และในกรณีที่หมึกพิมพ์เกิดการแยกตัวภายในชั้นมาก หมึกพิมพ์ที่อยู่บนแม่พิมพ์จะถ่ายโอนไปสู่วัสดุที่ใช้พิมพ์ได้ในปริมาณน้อย เพราะหมึกพิมพ์ส่วนหนึ่งแยกตัวออกและยังคงอยู่บนแม่พิมพ์ พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการแยกตัวภายในชั้นของหมึกพิมพ์ คือ ความหนาของชั้นหมึกพิมพ์บนผิวหน้าของแม่พิมพ์ และความเร็วในการพิมพ์ ซึ่งเป็นเพราะหมึกพิมพ์มีความหนืดสูงเกินไป หรือจากการพิมพ์ด้วยความเร็วที่สูงไป หรือเนื่องจากทั้งสองกรณี

Todd S. [36] ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพของการพิมพ์งานประเภทไล่โทนสี โดยเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการแสดงเงาของภาพโดยใช้เทคนิคการพิมพ์ไล่จุด การพิมพ์งานประเภทนี้ควบคุมความคมชัดของจุดพิมพ์ยาก มักพบว่าจุดพิมพ์จะมีขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการหรือหมึกพิมพ์ถูกพิมพ์บนวัสดุที่ใช้พิมพ์ไม่สมบูรณ์ทำให้ความคมชัดของส่วนที่เป็นเงาของภาพไม่ดี จากการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าการใช้เทปกาวโลหะรองรับที่ด้านหลังของแม่พิมพ์พอลิเมอร์สามารถช่วยในการพิมพ์ไล่จุดของเงาภาพให้คมชัดมากขึ้น หลังจากปรับปรุงด้วยการติดเทปกาวโลหะเพิ่มที่ด้านหลังของแม่พิมพ์สามารถเพิ่มความคมชัดของจุดพิมพ์ได้ดีกว่าการพิมพ์ที่ไม่มีเทปกาวโลหะรองรับที่ด้านหลังแม่พิมพ์ประมาณ 15 % ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาภาพพิมพ์ไม่คมชัดของการพิมพ์งานประเภทไล่โทนสีโดยเฉพาะงานพิมพ์ที่ต้องการความละเอียดของจุดพิมพ์ที่มากกว่า 60 % ขึ้นไป

Goran L. [37] ศึกษาวิธีการวัดค่าความหนาของชั้นหมึกพิมพ์ที่อยู่บนแม่พิมพ์ในระหว่างกระบวนการพิมพ์แทนการวัดปริมาณหรือความหนาของหมึกพิมพ์ที่ชิ้นงานสำเร็จรูป ซึ่งต้องรอจนจบกระบวนการผลิตจึงทราบผลของปริมาณหมึกพิมพ์ที่ถูกถ่ายโอนมาที่วัสดุใช้พิมพ์ เพื่อแก้ไขหรือปรับปรุงสภาวะของการพิมพ์ให้รวดเร็วขึ้น จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือวิเคราะห์ที่สามารถต่อเข้ากับระบบพิมพ์เพื่อวัดค่าความหนาของหมึกพิมพ์ได้ คือ กล้องอินฟราเรด และพบว่าค่าตอบสนองอินฟราเรด (IR respond) ที่ได้จากกล้องอินฟราเรดมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเชิงบวกกับน้ำหนักของหมึกพิมพ์ต่อตารางเมตรบนแม่พิมพ์

Thalman W. [38] ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการยึดติดและการกระจายตัวของหมึกพิมพ์บนผิวหน้าของฟิล์มอลูมิเนียมที่เคลือบด้วยพอลิเอทิลีน คุณสมบัติการยึดติดของหมึกพิมพ์มีผลต่อความทนทานและอายุการใช้งานของงานพิมพ์ ขณะที่คุณสมบัติการกระจายตัวของหมึกพิมพ์มีผลต่อความคมชัดและสวยงามของลวดลายพิมพ์ จากการศึกษาพบว่าหมึกพิมพ์มีการยึดติดและการกระจายตัวไม่ดีบนฟิล์มอลูมิเนียมที่ถูกเคลือบด้วยพอลิเอทิลีนและลวดลายพิมพ์ไม่คมชัด จึงต้องปรับปรุงผิวหน้าของฟิล์มเพื่อเพิ่มความเป็นขั้วและพลังงานพื้นผิวของฟิล์มเพื่อให้สามารถยึดเหนี่ยวกับอนุภาคของหมึกพิมพ์ได้ หลังจากที่ทดลองปรับผิวหน้าโดยใช้โคโรนาในช่วง 0 - 0.7 เมกะแอมแปร์ พบว่าถ้าให้ระดับความเข้มของโคโรนาแก่ผิวหน้าพอลิเอทิลีนในระดับที่สูงขึ้น พอลิเอทิลีนมีความเป็นขั้วและมีพลังงานพื้นผิวสูงขึ้น ดังนั้นอนุภาคของหมึกพิมพ์สามารถยึดเหนี่ยวและกระจายตัวบนผิวหน้าพอลิเอทิลีนได้ดีมากขึ้นตามสภาพความเป็นขั้วของผิวฟิล์มที่เพิ่มมากขึ้น

Volker J. [39] ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีบนกระดาษลูกฟูก ได้แก่ กระดาษที่ใช้พิมพ์ และหมึกพิมพ์ จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีบนกระดาษลูกฟูก คือ

- คุณภาพของกระดาษที่ใช้พิมพ์ พบว่ากระดาษที่ใช้พิมพ์ควรเป็นกระดาษที่ผิวหน้ามีความเรียบสูง มีเยื่อกระดาษที่แข็งแรง และมีสภาพเป็นกรดต่ำ กล่าวคือ กระดาษที่มีความเรียบสูงทำให้หมึกพิมพ์มีการไหลได้ดีทั่วพื้นที่ที่ต้องการพิมพ์ การปรับปรุงผิวหน้าของกระดาษให้มีความเรียบมากขึ้นสามารถลดขนาดของรูพรุนที่ผิวหน้ากระดาษ ทำให้หมึกพิมพ์สามารถสัมผัสกับผิวหน้าของกระดาษได้เพิ่มขึ้น ลวดลายคมชัดมากขึ้น นอกจากนี้กระดาษที่มีเยื่อแข็งแรงจะมีโครงสร้างของเยื่อที่ผิวหน้าแน่นไม่ก่อให้เกิดฝุ่นของเยื่อกระดาษหลุดออกไปได้ง่ายขณะพิมพ์งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นของเยื่อกระดาษก่อให้เกิดฝุ่นที่งานพิมพ์ หรืออาจไปเกาะติดที่แม่พิมพ์ทำให้เกิดเป็นลวดลายพิมพ์ที่ไม่ต้องการบนงานพิมพ์ กระดาษที่มีความเป็นกรดสูงจะหน่วงการยึดเกาะของหมึกพิมพ์ จากงานวิจัยนี้พบว่ากระดาษที่มีค่าความเป็นกรด-เบส (pH) มากกว่า 5 เหมาะสมสำหรับการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี

- คุณภาพของหมึกพิมพ์ที่ใช้ พบว่าควรเลือกหมึกพิมพ์ที่มีการไหลตัวและความหนาแน่นที่เหมาะสมกับความเรียบของผิวหน้ากระดาษ กล่าวคือ กระดาษที่มีผิวหน้าหยาบต้องการหมึกพิมพ์ที่มีสมบัติการไหลตัวที่ดีเพื่อให้หมึกพิมพ์กระจายทั่วพื้นที่ที่ต้องการพิมพ์ และหมึกพิมพ์จะต้องมีความหนาแน่นสูงเพื่อให้สามารถปกปิดพื้นผิวที่ไม่เรียบหรือมีรูพรุนกว้างๆ ได้

Galton D. [40] ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาการเชื่อมโยงของจุดพิมพ์ (Dot bridging) ของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีด้วยโปรแกรมมินิแทป งานพิมพ์ที่ต้องการความละเอียดสูงจำเป็นต้องมีความคมชัดที่ขอบของจุดพิมพ์สูงมาก ถ้าหมึกพิมพ์ไหลตัวไปเชื่อมโยงกับอีกจุดพิมพ์หนึ่งจะทำให้คุณภาพการพิมพ์และความคมชัดของลวดลายพิมพ์ลดลง ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความหนืดของหมึกพิมพ์ จำนวนความถี่ของเส้นบนลูกกลิ้งแอนิล็อกซ์ ชนิดของใบปาดหมึกพิมพ์ ชนิดของแม่พิมพ์ ความลึกของแม่พิมพ์ การกดติดรอยต่อของแม่พิมพ์ และความเร็วในการพิมพ์ งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มี 7 ตัวแปร แต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติโดยอาศัยโปรแกรมมินิแทป และเก็บข้อมูลผลการทดลองจากการวัดความยาวของงานพิมพ์ที่ได้ก่อนเกิดปัญหาการเชื่อมโยงของจุดพิมพ์ จากการทดลองพบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาการเชื่อมโยงของจุดพิมพ์อย่างมีนัยสำคัญ คือ ชนิดของใบปาดหมึกพิมพ์ คือใบปาดหมึกพิมพ์แบบหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม (Square edged blade) จะเกิดปัญหาการเชื่อมโยงของจุดพิมพ์มากกว่าใบปาดหมึกพิมพ์แบบ Lamella

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

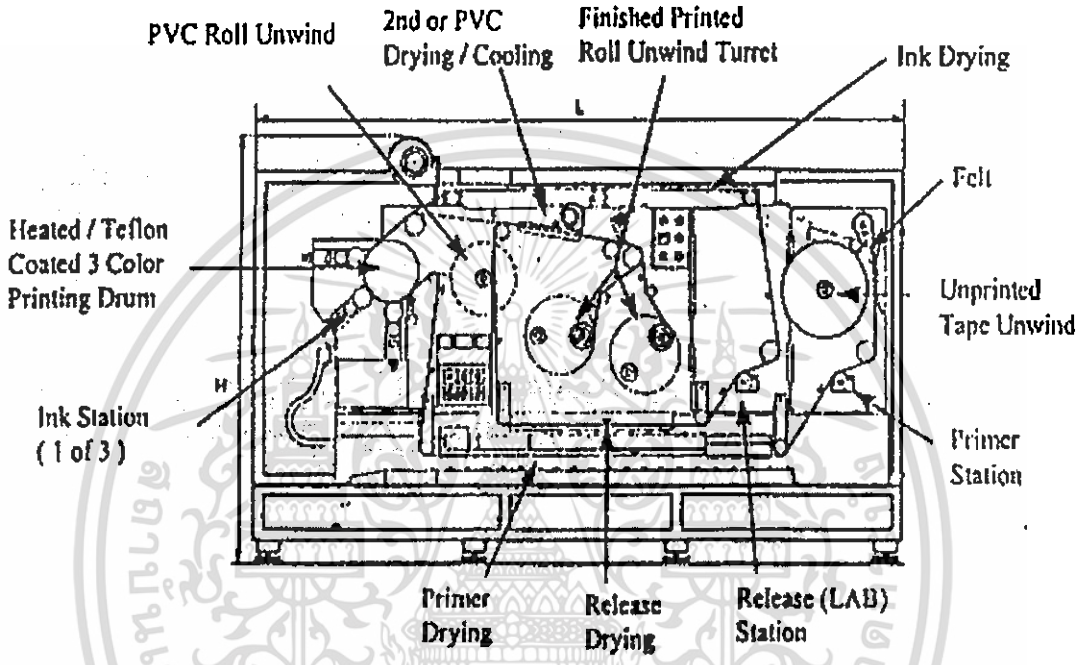
ศึกษาการทำงานของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน รวบรวมข้อมูลต่างๆ และตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อระบบการพิมพ์ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย ศึกษาทฤษฎีการออกแบบการทดลอง โปรแกรมสำเร็จรูปมินิแทป กระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย เพื่อกำหนดมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติงาน และติดตามผลของการใช้สภาวะการผลิตที่ได้จากงานวิจัยในการผลิตระดับอุตสาหกรรม

งานพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน นอกจากประกอบด้วยงานทำแม่พิมพ์และงานพิมพ์แล้ว ยังรวมการปรับผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนเพื่อช่วยให้หมึกพิมพ์สามารถซึมผ่านและแห้งตัวบนผิวหน้าของเทปกาว เนื่องจากเทปกาวพอลิโพรพิลีนมีผิวเรียบ ไม่มีความพรุน ทำให้ไม่สามารถดูดซึมหมึกพิมพ์ ดังนั้นหมึกพิมพ์จึงพิมพ์ติดบนผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนได้ยาก โดยทั่วไปการปรับผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนนิยมใช้วิธีทางเคมีหรือใช้โคโรนา เทปกาวที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีใช้ได้กับบรรจุภัณฑ์กระดาษเท่านั้นไม่สามารถใช้ได้กับบรรจุภัณฑ์พลาสติก แต่ในตลาดประเทศไทยก็มีความต้องการเทปกาวพอลิโพรพิลีนสำหรับบรรจุภัณฑ์พลาสติก การผลิตเทปกาวพอลิโพรพิลีนสำหรับบรรจุภัณฑ์พลาสติกนั้นเลือกใช้วิธีการปรับผิวหน้าเทปกาวโดยใช้โคโรนา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปทั้งโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย การปรับผิวหน้าเทปกาวโดยวิธีทางเคมีค่อนข้างอันตรายและปรับผิวหน้าให้สม่ำเสมอได้ยาก อีกทั้งราคาการผลิตค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการใช้โคโรนา อย่างไรก็ดีบริษัทผู้ผลิตเทปกาวพอลิโพรพิลีนบางแห่งมีเทปกาวสำเร็จรูปที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีแล้วจำหน่าย ซึ่งมีราคาถูกกว่าการลงทุนติดตั้งหน่วยปรับผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนด้วยวิธีทางเคมีที่เครื่องพิมพ์และสามารถลดเวลาการผลิตจากการลดขั้นตอนการปรับผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

3.1.1 เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิว [19]

จากรูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับพิมพ์เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย องค์ประกอบหลัก คือ ส่วนป้อนม้วนเทปกาวก่อนพิมพ์ลวดลาย (Unprinted tape unwind) ลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (Heated / Teflon-coated 3-color printing drum) ส่วนพิมพ์ (Ink station) ตู้อบหมึกพิมพ์ (Ink drying) และส่วนตัดเข้าม้วนเทปกาว (Finished printed roll unwind turret) ขั้นตอนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายประกอบด้วย

1. การพิมพ์หมึกพิมพ์ ขั้นตอนนี้ต้องควบคุมความหนืดของหมึกพิมพ์ให้ไหลและถ่ายโอนสู่ผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนได้ดี

2. การอบหมึกพิมพ์ ขั้นตอนนี้ต้องปรับอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์เพื่อให้หมึกพิมพ์แห้งและยึดติดบนผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การตัดเข้าม้วนเทป

3.1.2 การกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อการพิมพ์

กำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนโดยใช้ฐานข้อมูลจากการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิลม์พอลิโพรพิลีน ได้แก่ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ ตัวแปรที่ศึกษาแต่ละตัวมี 2 ระดับ กำหนดค่าของตัวแปรและค่ากลาง (Center point) ของแต่ละตัวแปร ดังนี้

3.1.2.1 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ กำหนด Low-level ที่ 30 °ซ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถควบคุมได้ และ High-level ที่ 50 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่านี้เทปกาวพอลิโพรพิลีนเกิดการฉีกขาดได้ง่ายและไม่สามารถควบคุมความตึงของม้วนเทปในขณะทดลองพิมพ์ กำหนดค่ากลางที่ 40 °ซ

3.1.2.2 ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุปกรณ์วัดความหนืดของหมึกพิมพ์ คือ Zahn Cup #2 กำหนด Low-level ที่ 20 วินาที เนื่องจากเป็นความหนืดที่หมึกพิมพ์สามารถไหลและถ่ายโอนลงบนผิวของเทปกาวได้ และ High-level ที่ 30 วินาที เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่นำมาทดลองมีความหนืดที่ 30 วินาที กำหนดค่ากลางที่ 25 วินาที

3.1.2.3 อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ กำหนด Low-level ที่ 30 °ซ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถควบคุมได้และ High-level ที่ 50 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่านี้เทปกาวพอลิโพรพิลีนเกิดการฉีกขาดได้ง่าย กำหนดค่ากลางที่ 40 °ซ

3.1.2.4 อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ กำหนด Low-level ที่ 30 °ซ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถควบคุมได้ และ High-level ที่ 50 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่านี้เทปกาวพอลิโพรพิลีนเกิดการฉีกขาดได้ง่าย กำหนดค่ากลางที่ 40 °ซ

3.1.3 การออกแบบการทดลองโดยอาศัยโปรแกรมมินิแทป [30]

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีปัจจัยหรือตัวแปร 4 ตัวแปร โดยแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ คือ Low-level และ High-level ไม่มีการทำทดลองซ้ำ คือ การทำซ้ำเท่ากับ 1 แต่เพื่อให้ผลการทดลองเชื่อถือได้จึงเก็บผลจากการทดลอง 5 ครั้งสำหรับแต่ละแบบการทดลอง จากโปรแกรมมินิแทปสามารถจำลองแบบการการทดลองได้ 17 แบบการทดลอง สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายทั้ง 17 แบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)
1	50	30	50	30
2	50	20	30	30
3	50	20	50	50
4	30	20	50	30
5	30	20	30	50
6	30	20	30	30
7	50	30	30	30
8	30	30	50	30
9	50	20	50	30
10	50	30	50	50
11	50	20	30	50
12	30	30	50	50
13	50	30	30	50
14	40	25	40	40
15	30	30	30	50
16	30	30	30	30
17	30	20	50	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

3.2.1 เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวที่ใช้ในงานวิจัย

การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายใช้เครื่องพิมพ์เหมือนกับการพิมพ์ที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมี ดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย ส่วนป้อนม้วนเทปกาวก่อนพิมพ์ลวดลาย หน่วยโคโรนาซึ่งในงานวิจัยได้ติดตั้งหน่วยโคโรนาแทนที่ส่วนไพร์เมอร์ (Primer station) ลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ส่วนพิมพ์ ตู้อบหมึกพิมพ์ ส่วนเคลือบสารเคลือบลื่น (Release (LAB) station) ตู้อบสารเคลือบลื่น (Release drying) และส่วนตัดเข้าม้วนเทปกาว สารเคลือบลื่นช่วยป้องกันการหลุดลอกของหมึกพิมพ์และช่วยให้การลอกเทปกาวพิมพ์ลายสำเร็จรูปออกจากม้วนในขณะใช้งานง่ายขึ้น การพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ

1. การปรับผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนโดยใช้โคโรนา ขั้นตอนนี้สามารถปรับระดับของโคโรนาโดยการสั่งจ่ายประจุไฟฟ้าเพื่อปรับผิวหน้าของเทปกาวให้เหมาะสมกับการยึดติดของหมึกพิมพ์

2. การพิมพ์หมึกพิมพ์ ขั้นตอนนี้ต้องควบคุมความหนืดของหมึกพิมพ์ให้ไหลได้และถ่ายโอนไปสู่แม่พิมพ์และผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนได้ดี

3. การอบหมึกพิมพ์ ขั้นตอนนี้ต้องมีการปรับอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์เพื่อให้หมึกพิมพ์แห้งและยึดติดอยู่บนผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีนได้ดี

4. การเคลือบสารเคลือบลื่น ขั้นตอนนี้ต้องควบคุมปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น

5. การอบสารเคลือบลื่น ขั้นตอนนี้ต้องปรับอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นเพื่อให้สารเคลือบลื่นแห้งและยึดติดอยู่บนผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีน

6. การตัดเข้าม้วนเทป

3.2.2 การกำหนดตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลต่อการพิมพ์

ตัวแปรที่คาดว่ามีผลต่อการทดลองใช้ฐานข้อมูลจากการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีนได้แก่ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแข็งในสารเคลือบลื่น ตัวแปรที่ศึกษาแต่ละตัวมี 2 ระดับ และกำหนดค่าตัวแปรและค่ากลางของแต่ละตัวแปร ดังนี้

3.2.2.1 ระดับโคโรนา กำหนด Low-level ที่ 5 เนื่องจากเป็นค่าที่ต่ำสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถให้ประจุไฟฟ้าแก่ผิวเทปพอลิโพรพิลีน และ High-level ที่ 15 เนื่องจากเป็นค่าสูงที่สุดที่เครื่องพิมพ์สามารถควบคุมได้ กำหนดค่ากลางที่ 10

3.2.2.2 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ กำหนด Low-level ที่ 30 °ซ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถควบคุมได้ และ High-level ที่ 50 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่านี้เทปกาวพอลิโพรพิลีนเกิดการฉีกขาดได้ง่าย และไม่สามารถควบคุมความตึงของม้วนเทปในขณะทดลองพิมพ์ กำหนดค่ากลางที่ 40 °ซ

3.2.2.3 ความหนืดของหมึกพิมพ์ อุปกรณ์วัดความหนืดของหมึกพิมพ์ คือ Zahn Cup #2 กำหนด Low-level ที่ 20 วินาที เนื่องจากเป็นความหนืดที่หมึกพิมพ์สามารถไหลและถ่ายโอนลงบนผิวของเทปกาวได้ และ High-level ที่ 30 วินาที เนื่องจากหมึกพิมพ์ที่นำมาทดลองมีความหนืดที่ 30 วินาที กำหนดค่ากลางที่ 25 วินาที

3.2.2.4 อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ กำหนด Low-level ที่ 30 °ซ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถควบคุมได้ และ High-level ที่ 50 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่านี้เทปกาวพอลิโพรพิลีนเกิดการฉีกขาดได้ง่าย กำหนดค่ากลางที่ 40 °ซ

3.2.2.5 อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น กำหนด Low-level ที่ 30 °ซ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เครื่องพิมพ์สามารถควบคุมได้ และ High-level ที่ 50 °ซ เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่านี้เทปกาวพอลิโพรพิลีนเกิดการฉีกขาดได้ง่าย กำหนดค่ากลางที่ 40 °ซ

3.2.2.6 ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น กำหนด Low-level ที่ 0.05 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถเตรียมและทดสอบได้ในระดับปฏิบัติการ และ High-level ที่ 0.15 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากทดลองพบว่าที่ปริมาณของแข็งมากกว่านี้ไม่ได้ทำให้การยึดติดของหมึกพิมพ์บนเทปกาวพิมพ์ลายสำเร็จรูปและความสามารถในการที่เทปกาวพิมพ์ลายสำเร็จรูปคลายออกจากม้วนเทปเพิ่มขึ้น กำหนดค่ากลางที่ 0.10 % โดยน้ำหนัก

3.2.3 การออกแบบการทดลองโดยอาศัยโปรแกรมมินิแทป [30]

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีปัจจัยหรือตัวแปร 6 ตัวแปรโดยแต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ คือ Low-level และ High-level ไม่มีการทำทดลองซ้ำ คือ การทำซ้ำเท่ากับ 1 แต่เพื่อให้ผลการทดลองเชื่อถือได้จึงเก็บผลจากการทดลอง 5 ครั้งสำหรับแต่ละแบบการทดลอง จากโปรแกรมมินิแทปสามารถจำลองแบบการทดลองได้ 65 แบบการทดลอง สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายทั้ง 65 แบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)
1	15	50	30	50	30	0.15
2	15	50	30	30	50	0.05
3	15	30	30	30	50	0.15
4	15	50	30	30	30	0.15
5	5	50	30	50	30	0.05
6	15	30	20	30	50	0.05
7	15	30	30	30	50	0.05
8	5	50	30	30	50	0.05
9	15	30	20	50	50	0.05
10	5	30	20	30	50	0.15
11	15	50	30	50	50	0.15
12	15	30	30	50	50	0.15
13	15	30	30	50	50	0.05
14	5	30	30	30	50	0.15
15	5	30	20	30	30	0.15
16	15	30	30	50	30	0.15
17	5	50	20	30	50	0.05
18	5	30	30	50	50	0.05
19	5	30	20	30	30	0.05
20	5	30	20	50	50	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)
21	10	40	25	40	40	0.10
22	5	50	30	50	30	0.15
23	15	50	30	50	50	0.05
24	15	50	20	50	30	0.05
25	15	50	30	50	30	0.05
26	15	50	20	50	30	0.15
27	5	30	30	30	50	0.05
28	5	30	30	50	30	0.15
29	15	30	20	30	30	0.05
30	5	50	20	50	50	0.05
31	15	50	20	30	30	0.05
32	5	50	30	50	50	0.15
33	15	50	30	30	50	0.15
34	15	50	20	30	50	0.15
35	5	30	30	50	50	0.15
36	5	50	30	30	30	0.15
37	5	30	20	50	30	0.15
38	5	30	30	30	30	0.05
39	15	30	20	50	30	0.05
40	5	30	20	30	50	0.05
41	5	50	20	50	50	0.15
42	5	30	20	50	30	0.05
43	15	30	20	30	30	0.15
44	5	50	30	50	50	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)
45	5	50	20	30	30	0.15
46	15	30	30	50	30	0.05
47	5	50	30	30	30	0.05
48	15	50	20	30	30	0.15
49	15	50	20	50	50	0.05
50	5	50	20	30	30	0.05
51	5	30	30	50	30	0.05
52	15	30	20	50	30	0.15
53	5	50	30	30	50	0.15
54	15	30	30	30	30	0.15
55	15	30	20	50	50	0.15
56	15	50	20	50	50	0.15
57	5	50	20	30	50	0.15
58	5	50	20	50	30	0.15
59	5	30	20	50	50	0.05
60	15	30	20	30	50	0.15
61	15	50	20	30	50	0.05
62	15	30	30	30	30	0.05
63	5	50	20	50	30	0.05
64	15	50	30	30	30	0.05
65	5	30	30	30	30	0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรตอบสนองของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาว ทั้งสองชนิด คือ ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ มีหน่วยเป็นจำนวนรอบของการขัดถู จนกระทั่งหมึกพิมพ์หลุดจากผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีน และค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 100 รอบ เป็นค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์เทปกาวพิมพ์ลายสำหรับงานบรรจุภัณฑ์

จากการทดลองตามแบบการทดลองในตารางที่ 3.1 และ 3.2 ใช้โปรแกรมมินิแทป วิเคราะห์หาตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวทั้งปรับผิวหน้าเทปกาวโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนา รายละเอียดจะกล่าวในบทที่ 4 หลังจากทราบตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวทั้งสองชนิด ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญด้วยโปรแกรมมินิแทป และกำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับพนักงาน รายละเอียดของการทดลองและสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการทดลองจะใช้ตั้งค่าเพื่อการผลิตระดับอุตสาหกรรมในโรงงานซึ่งเป็นกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

4.1.1 ผลการทดลอง

จากการทำการทดลองตามสภาวะของตัวแปรต่างๆ ตามแบบการทดลองจากตารางที่ 3.1 เนื่องจากไม่มีการทำการทดลองซ้ำ (Replication เป็น 1) เพื่อให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้ในแต่ละแบบของการทดลองตรวจสอบผลการทดลองจำนวน 5 ครั้ง วัดผลการทดลองในลักษณะคุณสมบัติการยึดติดของหมึกพิมพ์ หรือความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์โดยเครื่อง Taber abraser ที่ความเร็วรอบของการขัดถู 60 รอบต่อนาที ภายใต้น้ำหนักกด 1 กิโลกรัม และนับจำนวนรอบของการขัดถูจนกระทั่งหมึกพิมพ์หลุดจากผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีน และคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สำหรับผลิตภัณฑ์เทปกาวพิมพ์ลายที่ได้จากการทดลอง 5 ครั้งของทุกแบบการทดลอง เพื่อความน่าเชื่อถือต่อผลการทดลอง บันทึกผลการทดลองค่าเฉลี่ยของค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในแต่ละแบบการทดลองในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

การทดลองที่	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
1	50	30	50	30	161
2	50	20	30	30	101
3	50	20	50	50	110
4	30	20	50	30	45
5	30	20	30	50	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย (ต่อ)

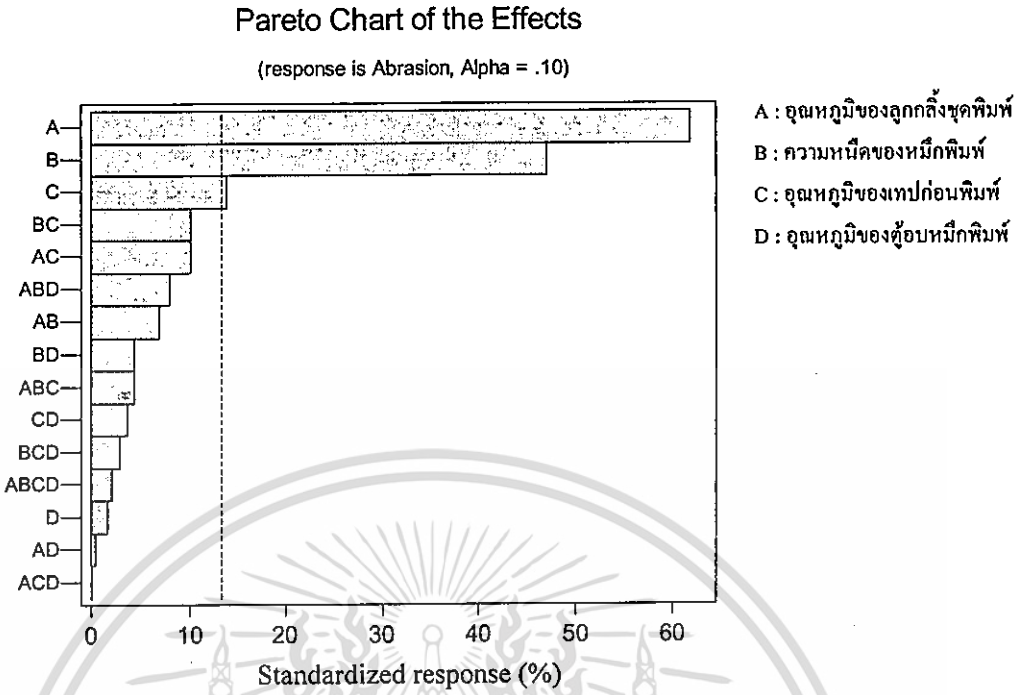
การทดลองที่	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
6	30	20	30	30	37
7	50	30	30	30	147
8	30	30	50	30	115
9	50	20	50	30	102
10	50	30	50	50	143
11	50	20	30	50	115
12	30	30	50	50	108
13	50	30	30	50	138
14	40	25	40	40	82
15	30	30	30	50	78
16	30	30	30	30	68
17	30	20	50	50	41

จากตารางที่ 4.1 ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ของเทปกาวพอลิโพรพิลีนสามารถใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ดังนี้

4.1.2 การวิเคราะห์ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์เพื่อหาตัวแปรที่มีนัยสำคัญโดยโปรแกรมมินิแทป

4.1.2.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญด้วยผังพาเรโตโดยโปรแกรมมินิแทป พิจารณาจากรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

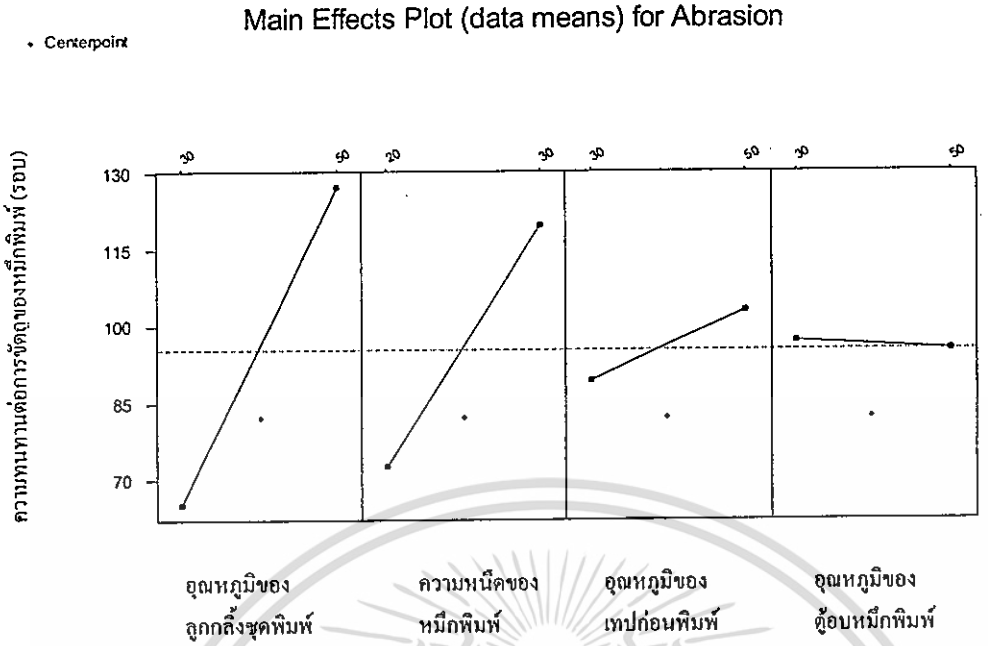


รูปที่ 4.1 ผังพาเรโตแสดงตัวแปรในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ คือ ตัวแปรที่มีค่าในแนวแกน x สูงกว่าเส้นประ ซึ่ง คือ เส้นแสดงค่าของอัลฟาเท่ากับ 0.1 โดยที่ 1 - อัลฟา คือ ค่าของระดับความเชื่อมั่น โดยทั่วไปจะวิเคราะห์ผลการทดลองที่อัลฟา 0.1 คือ ที่ค่าระดับความเชื่อมั่น 0.9 หรือ 90 % ดังนั้นตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์

4.1.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับผลการทดลองโดยใช้ Main effects plot พิจารณาจากรูปที่ 4.2 ถ้าเส้นกราฟเป็นเส้นตรงมีความชันในเชิงบวก หมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับผลการทดลองหรือตัวแปรตอบสนอง ซึ่งในงานวิจัย คือ ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ ถ้าเส้นกราฟมีความชันในเชิงลบ หมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับผลการทดลอง ค่าความชันที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างชัดเจน หมายความว่าตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์กับผลการทดลองอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

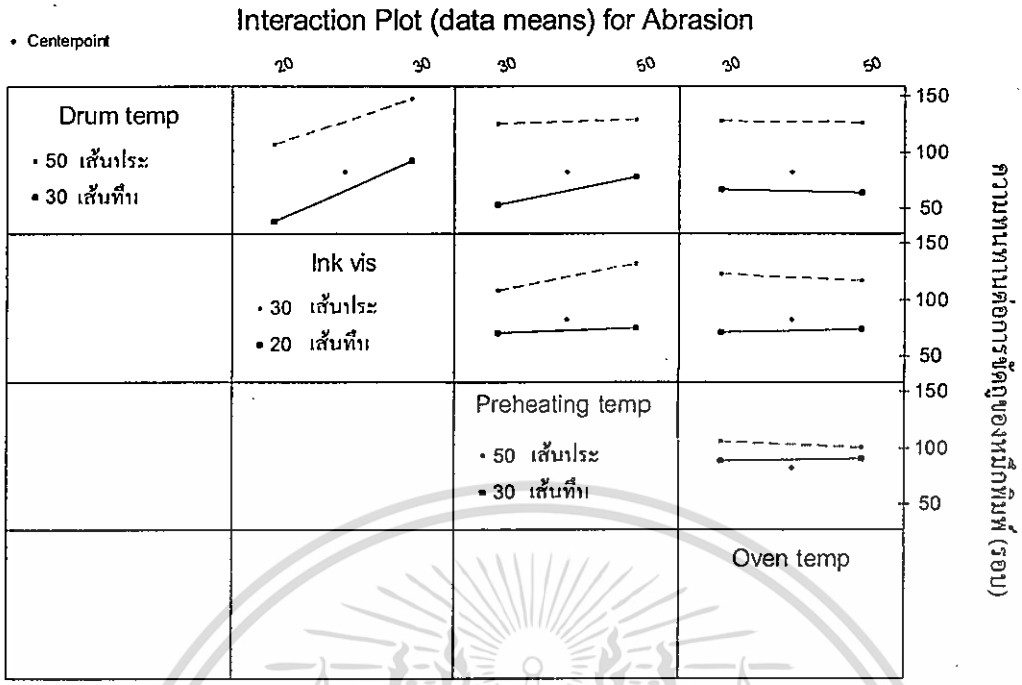


รูปที่ 4.2 Main effects plot ของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

จากรูปที่ 4.2 เส้นกราฟของอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์และความหนืดของหมึกพิมพ์เป็นเส้นตรงมีความชันในเชิงบวกอย่างชัดเจนกับค่าของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ หมายความว่าอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์และความหนืดของหมึกพิมพ์มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ เมื่ออุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์และความหนืดของหมึกพิมพ์สูงขึ้น การยึดติดของหมึกพิมพ์จะดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1, 7, 10 และ 13 ในตารางที่ 4.1 สำหรับเส้นกราฟของอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์มีความชันในเชิงบวกเช่นกัน แต่มีนัยสำคัญน้อยกว่าอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์และความหนืดของหมึกพิมพ์ เส้นกราฟของอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์มีความชันในเชิงลบแต่น้อยมาก แสดงว่าแม้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์จะทำให้ค่าของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ลดลง แต่ผลกระทบน้อยมาก

4.1.2.3 การวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างตัวแปร (Interaction plot) ถ้าในแต่ละช่องของรูปกราฟที่แสดงอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรมีการตัดกันของเส้นทึบและเส้นประ แสดงว่าตัวแปรทั้งสองของช่องนั้นๆ มีอันตรกิริยาต่อกัน อันตรกิริยาระหว่างตัวแปรที่ศึกษาต่อกันและค่าของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ แสดงในรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Drum temp	:	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์
Ink vis	:	ความหนืดของหมึกพิมพ์
Preheating temp	:	อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์
Oven temp	:	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์
Ink abrasion resistance	:	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์

รูปที่ 4.3 Interaction plot ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

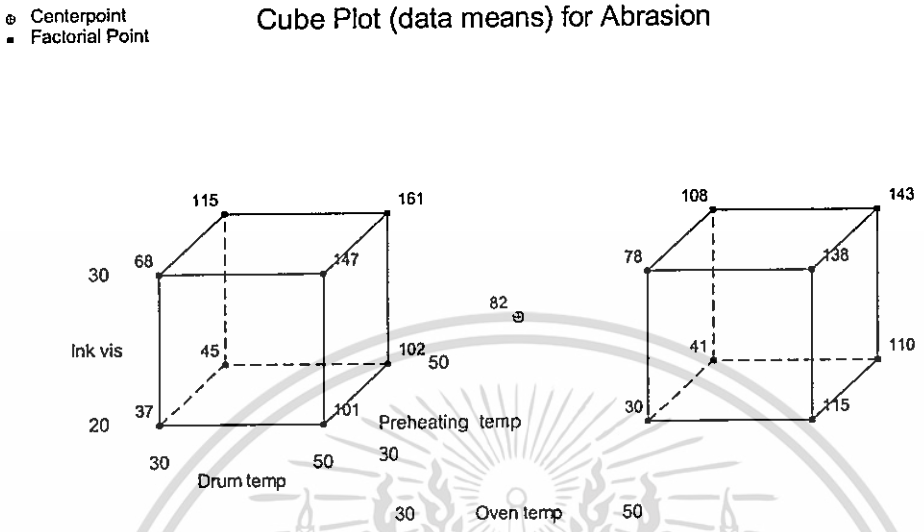
จากรูปไม่พบว่ามีเส้นทึบและเส้นประตัดกันในแต่ละช่องของ Interaction plot แสดงว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปร

ตัวอย่างการอ่านค่าตัวแปรระหว่างอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์และอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ ตำแหน่งซ้ายและขวาของเส้นทึบแสดงค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ 30 °ซ และ 50 °ซ ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์เท่ากับ 30 °ซ สำหรับตำแหน่งซ้ายและขวาของเส้นประแสดงค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ 30 °ซ และ 50 °ซ ตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์เท่ากับ 50 °ซ

4.1.2.4 การวิเคราะห์ค่าของตัวแปรที่ให้ผลการทดลองที่ต้องการโดยใช้ Cube plot ดังรูปที่ 4.4 ผลการทดลองที่ต้องการในงานวิจัยนี้พิจารณาจากค่าความทนทานต่อการขัดถูของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมึกพิมพ์สูงสุด ซึ่งอยู่ที่มุมของกราฟ Cube plot อ่านค่าของตัวแปรต่างๆ ที่ให้ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูงสุด



Drum temp : อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์

Ink vis : ความหนืดของหมึกพิมพ์

Preheating temp : อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์

Oven temp : อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์

รูปที่ 4.4 Cube plot ของค่าการทดลองและค่าตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

จากรูปพบว่าผลการทดลองที่ต้องการ คือ ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูงสุดที่ 161 รอบ ค่าของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ให้ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูงสุดนี้ คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 50 °ซ ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 30 วินาที และอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ที่ 50 °ซ

4.1.3 การออกแบบการทดลองสำหรับตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

แม้ว่าจาก Main effects plot ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ แต่จากผังพาเรโตในรูปที่ 4.1 พบว่าอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญต่อความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์น้อยมาก ดังนั้นในการกำหนดสภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญสำหรับใช้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานในการผลิตระดับอุตสาหกรรม จึงใช้โปรแกรมมินิแทปออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีปัจจัยหรือตัวแปร 2 ตัวแปรเท่านั้น คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ และความหนืดของหมึกพิมพ์ เพื่อลดจำนวนชุดการทดลองระดับของอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ศึกษา คือ 30, 35, 40, 45 และ 50 °ซ และระดับของความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 20, 25 และ 30 วินาที ไม่มีการทำการทดลองซ้ำ กำหนดได้ 15 แบบการทดลอง ในแต่ละแบบการทดลองตรวจสอบผลการทดลองจำนวน 5 ครั้งเพื่อความน่าเชื่อถือต่อผลการทดลอง และควบคุมอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์และอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์คงที่ที่ 30 °ซ เนื่องจากการควบคุมที่อุณหภูมิต่ำประหยัดค่าใช้จ่ายและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ สภาวะการผลิตที่ต้องการพิจารณาที่ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 100 รอบ ซึ่งเป็นค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของตลาดเทปกาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์เฉลี่ยจากการตรวจสอบผลการทดลอง 5 ครั้งในแต่ละแบบการทดลอง

ตารางที่ 4.2 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
1	30	30	80
2	30	25	76
3	45	25	150
4	35	30	105
5	50	20	148
6	45	20	135
7	40	30	116
8	50	25	152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

การทดลองที่	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
9	50	30	160
10	40	20	91
11	40	25	98
12	35	20	68
13	45	30	145
14	30	20	40
15	35	25	73

สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย สำหรับผลิตภัณฑ์เทปกาวพิมพ์ลายที่มีค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 100 รอบ คือ อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ตั้งแต่ประมาณ 40 °ซ และความหนืดของหมึกพิมพ์ประมาณ 25 วินาที

การวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมมินิแทปสามารถยืนยันความมีนัยสำคัญของตัวแปรได้จากค่า P และความน่าเชื่อถือของจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ จากค่า R-sq ถ้าค่า P ของตัวแปรใดมีค่าต่ำกว่า 0.05 หมายความว่าตัวแปรนั้นมีผลกระทบต่อผลการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ และถ้าค่า R-sq มากกว่า 70 % แสดงว่าการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือสามารถใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดสภาวะการผลิตสำหรับมาตรฐานการปฏิบัติงานได้ [26, 30] การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์จากสภาวะต่างๆ ในตารางที่ 4.2 ด้วยโปรแกรมมินิแทป แสดงดังรูปที่ 4.5

เนื่องจากค่า P ของอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์เท่ากับ 0 และของความหนืดของหมึกพิมพ์เท่ากับ 0.003 ซึ่งต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปค่า R-sq คือ 93.1 % แสดงว่าผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และพบว่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนผิวหน้าเทปกาวมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์และความหนืดของหมึกพิมพ์

Regression analysis : Abrasion versus printing drum temperature and ink viscosity

The regression equation is

Abrasion = -143 + 4.75 Printing drum temperature + 2.48 Ink viscosity

Predictor	Coef.	SE coef.	T	P
Constant	-142.73	23.13	-6.17	0.000
Printing drum temperature	4.7467	0.3896	12.18	0.000
Ink viscosity	2.4800	0.6748	3.68	0.003

S = 10.6693 R-sq = 93.1 % R-sq (adj) = 92.0 %

Analysis of variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	18435.7	9217.9	80.98	0.000
Residual error	12	1366.0	113.8		
Total	14	19801.7			

Source	DF	Seq SS
Printing drum temperature	1	16898.1
Ink viscosity	1	1537.6

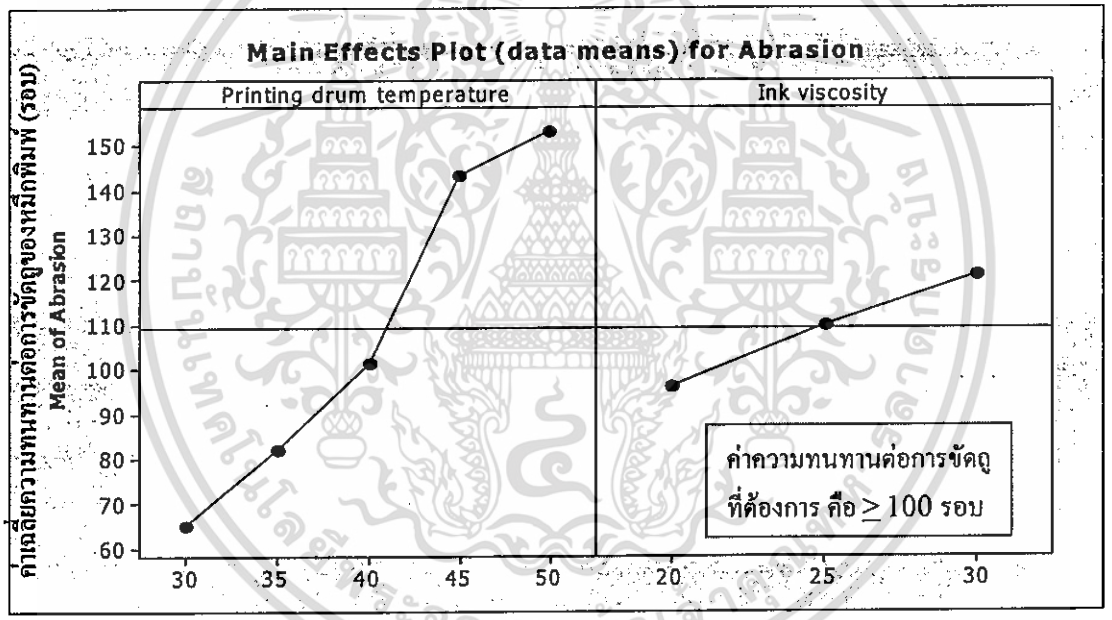
รูปที่ 4.5 ข้อมูลการวิเคราะห์การถดถอยของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

4.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดเทปกาวพิมพ์ลายสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่เหมาะสม จะเป็นสภาวะที่มีค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่ได้จากการทดลองต้องสูงกว่าหรือเท่ากับ 100 รอบ การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญได้จาก Main effects plot ดังรูปที่ 4.6 พบว่า เมื่ออุณหภูมิของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกกลิ้งชุดพิมพ์ตั้งแต่ 40 °ซ หรือความหนืดของหมึกพิมพ์ตั้งแต่ 22 วินาที โดยประมาณ ให้ค่าความทนทานต่อการขัดถูมากกว่า 100 รอบ ดังนั้นจึงกำหนดการควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 °ซ เนื่องจากอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 °ซ เป็นค่ากำหนดเฉพาะที่ไม่เสี่ยง ถ้าอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์สูงหรือต่ำเกินพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบนและด้านล่าง กำหนดความคลาดเคลื่อนที่ ± 5 °ซ เนื่องจากเป็นช่วงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะที่สามารถควบคุมได้ไม่เข้มงวดเกินไป และคุมความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 3 วินาที เนื่องจากเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่เพียงพอและไม่เสี่ยงเมื่อความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าต่ำเกินพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง และกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ ± 3 วินาที เนื่องจากเป็นช่วงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะที่สามารถควบคุมความหนืดได้ไม่เข้มงวดเกินไป ผลของการวัดความสามารถกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเมื่อใช้การปฏิบัติงานตามมาตรฐานสภาวะการผลิตดังกล่าวเป็นระยะเวลา 12 เดือน ช่วงเดือน ก.ค. 2547 – มิ.ย. 2548 แสดงดังรูปที่ 4.7

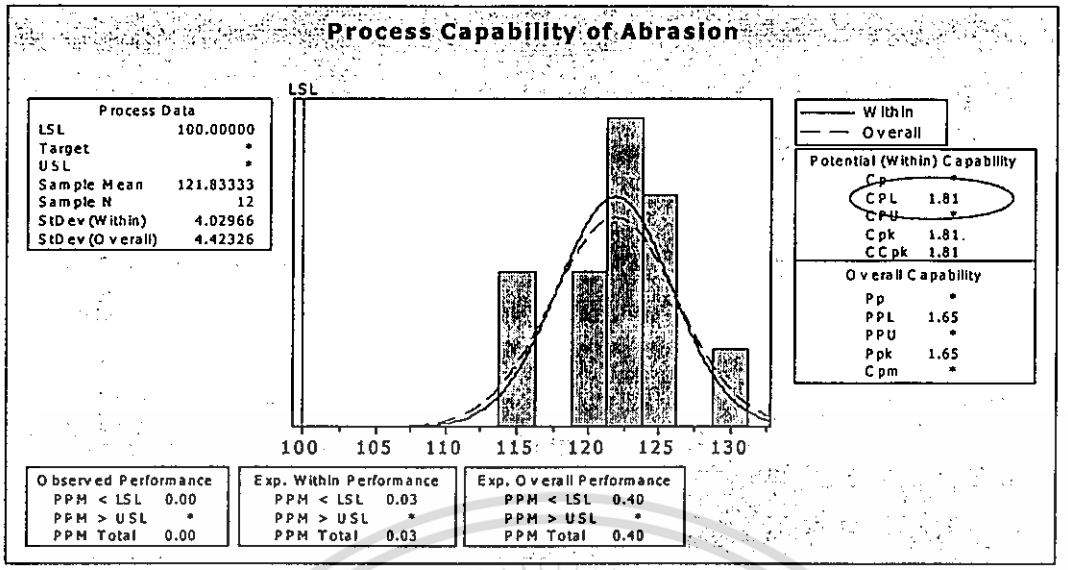


Printing drum temperature : อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์

Ink viscosity : ความหนืดของหมึกพิมพ์

รูปที่ 4.6 Main effects plot เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ดัชนีวัดความสามารถจากการปฏิบัติงานตามมาตรฐานการผลิตที่ได้จากการทดลองของกระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

ถ้าค่า C_p ต่ำกว่า 1.33 แสดงว่าควรมีการปรับปรุงกระบวนการใหม่ [30-31] จากรูปที่ 4.7 ค่า C_p ที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ 1.81 แสดงว่าสภาวะการผลิตที่กำหนดไว้เหมาะสมดี กระบวนการมีเสถียรภาพ ไม่มีความผันแปรของกระบวนการจึงไม่ต้องมีการปรับปรุงใดๆ

4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

4.2.1 ผลการทดลอง

จากการทำการทดลองตามสภาวะของตัวแปรต่างๆ ตามแบบการทดลองจากตารางที่ 3.2 เนื่องจากไม่มีการทำการทดลองซ้ำ (Replication เป็น 1) เพื่อให้ผลการทดลองที่เชื่อถือได้ ในแต่ละแบบของการทดลองตรวจสอบผลการทดลองจำนวน 5 ครั้ง วัดผลการทดลองในลักษณะคุณสมบัติการยึดติดของหมึกพิมพ์ หรือความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์โดยเครื่อง Taber abraser ที่ความเร็วรอบของการขัดถู 60 รอบต่อนาที ภายใต้น้ำหนักกด 1 กิโลกรัม และนับจำนวนรอบของการขัดถูจนกระทั่งหมึกพิมพ์หลุดจากผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีน และคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สำหรับผลิตภัณฑ์เทปกาวพิมพ์ลายที่ตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลอง 5 ครั้งของแต่ละแบบการทดลองเพื่อความน่าเชื่อถือต่อผลการทดลอง บันทึกผลการทดลองค่าเฉลี่ยของค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในแต่ละแบบการทดลองในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
1	15	50	30	50	30	0.15	117
2	15	50	30	30	50	0.05	136
3	15	30	30	30	50	0.15	108
4	15	50	30	30	30	0.15	101
5	5	50	30	50	30	0.05	74
6	15	30	20	30	50	0.05	93
7	15	30	30	30	50	0.05	120
8	5	50	30	30	50	0.05	61
9	15	30	20	50	50	0.05	96
10	5	30	20	30	50	0.15	59
11	15	50	30	50	50	0.15	138
12	15	30	30	50	50	0.15	105
13	15	30	30	50	50	0.05	102
14	5	30	30	30	50	0.15	80
15	5	30	20	30	30	0.15	58
16	15	30	30	50	30	0.15	98
17	5	50	20	30	50	0.05	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
18	5	30	30	50	50	0.05	72
19	5	30	20	30	30	0.05	58
20	5	30	20	50	50	0.15	69
21	10	40	25	40	40	0.10	109
22	5	50	30	50	30	0.15	75
23	15	50	30	50	50	0.05	134
24	15	50	20	50	30	0.05	109
25	15	50	30	50	30	0.05	125
26	15	50	20	50	30	0.15	118
27	5	30	30	30	50	0.05	70
28	5	30	30	50	30	0.15	69
29	15	30	20	30	30	0.05	98
30	5	50	20	50	50	0.05	86
31	15	50	20	30	30	0.05	114
32	5	50	30	50	50	0.15	86
33	15	50	30	30	50	0.15	136
34	15	50	20	30	50	0.15	124
35	5	30	30	50	50	0.15	96
36	5	50	30	30	30	0.15	75
37	5	30	20	50	30	0.15	59
38	5	30	30	30	30	0.05	78
39	15	30	20	50	30	0.05	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
40	5	30	20	30	50	0.05	86
41	5	50	20	50	50	0.15	91
42	5	30	20	50	30	0.05	82
43	15	30	20	30	30	0.15	107
44	5	50	30	50	50	0.05	110
45	5	50	20	30	30	0.15	73
46	15	30	30	50	30	0.05	110
47	5	50	30	30	30	0.05	102
48	15	50	20	30	30	0.15	108
49	15	50	20	50	50	0.05	110
50	5	50	20	30	30	0.05	83
51	5	30	30	50	30	0.05	75
52	15	30	20	50	30	0.15	99
53	5	50	30	30	50	0.15	103
54	15	30	30	30	30	0.15	111
55	15	30	20	50	50	0.15	116
56	15	50	20	50	50	0.15	119
57	5	50	20	30	50	0.15	92
58	5	50	20	50	30	0.15	85
59	5	30	20	50	50	0.05	76
60	15	30	20	30	50	0.15	106
61	15	50	20	30	50	0.05	123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย (ต่อ)

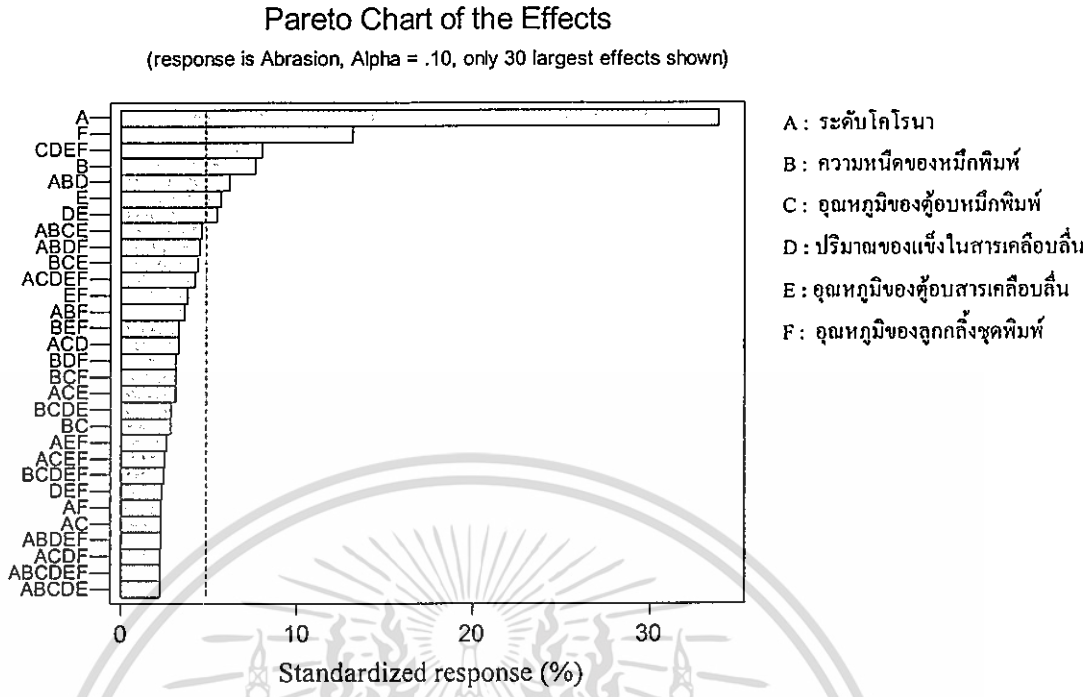
การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
62	15	30	30	30	30	0.05	119
63	5	50	20	50	30	0.05	88
64	15	50	30	30	30	0.05	127
65	5	30	30	30	30	0.15	98

จากตารางที่ 4.3 ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ของเทปกาวพอลิโพรพิลีนสามารถใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ ดังนี้

4.2.2 การวิเคราะห์ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์เพื่อหาตัวแปรที่มีนัยสำคัญโดยโปรแกรมมินิแทป

4.2.2.1 การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีนัยสำคัญด้วยผังพาเรโตโดยโปรแกรมมินิแทป พิจารณาจากรูปที่ 4.8 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ คือ ตัวแปรที่มีค่าในแนวแกน x สูงกว่าเส้นประ ซึ่งคือ เส้นแสดงค่าของอัลฟ่าเท่ากับ 0.1 โดยที่ 1 - อัลฟา คือ ค่าของระดับความเชื่อมั่น โดยทั่วไปจะวิเคราะห์ผลการทดลองที่อัลฟา 0.1 คือ ที่ค่าระดับความเชื่อมั่น 0.9 หรือ 90 % ดังนั้นตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ของเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย คือ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น

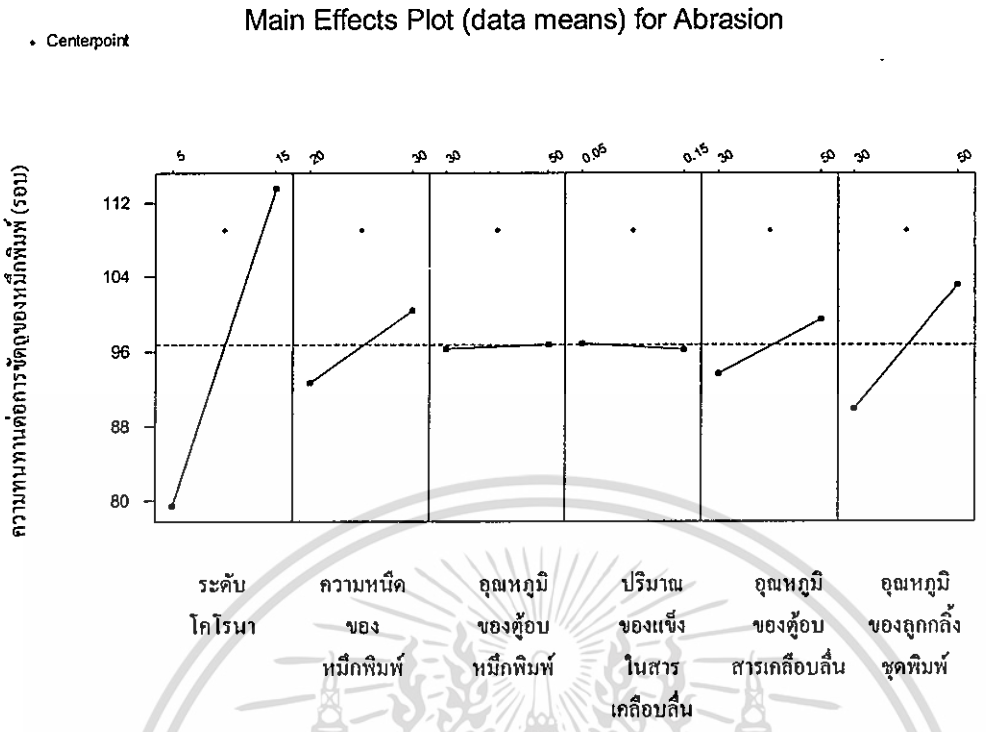
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ผังพาเรโตแสดงตัวแปรในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

4.2.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรกับผลการทดลองโดยใช้ Main effects plot พิจารณาจากรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 Main effects plot ของตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

จากรูปที่ 4.9 เส้นกราฟของระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นเป็นเส้นตรงมีความชันในเชิงบวกอย่างชัดเจนกับค่าของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ หมายความว่าระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ เมื่อระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นสูงขึ้นการยึดติดของหมึกพิมพ์จะดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 2, 11, 23 และ 33 ในตารางที่ 4.3 สำหรับเส้นกราฟของอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นมีความชันในเชิงบวกเช่นกัน แต่มีนัยสำคัญน้อยกว่าระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ และความหนืดของหมึกพิมพ์ เส้นกราฟของอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์มีความชันในเชิงบวกแต่น้อยมาก แสดงว่าแม้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์จะทำให้ค่าของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์เพิ่มขึ้นแต่ผลกระทบน้อยมาก เส้นกราฟของปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นมีความชันในเชิงลบแต่น้อยมาก แสดงว่าแม้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

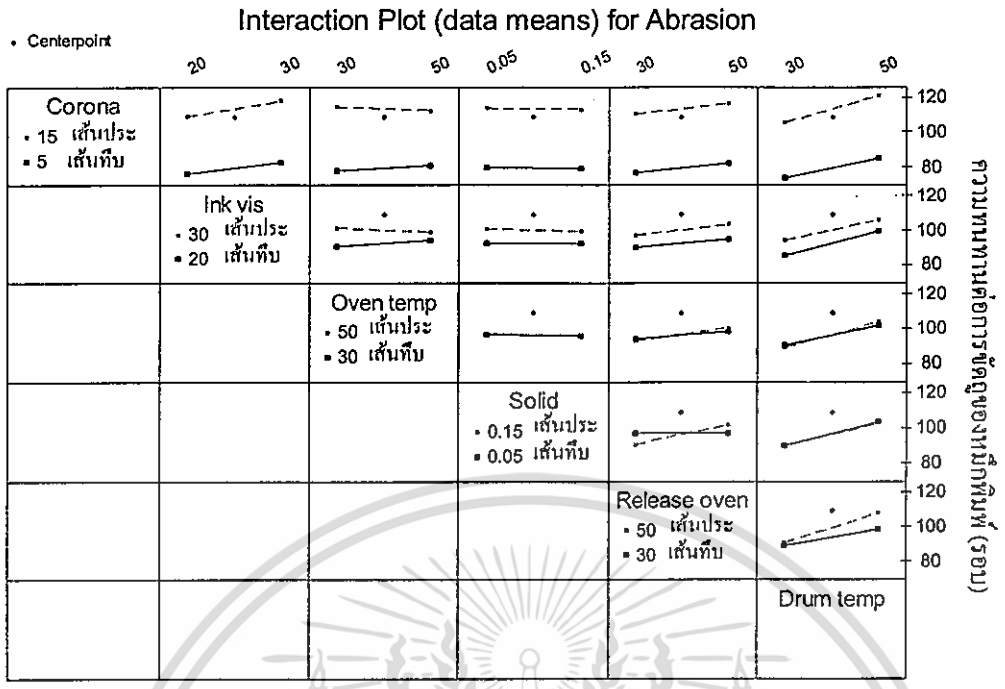
การเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นจะทำให้ค่าของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ลดลงแต่ผลกระทบน้อยมาก

4.2.2.3 การวิเคราะห์อันตรกิริยาระหว่างตัวแปรต่อค่าของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ แสดงในรูปที่ 4.10 จากรูปพบว่ามีการตัดกันของเส้นทึบและเส้นประจำนวน 6 ช่อง ดังนั้นตัวแปรที่มีอันตรกิริยาต่อกัน คือ

1. อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์กับอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น
2. อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์กับปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น
3. อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์กับอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์
4. อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นกับปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น
5. อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นกับอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์
6. ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นกับอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์

4.2.2.4 การวิเคราะห์ค่าของตัวแปรที่ให้ผลการทดลองที่ต้องการโดยใช้ Cube plot ดังรูปที่ 4.11 จากรูปพบว่าผลการทดลองที่ต้องการ คือ ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูงสุดที่ 138 รอบ ค่าของตัวแปรที่มีนัยสำคัญที่ให้ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์สูงสุดนี้ คือ ระดับโคโรนาที่ 15 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 50 °ซ ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 30 วินาที และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นที่ 50 °ซ

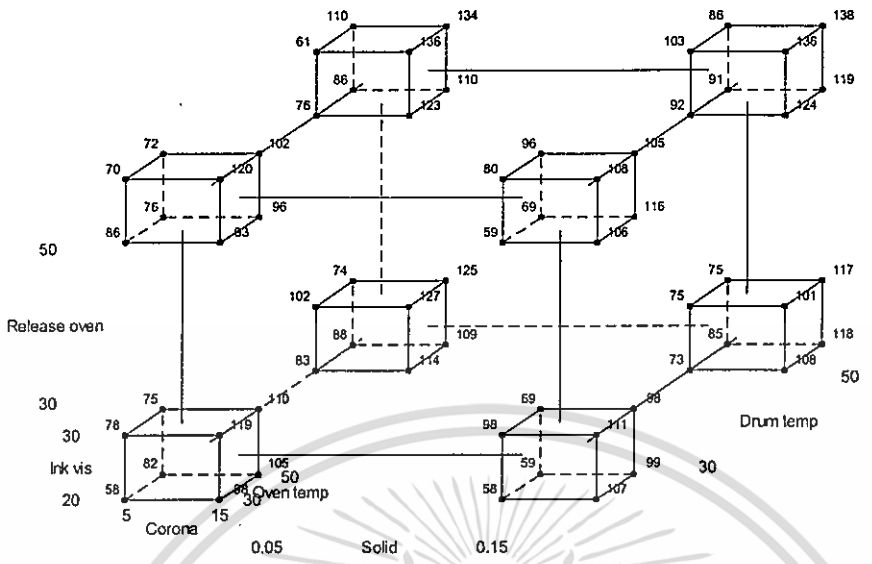
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Corona	:	ระดับโคโรนา
Ink vis	:	ความหนืดของหมึกพิมพ์
Oven temp	:	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์
Solid	:	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น
Release oven	:	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น
Drum temp	:	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์
Ink abrasion resistance	:	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์

รูปที่ 4.10 Interaction plot ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Corona	:	ระดับโคโรนา
Ink vis	:	ความหนืดของหมึกพิมพ์
Oven temp	:	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์
Solid	:	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น
Release oven	:	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น
Drum temp	:	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์

รูปที่ 4.11 Cube plot ของค่าการทดลองและค่าตัวแปรต่างๆ ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

4.2.3 การออกแบบการทดลองสำหรับตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

แม้ว่าจาก Main effects plot ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย คือ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ ความหนืดของหมึกพิมพ์ และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น แต่จากผังพาเรโตรูปที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นมีนัยสำคัญต่อความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์น้อยมาก ดังนั้นในการกำหนดสภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญสำหรับใช้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานในการผลิตระดับอุตสาหกรรม จึงใช้โปรแกรมมินิแทปออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยหรือตัวแปร 3 ตัวแปรเท่านั้น คือ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ และความหนืดของหมึกพิมพ์เพื่อลดจำนวนชุดการทดลอง ระดับของโคโรนา 5 ระดับที่ศึกษา คือ 10, 11, 12, 13 และ 14 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ 3 ระดับที่ 40, 45 และ 50 °ซ (จากข้อมูลของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย พบว่าที่อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์สูงกว่า 40 °ซ เทปกาวพิมพ์ลายมีค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์มากกว่า 100 รอบ ซึ่งเป็นค่ากำหนดของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของตลาดเทปกาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์) และระดับของความหนืดของหมึกพิมพ์ 3 ระดับที่ 20, 25 และ 30 วินาที ไม่มีการทำการทดลองซ้ำ คือ การทดลองซ้ำเท่ากับ 1 จะได้การทดลองจำนวน 45 แบบการทดลอง ในแต่ละแบบของการทดลองตรวจสอบผลการทดลองจำนวน 5 ครั้ง และควบคุมอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นคงที่ที่ 30 °ซ เนื่องจากการควบคุมที่อุณหภูมิต่ำประหยัดค่าใช้จ่ายและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นที่ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากการใช้ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นต่ำประหยัดต้นทุนการใช้วัตถุดิบ ทั้งนี้ค่าของตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ดังกล่าวจะต้องไม่ทำให้ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ต่ำกว่า 100 รอบ ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์เฉลี่ยที่ตรวจสอบ 5 ครั้ง จากแต่ละแบบการทดลอง

ตารางที่ 4.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
1	12	50	20	104
2	12	50	25	106
3	14	40	25	112
4	14	45	20	120
5	11	50	25	102
6	14	50	20	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
7	14	40	20	119
8	13	50	20	115
9	12	50	30	113
10	10	45	30	110
11	11	45	30	112
12	10	45	20	102
13	13	40	25	114
14	14	50	30	134
15	12	45	30	112
16	12	40	25	109
17	12	40	20	105
18	11	40	20	105
19	11	45	20	107
20	13	50	25	121
21	10	50	20	110
22	13	40	30	119
23	14	45	30	121
24	11	50	30	109
25	11	40	25	105
26	11	50	20	110
27	10	40	25	103
28	14	50	25	134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)
29	11	40	30	107
30	12	45	25	113
31	13	45	30	120
32	10	40	30	104
33	14	45	25	122
34	10	40	20	100
35	12	45	20	115
36	14	40	30	123
37	10	45	25	102
38	13	45	20	118
39	12	40	30	109
40	13	45	25	119
41	10	50	30	106
42	10	50	25	105
43	13	40	20	116
44	13	50	30	120
45	11	45	25	107

สภาวะที่เหมาะสมของแต่ละตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย สำหรับผลิตภัณฑ์เทปกาวพิมพ์ลายที่มีค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 100 รอบ คือ ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ และความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าตั้งแต่ 10, 40 °ซ และ 20 วินาที ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรมมินิแทปสามารถวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของตัวแปรได้จากค่า P และความน่าเชื่อถือของจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จากค่า R-sq ถ้าค่า P ของตัวแปรใดมีค่าต่ำกว่า 0.05 หมายความว่าตัวแปรนั้นจะมีผลกระทบต่อผลการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ และถ้าค่า R-sq มากกว่า 70 % แสดงว่าการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือสามารถใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดสภาวะการผลิตสำหรับมาตรฐานการปฏิบัติงาน [26, 30] การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์จากสภาวะต่างๆ ในตารางที่ 4.4 ด้วยโปรแกรมมินิแทป แสดงดังรูปที่ 4.12

ค่า P ของระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ และความหนืดของหมึกพิมพ์เท่ากับ 0, 0.005 และ 0.043 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรทั้งสามมีนัยสำคัญ

จากรูป ค่า R-sq คือ 78.0 % แสดงว่าผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และพบว่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนผิวหน้าเทปกาวมีความสัมพันธ์กับระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ และความหนืดของหมึกพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Regression analysis : Abrasion versus corona level, printing drum temperature and ink viscosity

The regression equation is

Abrasion = 26.7 + 4.87 Corona level + 0.440 Printing drum temperature + 0.307 Ink viscosity

Predictor	Coef.	SE coef.	T	P
Constant	26.711	9.135	2.92	0.006
Corona level	4.8667	0.4241	11.48	0.000
Printing drum temperature	0.4400	0.1469	3.00	0.005
Ink viscosity	0.3067	0.1469	2.09	0.043

S = 4.02324 R-sq = 78.0 % R-sq (adj) = 76.3 %

Analysis of variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	2347.33	782.44	48.34	0.000
Residual error	41	663.64	16.19		
Total	44	3010.98			

Source	DF	Seq SS
Corona level	1	2131.60
Printing drum temperature	1	145.20
Ink viscosity	1	70.53

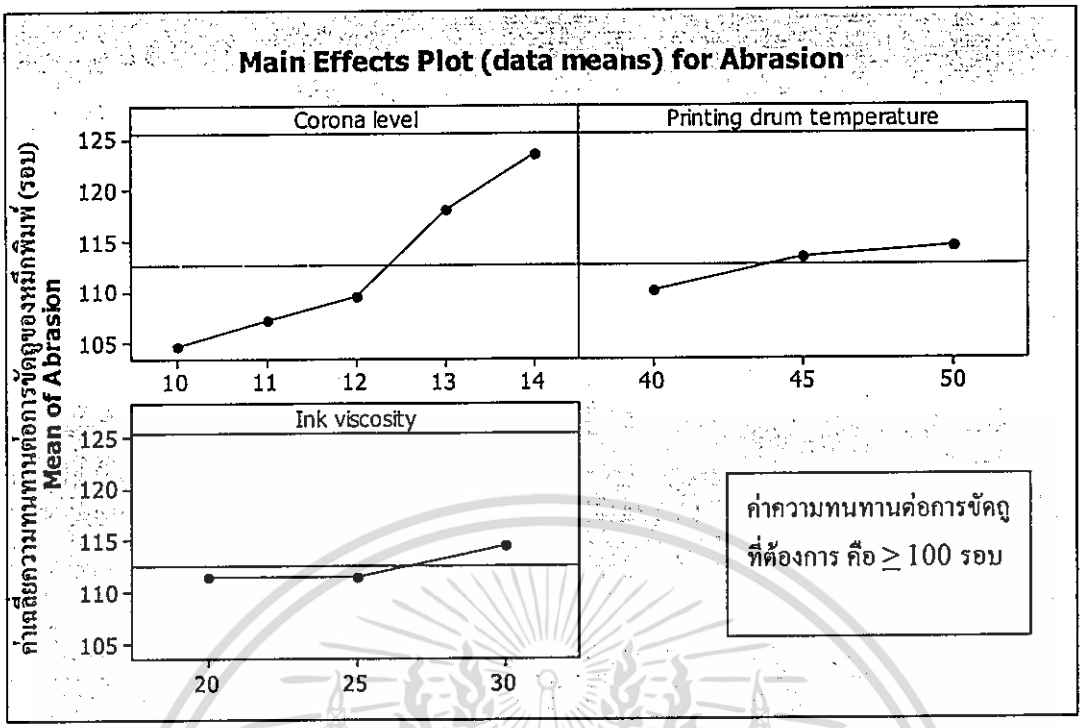
รูปที่ 4.12 ข้อมูลการวิเคราะห์การถดถอยของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญ

สามารถวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญได้จาก Main effects plot จากรูปที่ 4.13 พบว่าระดับโคโรนาตั้งแต่ 10 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ตั้งแต่ 40 °ซ และความหนืดของหมึกพิมพ์ตั้งแต่ 20 วินาที ให้ค่าความทนทานต่อการขัดถูที่มากกว่า 100 รอบ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของตลาดเทปกาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นจึงกำหนดการควบคุมระดับโคโรนาที่12 ± 2 เนื่องจากระดับโคโรนาที่ 12 เป็นค่ากำหนดเฉพาะที่ไม่เสี่ยงถ้าระดับโคโรนาสูงหรือต่ำเกินพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบนและด้านล่าง กำหนดความคลาดเคลื่อนที่ ± 2 เนื่องจากเป็นช่วงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะที่สามารถควบคุมระดับโคโรนาได้ไม่เข้มงวดเกินไป ตั้งค่าสภาวะของอุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 °ซ เนื่องจากเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่เพียงพอและไม่เสี่ยงเมื่ออุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์สูงหรือต่ำเกินพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านบนและด้านล่าง และกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ ± 5 °ซ เนื่องจากเป็นช่วงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะที่สามารถควบคุมระดับโคโรนาได้ไม่เข้มงวดเกินไป และตั้งค่าสภาวะของความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 5 วินาที เนื่องจากเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่เพียงพอและไม่เสี่ยงเมื่อความหนืดของหมึกพิมพ์มีค่าต่ำเกินพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง และกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ ± 5 วินาที เนื่องจากเป็นช่วงพิกัดของข้อกำหนดเฉพาะที่สามารถควบคุมได้ไม่เข้มงวดเกินไป ผลของการวัดความสามารถกระบวนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเมื่อใช้การปฏิบัติงานตามมาตรฐานสภาวะการผลิตดังกล่าวเป็นระยะเวลา 12 เดือน ช่วงเดือน ก.ค. 2547 – มิ.ย. 2548 แสดงดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



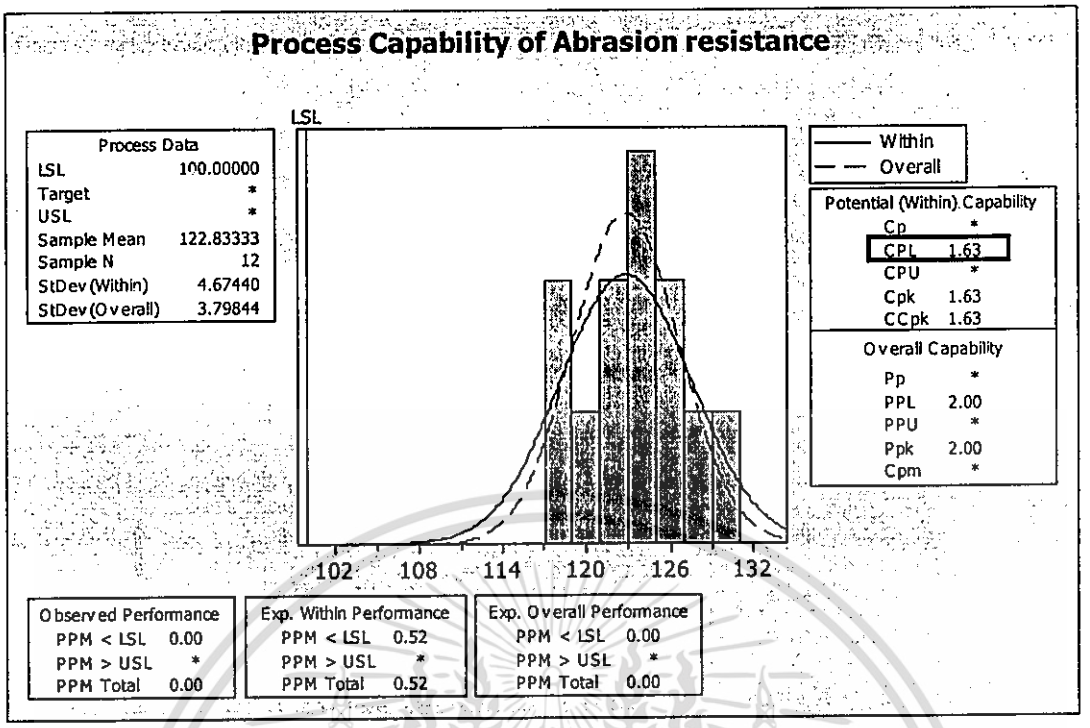
Corona level : ระดับโคโรนา

Printing drum temperature : อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์

Ink viscosity : ความหนืดของหมึกพิมพ์

รูปที่ 4.13 Main effects plot เพื่อวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ดัชนีวัดความสามารถจากการปฏิบัติงานตามมาตรฐานการผลิตที่ได้จากการทดลองของกระบวนการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

จากรูป ค่า C_p ที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ 1.63 ซึ่งสูงกว่าค่า 1.33 แสดงว่าสภาวะการผลิตที่กำหนดไว้เหมาะสมดี กระบวนการพิมพ์มีเสถียรภาพ ไม่มีความผันแปรของกระบวนการ จึงไม่ต้องมีการปรับปรุงใดๆ [30-31]

4.3 ผลการทดลองการผลิตเทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลายในระดับอุตสาหกรรมด้วยการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวโดยใช้สภาวะการผลิตจากผลการวิจัย

ผลการทดลองของการผลิตในระดับอุตสาหกรรมเมื่อใช้การปฏิบัติงานตามมาตรฐานสภาวะการผลิตจากงานวิจัยเป็นระยะเวลา 12 เดือน ช่วงเดือน ก.ค. 2547 – มิ.ย. 2548 ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ของผลิตภัณฑ์เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ใช้สภาวะการผลิตจากผลของงานวิจัยนี้

เดือน	ค่าเฉลี่ยของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)	
	เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย	เทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย
ก.ค. 2547	122	119
ส.ค. 2547	114	127
ก.ย. 2547	115	121
ต.ค. 2547	130	129
พ.ย. 2547	123	118
ธ.ค. 2547	124	124
ม.ค. 2548	125	123
ก.พ. 2548	121	125
มี.ค. 2548	123	124
เม.ย. 2548	119	126
พ.ค. 2548	124	117
มิ.ย. 2548	122	121

หมายเหตุ

ค่ากำหนดเฉพาะของตลาดเทปกาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ คือ ความทนทานต่อการขัดถู ≥ 100 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

หลักการกำหนดสภาวะของตัวแปรในกระบวนการผลิตใหม่สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม มีดังนี้

1. ออกแบบการทดลองและทดลองในกระบวนการผลิตทดสอบเพื่อเลือกตัวแปรที่มีนัยสำคัญ
2. ออกแบบการทดลองและทดลองผลิตเพื่อกำหนดค่าสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของตัวแปรที่มีนัยสำคัญ
3. ผลิตในระดับอุตสาหกรรมตามสภาวะการผลิตที่ได้จากการทดลอง
4. วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตเพื่อประเมินศักยภาพของกระบวนการ และเตรียมการปรับปรุงในกรณีที่จำเป็น

5.1 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

คุณภาพของเทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลายสำหรับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พิจารณาจากความสามารถในการยึดติดของหมึกพิมพ์บนผิวของเทปกาว จากค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ ซึ่งวัดด้วยเครื่อง Taber abraser โดยนับจำนวนรอบของการขัดถูที่ความเร็วรอบของการขัดถู 60 รอบต่อนาที และน้ำหนักกด 1 กิโลกรัม จนกระทั่งหมึกพิมพ์หลุดจากผิวหน้าของเทปกาวพอลิโพรพิลีน โดยทั่วไปคุณภาพของผลิตภัณฑ์เทปกาวพอลิโพรพิลีนในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ยอมรับที่ค่ากำหนดเฉพาะของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์มากกว่าหรือเท่ากับ 100 รอบ การใช้โปรแกรมมินิแทปช่วยออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลและวิเคราะห์ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ พบว่าตัวแปรที่มีนัยสำคัญและค่าของตัวแปรนั้นต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย แสดงดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สภาวะการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ	ค่ากำหนดเฉพาะ	ความคลาดเคลื่อนยินยอม
อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์	45 °ซ	± 5 °ซ
ความหนืดของหมึกพิมพ์	25 วินาที	± 3 วินาที

อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์และความหนืดของหมึกพิมพ์มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ ทั้งนี้ควบคุมอุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์และอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์คงที่ที่ 30 °ซ เนื่องจากการควบคุมที่อุณหภูมิต่ำประหยัดค่าใช้จ่ายและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

5.2 ตัวแปรที่มีนัยสำคัญต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญและค่าของตัวแปรนั้นต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ให้ค่ากำหนดเฉพาะของความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ตามต้องการของผลิตภัณฑ์เทปกาวสำหรับอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สภาวะการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทป

ตัวแปรที่มีนัยสำคัญ	ค่ากำหนดเฉพาะ	ความคลาดเคลื่อนยินยอม
ระดับโคโรนา	12	±2
อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์	45 °ซ	± 5 °ซ
ความหนืดของหมึกพิมพ์	25 วินาที	± 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับโคโรนา อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ และความหนืดของหมึกพิมพ์มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ ทั้งนี้ควบคุมอุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์และอุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นคงที่ที่ 30 °ซ เนื่องจากการควบคุมที่อุณหภูมิต่ำประหยัดค่าใช้จ่ายและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และควบคุมปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นคงที่ที่ 0.05 % โดยน้ำหนัก เนื่องจากการควบคุมที่ปริมาณการใช้สารเคลือบลื่นต่ำประหยัดค่าใช้จ่าย

5.3 ข้อเสนอแนะ

ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิว และสามารถควบคุมคุณภาพของเทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลายให้ได้คุณภาพตรงตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด. **3M Thailand Innovation Working for You.** 2545.

[2] Glenn Koch. "Product Trend Report : Film Substrates" **Flexo.,** vol.24, no. 8, Aug. 1999. pp. 21-25.

[3] ข้อมูลการดำเนินงานของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด. 2544.

[4] ข้อมูลสารสนเทศของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด. 2544.

[5] โครงการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. **เอกสารการสอนชุดวิชาหน่วยที่ 1-4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2540.

[6] โครงการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. **เอกสารการสอนชุดวิชาหน่วยที่ 5-10 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2540.

[7] โครงการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. **เอกสารการสอนชุดวิชาหน่วยที่ 11-15 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการพิมพ์.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2540.

[8] Michael J. Adams. **Printing Technology.** 4th ed. New York : Delmar. 1995.

[9] Mike McGuinness. "Better Press-Equipment Decision Making" **Flexo.,** vol.23, no. 6, Jun. 1998. pp. 56–59.

[10] Nelson Siconofi. **Flexography Principles and Practices : Volume 1.** 5th ed. New York : Foundation of Flexographic Technical Association. 1999.

[11] Nelson Siconofi. **Flexography Principles and Practices : Volume 2.** 5th ed. New York : Foundation of Flexographic Technical Association. 1999.

[12] Norm Davister. **The Beginner Flexographer : Volume 2.** New York : Foundation of Flexographic Technical Association. 1987.

[13] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. **เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. 2527.

[14] Anandha M. Rao. **Rheology of Fluid and Semisolid Foods : Principles and Applications.** 1st ed. Meryland : Aspen Publishers. 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] โครงการสาขาวิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. **หลักการพื้นฐานทางเทคโนโลยีเภสัชกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2538.

[16] ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ. **เคมีพื้นผิวและกระแสวิทยาสำหรับการพิมพ์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2539.

[17] John Nettekoven. "Upgrading from Paper to Film Labels" **Flexo.**, vol.22, no. 10, Oct. 1997. pp. 16-23.

[18] บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด. **เอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงานการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน.** 2540.

[19] บริษัท Siat จำกัด. **คู่มือการปฏิบัติงานการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน.** 2544.

[20] Bassemir R. and Krishnan R. "Practical Applications of Surface Energy Measurements in Flexography" **Flexo.**, vol.15, no. 7, Jul. 1990. pp. 31–39.

[21] Cindy L. Kileen. "Dealing with Dot Gain" **GATF World.**, vol.51, no. 6, Jun. 1995. pp. 27–36.

[22] Raymond Barsamian. "Dynamic Control of Dot Gain" **Flexo and Gravure International.**, vol.5, no. 3, Mar. 1999. pp. 21–22.

[23] Michelle R. Spitzinger. "The Reproduction of Extended Gamut Colors for Flexographic Printing" **Flexo.**, vol.25, no. 9, Sep. 2000. pp. 20–61.

[24] Karl Meyer. "From Film to Plate" **Flexo and Gravure International.**, vol.24, no. 3, Mar. 1999. pp. 6–12.

[25] Goran Lindholm. "Ink Transfer in Flexo" **Flexo.**, vol.23, no. 2, Feb. 1998. pp. 40–45.

[26] ปารเมศ ชุติมา. **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

[27] Douglas C. Montgomery. **Design and Analysis of Experiments.** 5th ed. New York : John Wiley & Sons. 2001.

[28] Charles R. Hicks. **Fundamental Concepts in the Design of Experiments.** 4th ed. New York : Saunders College Publishing. 1964.

[29] Thomas J. Lorenzen and Virgil L. Anderson. **Design of Experiments.** 1st ed. New York : Marcel Dekker. 1993.

[30] บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด. **คู่มือการใช้โปรแกรมมินิแทป.** 2540.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[31] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. **การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. 2544.

[32] วันรัตน์ จันทกิจ. **17 เครื่องมือนักคิด.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ซีโน ดีไซด์. 2547.

[33] Hochschule Druck. "The Influence of the Anilox Roller on Ink Transfer in Flexoprinting" **Research Project of the DFTA Technology-Center.** Dec. 1995. pp. 3–9.

[34] Mark Blitshteyn. "Wetting Tension Measurements on Corona-Treated Polymer Films" **Tappi Journal.**, vol.78, no. 3, Mar. 1995. pp. 138–143.

[35] DeGrace J. and Mangin P. "A Mechanistic Approach to Ink Transfer" **Paper Research Institute of Canada.** May 1999. pp. 146–159.

[36] Todd Skidmore. "Effect of Plate Build-Up on Flexographic Tone Reproduction" **Journal of Clemson University.**, vol.21, no. 10, October 1994. pp. 14-24.

[37] Goran Lindholm. "On-Line Measures of Ink Film Thickness in a Flexo Press" **Flexo.**, vol.23, no. 6, Jun. 1998. pp. 337-353.

[38] Thalman W. "Printability of Plastic: Wettability and Adhesion" **Flexo.**, vol.23, no. 2, Feb. 1998. pp. 302–319.

[39] Volker J. "Optimising printability leads to high quality corrugated post-print" **Flexo & Gravure International.**, vol.24, no. 2, Feb. 1999. pp. 6-12.

[40] Galton D. "A study of the effects of the process parameters on the flexographic printing problem dot bridging" **Pigment & Resin Technology.**, vol.33, no. 5, May. 2004. pp. 293-301.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้านบนฟิล์มพอลิโพรพิลีน

วัตถุประสงค์ : เพื่ออธิบายขั้นตอนการพิมพ์

ขอบเขต : การผลิตเทปกาวพิมพ์ลายสำหรับงานบรรจุภัณฑ์

เอกสารอ้างอิง : เอกสารการตรวจสอบคุณภาพเทปกาวในกระบวนการผลิต [18]

ผู้รับผิดชอบ : พนักงานแผนกพิมพ์เทปกาว

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน :

1. ข้อปฏิบัติความปลอดภัย
   - 1.1 ห้ามเดินเครื่องโดยไม่มีพนักงานคุมอยู่หน้าเครื่อง
   - 1.2 สวมรองเท้าเซฟตี้และที่อุดหู
   - 1.3 สวมถุงมือกันความร้อนขณะเปลี่ยนถังกาว
2. วัตถุดิบ
   - 2.1 ม้วนฟิล์มพอลิโพรพิลีน
   - 2.2 กาวชนิดหลอมตัวด้วยความร้อน
   - 2.3 สารเคลือบลื่น
   - 2.4 หมึกพิมพ์
   - 2.5 ไอโซโพรพานอล
   - 2.6 แกนกระดาษ
3. อุปกรณ์
   - 3.1 เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์กลับด้าน
   - 3.2 มีดคัตเตอร์
4. ขั้นตอนการเดินเครื่อง
   - 4.1 ตรวจสอบการเตรียมเครื่อง
     - 4.1.1 เตรียมถังกาว
     - 4.1.2 ใส่ใบมีดที่ชุดตัดและเข้าม้วน
     - 4.1.3 ใส่ม้วนฟิล์มและต่อฟิล์ม
     - 4.1.4 ใส่หมึกพิมพ์ที่มีความหนืดที่ 25 ±5 วินาที และสารเคลือบลื่นที่มีปริมาณของแข็งที่ 0.1 ± 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ตั้งค่าต่างๆ ในการเดินเครื่องพิมพ์ตามมาตรฐานการผลิตดังนี้

4.2.1 กำลังไฟฟ้าของชุดโคโรนาที่ 0.55 ± 0.05 กิโลวัตต์

4.2.2 อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ที่ 40 ± 5 °ซ

4.2.3 อุณหภูมิของชุดถังกาวที่ 120 ± 5 °ซ

4.2.4 อุณหภูมิของชุดหัวไดร์เคลือบกาวที่ 200 ± 5 °ซ

4.2.5 อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ 10 ± 5 °ซ

4.2.6 อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นที่ 45 ± 5 °ซ

4.2.7 ความเร็วของม้วนฟิล์มที่ 100 เมตรต่อนาที

4.2.8 อุณหภูมิของใบมีดตัดม้วนที่ 40 ± 5 °ซ

4.3 เปิดสวิทช์ไฟที่ตู้ควบคุมทั้งสองตู้

4.4 เช็คสัญญาณไฟเขียวให้ปรากฏคำว่า "Ready"

4.5 เปิดสวิทช์ไฟที่ชุดหัวไดร์เพื่อไล่กาวเก่าที่เสื่อมสภาพบริเวณผิวหน้าออก

4.6 รอจนกระทั่งกาวไหลเรียบตลอดแนวของแท่งปาดกาวจึงปิดปุ่ม "Die purge" โดนหมุนมาที่ "OfF"

4.7 หมุนปุ่ม "Die" มาที่ "Auto" เพื่อให้ชุดหัวไดร์ทำการเคลือบกาวแบบอัตโนมัติ

4.8 กดปุ่ม "Start" เพื่อเดินเครื่อง

4.9 ถอดม้วนเทปกาวที่ตัดคัทแรกออกและตรวจสอบน้ำหนักของกาวที่เคลือบ ลวดลายพิมพ์ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์

4.10 หมั่นตรวจสอบปริมาณของหมึกพิมพ์ สารเคลือบลื่น ม้วนฟิล์ม และกาว พร้อมทั้งเติมให้ได้ระดับในขณะที่เครื่องทำงานอยู่

4.11 กรณีเกิดปัญหาฉุกเฉินให้กดปุ่ม "Stop" หรือ "E stop" เพื่อหยุดเครื่อง

4.12 กรณีกดปุ่ม "E stop" ก่อนเดินเครื่องครั้งต่อไปให้กดปุ่ม "Reset" แล้วทำซ้ำข้อ 4.3-4.10

4.13 ม้วนเทปกาวสำเร็จรูปที่มีปัญหาม้วนเทปแอ่นตัว ม้วนเทปไม่ตรงกับแกนกระดาษ หรือม้วนเทปด้านข้างไม่เรียบ สามารถนำกลับมาแก้ไขโดยการลอกออกแล้วเข้าม้วนใหม่อีกครั้งได้ ส่วนม้วนเทปที่ไม่สามารถแก้ไขได้ให้แยกออกเพื่อดำเนินการกำจัดต่อไป

4.14 ติดฉลาก แล้วบรรจุลงกล่องตามมาตรฐานการบรรจุสินค้าเทปกาวพิมพ์ลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

มาตรฐานการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีและโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

วัตถุประสงค์	:	เพื่ออธิบายขั้นตอนการพิมพ์
ขอบเขต	:	การผลิตเทปกาวพิมพ์ลายสำหรับงานบรรจุภัณฑ์
เอกสารอ้างอิง	:	เอกสารการตรวจสอบเทปกาวในกระบวนการผลิต [19]
ผู้รับผิดชอบ	:	พนักงานแผนกพิมพ์เทปกาว
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	:	

1. ข้อปฏิบัติความปลอดภัย
   - 1.1 ห้ามเดินเครื่องโดยไม่มีพนักงานคุมอยู่หน้าเครื่อง
   - 1.2 สวมรองเท้าเซฟตี้และที่อุดหู
2. วัตถุดิบ
   - 2.1 ม้วนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีและไม่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมี
   - 2.2 หมึกพิมพ์
   - 2.3 ไอโซโพรพานอล
   - 2.4 แกนกระดาษ
   - 2.5 สารเคลือบลื่น
3. อุปกรณ์
   - 3.1 เครื่องพิมพ์เฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิว
   - 3.2 มีดคัตเตอร์
4. ขั้นตอนการเดินเครื่อง
   - 4.1 ตรวจสอบการเตรียมเครื่องและใส่ใบมีดที่ชุดตัดและเข้าม้วน
   - 4.2 ตั้งค่าต่างๆ ในการเดินเครื่องตามมาตรฐานกระบวนการผลิตดังนี้
     - 4.2.1 ตั้งค่าสภาวะการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.1 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 °ซ ซึ่งเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่ได้จากผลการวิจัย

4.2.1.2 ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 3 วินาที วัดด้วย Zahn cup #2 ซึ่งเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่ได้จากผลการวิจัย

4.2.1.3 อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ที่ 30 °ซ

4.2.1.4 ความเร็วของเครื่องพิมพ์ที่ระดับ 10 ซึ่งมีค่าประมาณ 100 เมตรต่อนาที

4.2.1.5 ป้อนม้วนเทปที่มีการปรับผิวหน้าโดยวิธีทางเคมีที่ส่วนป้อนม้วน

4.2.2 ตั้งค่าสภาวะการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนา (ไม่มีการปรับผิวหน้าโดยวิธีทางเคมี) ก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายดังนี้

4.2.2.1 ระดับโคโรนาที่ 12 ± 2 ซึ่งเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่ได้จากผลการวิจัย

4.2.2.2 อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ที่ 45 ± 5 °ซ ซึ่งเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่ได้จากผลการวิจัย

4.2.1.3 ความหนืดของหมึกพิมพ์ที่ 25 ± 5 วินาที วัดด้วย Zahn cup #2 ซึ่งเป็นค่ากำหนดเฉพาะที่ได้จากผลการวิจัย

4.2.2.4 อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ที่ 30 °ซ

4.2.2.5 อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่นที่ 30 °ซ

4.2.2.6 ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นที่ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.2.2.7 ความเร็วของเครื่องพิมพ์ที่ระดับ 10 ซึ่งมีค่าประมาณ 100 เมตรต่อนาที

4.3 เปิดสวิทช์ที่ตู้ควบคุมและกดปุ่ม "Start" เพื่อเดินเครื่อง สัญญาณไฟสีเขียวจะปรากฏขึ้น

4.4 เมื่อได้ความยาวเทปตามต้องการ แกนหมุนเทปและความเร็วเครื่องจะลดลงโดยอัตโนมัติ ใช้มีดตัดเทปกาวใต้แกนหมุน ดึงปลายของเทปกาวมาพันรอบแกนกระดาษชุดต่อไป

4.5 กดปุ่ม "Start" เพื่อเร่งความเร็วและเข้าสู่รอบการทำงานใหม่

4.6 ถอดเทปกาวพิมพ์ลายที่ตัดและเข้าม้วนแล้วออก ใส่แกนกระดาษชุดใหม่เพื่อเตรียมสำหรับม้วนเทปกาวพิมพ์ลายรอบต่อไป

4.7 ตรวจสอบลวดลายพิมพ์และวัดค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ ถ้าผลการทดสอบไม่ได้ตามมาตรฐานให้แจ้งหัวหน้างานทราบเพื่อตรวจสอบหรือปรับสภาวะการผลิตให้ได้คุณภาพตามมาตรฐาน แล้วเดินเครื่องตามปกติ

4.8 ตรวจสอบและเติมระดับของหมึกพิมพ์ในขณะที่เครื่องกำลังเดินอยู่

4.9 กรณีเกิดปัญหาฉุกเฉินให้กดปุ่ม "Stop" หรือ "E stop" เพื่อหยุดเครื่อง

4.10 กรณีกดปุ่ม "E stop" ก่อนเดินเครื่องครั้งต่อไปให้กดปุ่ม "Reset" แล้วทำซ้ำข้อ 4.3-4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

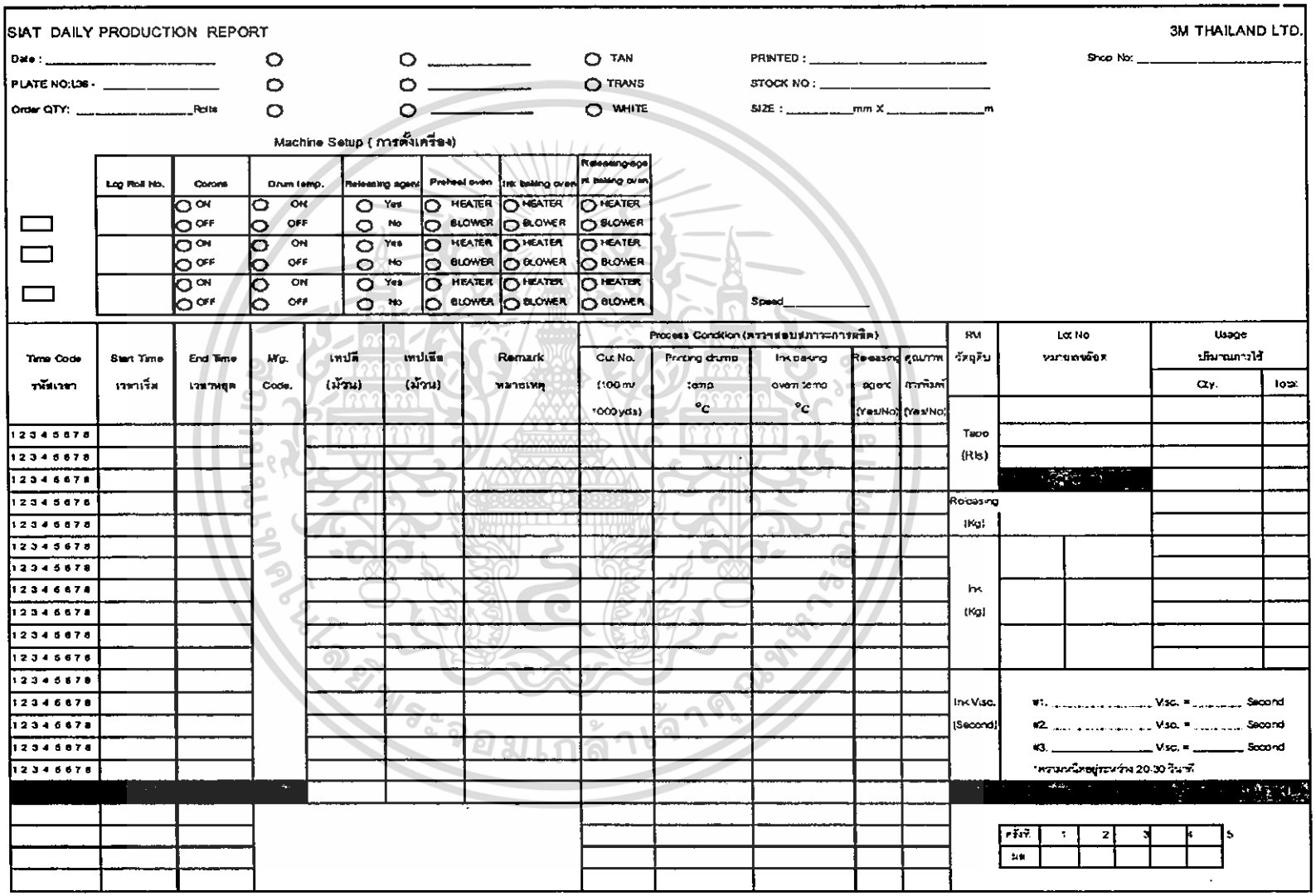
4.11 ม้วนเทปกาวสำเร็จรูปที่มีปัญหาม้วนเทปแอ่นตัว ม้วนเทปไม่ตรงกับแกนกระดาษ หรือม้วนเทปด้านข้างไม่เรียบ สามารถนำกลับมาแก้ไขโดยการลอกออกแล้วเข้าม้วนใหม่อีกครั้งได้ ส่วนม้วนเทปที่ไม่สามารถแก้ไขได้ให้แยกออกเพื่อดำเนินการกำจัดต่อไป

4.12 ติดฉลาก แล้วบรรจุลงกล่องตามมาตรฐานการบรรจุสินค้าเทปกาวพิมพ์ลาย

4.13 บันทึกการตรวจสอบการผลิตในแบบฟอร์มการตรวจสอบผลการผลิตเทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลายด้วยเครื่องพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟีแบบพิมพ์พื้นผิวที่ใช้สภาวะการผลิตจากผลการวิจัย ดังรูปที่ ข.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๓.๑ แบบฟอร์มการรายงานผลการปฏิบัติงานประจำวันของพนักงานผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตเทปกาวสองหน้า



SIAT DAILY PRODUCTION REPORT

3M THAILAND LTD.

Date : _____ ○ ○ _____ ○ TAN PRINTED : _____ Shop No: _____

PLATE NO:L36 - _____ ○ ○ _____ ○ TRANS STOCK NO : _____

Order QTY: _____Rolls ○ ○ _____ ○ WHITE SIZE : _____mm X _____m

Machine Setup (การตั้งเครื่อง)

Log Roll No.	Corona	Drum temp.	Releasing agent	Preheat oven	Ink baking oven	Releasing-agent baking oven
	○ ON ○ OFF	○ ON ○ OFF	○ Yes ○ No	○ HEATER ○ BLOWER	○ HEATER ○ BLOWER	○ HEATER ○ BLOWER
	○ ON ○ OFF	○ ON ○ OFF	○ Yes ○ No	○ HEATER ○ BLOWER	○ HEATER ○ BLOWER	○ HEATER ○ BLOWER
	○ ON ○ OFF	○ ON ○ OFF	○ Yes ○ No	○ HEATER ○ BLOWER	○ HEATER ○ BLOWER	○ HEATER ○ BLOWER

Speed_____

Time Code รหัสเวลา	Start Time เวลาเริ่ม	End Time เวลาหยุด	Mfg. Code.	เทปดี (ม้วน)	เทปเสีย (ม้วน)	Remark หมายเหตุ	Process Condition (ตรวจสอบสภาวะการผลิต) Cut No. (100 m/ *000 yds)	Printing drum temp °C	Ink baking oven temp °C	Releasing agent (Yes/No)	คุณภาพ การพิมพ์ (Yes/No)
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											
12345678											

RM วัตถุดิบ	Lot No หมายเลขล็อต	Usage ปริมาณการใช้ Qty.	Usage ปริมาณการใช้ Total
Tape (Rls)			
Releasing (Kg)			
Ink (Kg)			

Ink Visc. (Second)

#1. _____ Visc. = _____ Second

#2. _____ Visc. = _____ Second

#3. _____ Visc. = _____ Second

*ตรวจหนึ่งครั้งต่อกะ เวลา 20:30 ชั่วโมง

ครั้งที่	1	2	3	4	5
เวลา					

ภาคผนวก ค.

มาตรฐานการทดสอบปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น

วัตถุประสงค์	:	เพื่อใช้สำหรับทดสอบค่าปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น
ขอบเขต	:	การทดสอบค่าปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น
เอกสารอ้างอิง	:	เอกสารวิธีการทดสอบค่าปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น [3]
ผู้รับผิดชอบ	:	เจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
วิธีปฏิบัติ	:	

1. วัสดุและอุปกรณ์
   - 1.1 เครื่องชั่งไฟฟ้า 3 ตำแหน่ง
   - 1.2 ตู้อบ
   - 1.3 ถ้วยอลูมิเนียม
   - 1.4 สารเคลือบลื่นสำหรับทดสอบ
2. วิธีทดสอบ
   - 2.1 ทุกๆ การผสมสารเคลือบลื่นถังใหม่ ฝ่ายผลิตต้องเก็บตัวอย่างประมาณ 200 มิลลิลิตร และแจ้งให้ฝ่ายควบคุมคุณภาพทราบ เพื่อทดสอบหาค่าปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น
   - 2.2 ชั่งถ้วยอลูมิเนียมแล้วบันทึกน้ำหนักไว้ คือ A
   - 2.3 เทสารเคลือบลื่นลงในถ้วยอลูมิเนียมประมาณ 10 กรัม บันทึกน้ำหนัก คือ B
   - 2.4 วางถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบที่อุณหภูมิ 120 °ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
   - 2.5 นำถ้วยอลูมิเนียมออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นเป็นเวลา 5 นาที ตรวจดูของเหลวในถ้วยควรแห้งหมดแล้ว
   - 2.6 ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่มีสารตัวอย่างหลังการอบ บันทึกน้ำหนัก คือ C
   - 2.7 คำนวณค่าปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นจากสมการ

$$(C-A) \times 100 / (B-A) \qquad \text{(ค-1)}$$

   - 2.8 ทำการทดสอบซ้ำสำหรับตัวอย่างที่สอง
   - 2.9 บันทึกค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่นจากทั้งสองตัวอย่างลงในรายงานผลการทดสอบปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

มาตรฐานการทดสอบค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ของผลิตภัณฑ์เทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลาย

วัตถุประสงค์	:	เพื่อใช้สำหรับทดสอบค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ของผลิตภัณฑ์เทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลาย
ขอบเขต	:	การทดสอบค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ ที่ความเร็วรอบของการขัดถู 60 รอบต่อนาที ภายใต้น้ำหนักกด 1 กิโลกรัม
เอกสารอ้างอิง	:	เอกสารวิธีการทดสอบค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ [3]
ผู้รับผิดชอบ	:	เจ้าหน้าที่ฝ่ายควบคุมคุณภาพ
วิธีปฏิบัติ	:	

1. วัสดุและอุปกรณ์
   - 1.1 Taber abraser
   - 1.2 ชุดเครื่องดูดฝุ่น
   - 1.3 ชิ้นงานเทปกาวพิมพ์ลาย
   - 1.4 แผ่นสแตนเลสทดสอบ
2. วิธีทดสอบ
   - 2.1 พนักงานควรสวมแว่นตาเพื่อป้องกันฝุ่นที่ได้จากการขัดถูกระเด็นเข้าตาขณะปฏิบัติงาน
   - 2.2 เตรียมชิ้นงาน โดยการทำความสะอาดแผ่นสแตนเลสทดสอบแล้วติดชิ้นงานเทปกาวพิมพ์ลายเต็มผิวหน้าของแผ่นสแตนเลส โดยให้ด้านที่พิมพ์หมึกพิมพ์อยู่ด้านบน
   - 2.3 ใส่แหวนน้ำหนัก 1 กิโลกรัมที่แกนถ่วงน้ำหนักของเครื่อง Taber abraser หมุนล็อคให้แน่น
   - 2.4 เปิดสวิทช์เครื่อง และตั้งค่ารอบที่ 1000 รอบ โดยเครื่องจะหยุดขัดอัตโนมัติเมื่อหมุนแผ่นชิ้นงานทดสอบครบ 1000 รอบ
   - 2.5 เปิดสวิทช์เครื่องดูดฝุ่น
   - 2.6 ยึดติดล้อขัดชนิดที่ใช้สำหรับทดสอบงานพิมพ์หมึกพิมพ์ที่แกนของหัวขัดและหมุนให้แน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ติดตั้งแผ่นสแตนเลสทดสอบลงบนแท่นรองขัดโดยให้ด้านที่หมึกพิมพ์อยู่ด้านบนและหมุนสกรูให้แน่น

2.8 กดแกนของหัวขัดลงมาสัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงานทดสอบและกดปุ่ม "Start" เพื่อเดินเครื่องเริ่มการขัดถู

2.9 บันทึกจำนวนรอบขัด ณ จุดที่หมึกพิมพ์ถูกขัดถูจนกระทั่งเห็นสีของผิวเทปกาว

2.10 กดปุ่ม "Stop" เพื่อหยุดการขัดถู และกดปุ่ม "Reset cycle completed key" เพื่อปรับเลขจำนวนรอบให้กลับเป็นเลขศูนย์สำหรับการทดสอบตัวอย่างต่อไป

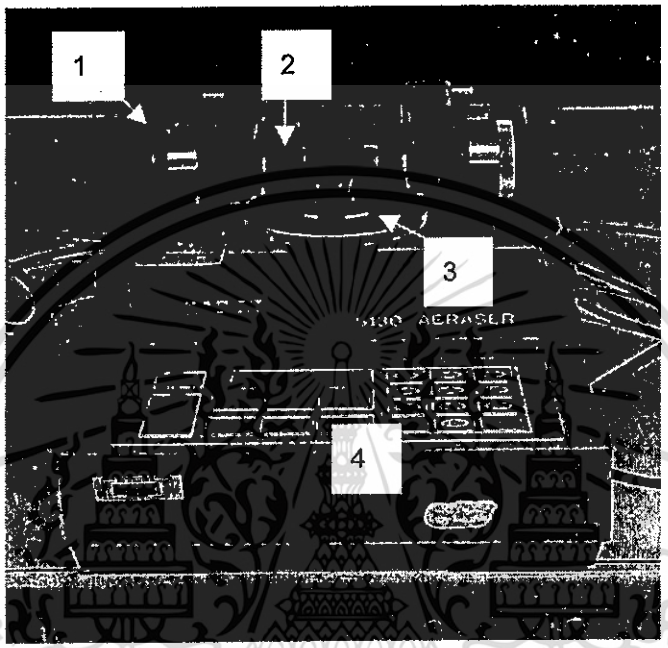
2.11 ทำการทดสอบซ้ำอีกสองตัวอย่างและลงบันทึกค่าเฉลี่ยของทั้งสามตัวอย่างในใบรายงานผลการทดสอบความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนผิวหน้าเทปกาวพอลิโพรพิลีนพิมพ์ลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

คู่มือการใช้เครื่อง Taber abraser

1. ส่วนประกอบของเครื่อง Taber abraser



รูปที่ จ.1 เครื่อง Taber abraser

จากรูป จ.1 เป็นเครื่องมือทดสอบความทนทานต่อการขัดถู รุ่น 5130 ประกอบด้วย

1.1 แหวนน้ำหนัก (1) เป็นวงแหวนถ่วงน้ำหนักมาตรฐานทำจากสแตนเลส มีขนาด 500 กรัม และ 1,000 กรัม ในงานวิจัยนี้ใช้แหวนน้ำหนักขนาด 1,000 กรัม ตามมาตรฐานการทดสอบค่าความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์บนผิวหน้าเทปกาวพิมพ์ลาย [3]

1.2 ล้อขัด (2) เป็นล้อขัดที่มีตั้งแต่ผิวขัดละเอียดจนกระทั้งผิวขัดหยาบ สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการทดสอบความทนทานต่อการขัดถูของวัสดุต่างๆ ชนิดกัน สำหรับงานขัดที่ผิวของหมึกพิมพ์บนวัสดุพลาสติกจะใช้ล้อขัดชนิดผิวขัดปานกลางเบอร์ CS-10

1.3 แท่นรองขัด (3) เป็นแท่นวงกลมหมุนได้รอบตัวสำหรับรองแผ่นสแตนเลสทดสอบ โดยวางแผ่นชิ้นงานทดสอบบนแท่นรองขัดและหมุนหมุดล็อคตรงกลางให้แน่น

1.4 แผงควบคุมจำนวนรอบของการขัดถู (4) สามารถตั้งค่าจำนวนรอบของการขัดถูและอ่านค่าตัวเลขจำนวนรอบของการขัดถูได้ที่จอตัวเลขบนแผงควบคุมนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัสดุที่สามารถทดสอบด้วยเครื่อง Taber abraser ได้แก่

2.1 วัสดุที่มีพื้นผิวหน้าแข็ง เช่น อลูมิเนียม เซรามิก พื้นคอนกรีต เหล็ก ไม้ กระจก วัสดุชุบโลหะด้วยวิธีทางไฟฟ้า วัสดุเคลือบแว็กซ์ หรือสีเคลือบ เป็นต้น

2.2 วัสดุที่มีความยืดหยุ่น เช่น หนังสัตว์ กระดาษ พรม เส้นใยผ้า หรือวัสดุยาง เป็นต้น

3. การวัดค่าและประเมินผลการทดสอบ ทำได้หลายกรณีดังนี้

3.1 นับจำนวนรอบของการขัดถู ณ จุดที่วัสดุเคลือบผิวหลุดออกหมดจากวัสดุที่ถูกเคลือบ (End point method)

3.2 คำนวณน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจากการขัดถูต่อจำนวนรอบของการขัด (Weight loss method)

3.3 คำนวณปริมาตรที่สูญเสียไปหลังการขัดถูต่อจำนวนรอบของการขัด (Volume loss method)

3.4 คำนวณความลึกที่เพิ่มขึ้นจากระดับผิวหน้าของวัสดุทดสอบหลังการขัดถูต่อจำนวนรอบของการขัด (Depth of wear method)

4. การดูแลรักษาเครื่องมือทดสอบ

4.1 ทำความสะอาดฝุ่นผงตกค้างจากการทดสอบด้วยเครื่องดูดฝุ่นให้สะอาดและคลุมด้วยพลาสติกคลุมเครื่องมือ

4.2 หมั่นหยอดน้ำมันหล่อลื่นลูกปืนที่เครื่องมือทดสอบและชุดเครื่องดูดฝุ่น

4.3 ตรวจสอบสภาพของเครื่องมือให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานก่อนการทดสอบทุกครั้ง

4.4 จัดเก็บชิ้นส่วนอะไหล่และส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องไว้ในกล่องและป้องกันไม่ให้แต่ละชิ้นส่วนเกิดการกระแทกกันจนเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Percentage Points of the F Distribution

ตารางที่ ง.1 ตารางการกระจายแบบ F [27] $F_{0.01,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1	Degrees of Freedom for the Numerator (ν_1)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	4052	4999.5	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.05	26.87	26.69	26.00	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

Degrees of Freedom for the Denominator (ν_2)

ตารางที่ ฉ.1 ตารางการกระจายแบบ F (ต่อ) [27]

Percentage Points of the F Distribution

$F_{0.025,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
	Degrees of Freedom for the Numerator (ν_1)																		
Degrees of Freedom for the Denominator (ν_2)																			
1	647.8	799.5	864.2	899.6	921.8	937.1	948.2	956.7	963.3	968.6	976.7	984.9	993.1	997.2	1001	1006	1010	1014	1018
2	38.51	39.00	39.17	39.25	39.30	39.33	39.36	39.37	39.39	39.40	39.41	39.43	39.45	39.46	39.46	39.47	39.48	39.49	39.50
3	17.44	16.04	15.44	15.10	14.88	14.73	14.62	14.54	14.47	14.42	14.34	14.25	14.17	14.12	14.08	14.04	13.99	13.95	13.90
4	12.22	10.65	9.98	9.60	9.36	9.20	9.07	8.98	8.90	8.84	8.75	8.66	8.56	8.51	8.46	8.41	8.36	8.31	8.26
5	10.01	8.43	7.76	7.39	7.15	6.98	6.85	6.76	6.68	6.62	6.52	6.43	6.33	6.28	6.23	6.18	6.12	6.07	6.02
6	8.81	7.26	6.60	6.23	5.99	5.82	5.70	5.60	5.52	5.46	5.37	5.27	5.17	5.12	5.07	5.01	4.96	4.90	4.85
7	8.07	6.54	5.89	5.52	5.29	5.12	4.99	4.90	4.82	4.76	4.67	4.57	4.47	4.42	4.36	4.31	4.25	4.20	4.14
8	7.57	6.06	5.42	5.05	4.82	4.65	4.53	4.43	4.36	4.30	4.20	4.10	4.00	3.95	3.89	3.84	3.78	3.73	3.67
9	7.21	5.71	5.08	4.72	4.48	4.32	4.20	4.10	4.03	3.96	3.87	3.77	3.67	3.61	3.56	3.51	3.45	3.39	3.33
10	6.94	5.46	4.83	4.47	4.24	4.07	3.95	3.85	3.78	3.72	3.62	3.52	3.42	3.37	3.31	3.26	3.20	3.14	3.08
11	6.72	5.26	4.63	4.28	4.04	3.88	3.76	3.66	3.59	3.53	3.43	3.33	3.23	3.17	3.12	3.06	3.00	2.94	2.88
12	6.55	5.10	4.47	4.12	3.89	3.73	3.61	3.51	3.44	3.37	3.28	3.18	3.07	3.02	2.96	2.91	2.85	2.79	2.72
13	6.41	4.97	4.35	4.00	3.77	3.60	3.48	3.39	3.31	3.25	3.15	3.05	2.95	2.89	2.84	2.78	2.72	2.66	2.60
14	6.30	4.86	4.24	3.89	3.66	3.50	3.38	3.29	3.21	3.15	3.05	2.95	2.84	2.79	2.73	2.67	2.61	2.55	2.49
15	6.20	4.77	4.15	3.80	3.58	3.41	3.29	3.20	3.12	3.06	2.96	2.86	2.76	2.70	2.64	2.59	2.52	2.46	2.40
16	6.12	4.69	4.08	3.73	3.50	3.34	3.22	3.12	3.05	2.99	2.89	2.79	2.68	2.63	2.57	2.51	2.45	2.38	2.32
17	6.04	4.62	4.01	3.66	3.44	3.28	3.16	3.06	2.98	2.92	2.82	2.72	2.62	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.25
18	5.98	4.56	3.95	3.61	3.38	3.22	3.10	3.01	2.93	2.87	2.77	2.67	2.56	2.50	2.44	2.38	2.32	2.26	2.19
19	5.92	4.51	3.90	3.56	3.33	3.17	3.05	2.96	2.88	2.82	2.72	2.62	2.51	2.45	2.39	2.33	2.27	2.20	2.13
20	5.87	4.46	3.86	3.51	3.29	3.13	3.01	2.91	2.84	2.77	2.68	2.57	2.46	2.41	2.35	2.29	2.22	2.16	2.09
21	5.83	4.42	3.82	3.48	3.25	3.09	2.97	2.87	2.80	2.73	2.64	2.53	2.42	2.37	2.31	2.25	2.18	2.11	2.04
22	5.79	4.38	3.78	3.44	3.22	3.05	2.93	2.84	2.76	2.70	2.60	2.50	2.39	2.33	2.27	2.21	2.14	2.08	2.00
23	5.75	4.35	3.75	3.41	3.18	3.02	2.90	2.81	2.73	2.67	2.57	2.47	2.36	2.30	2.24	2.18	2.11	2.04	1.97
24	5.72	4.32	3.72	3.38	3.15	2.99	2.87	2.78	2.70	2.64	2.54	2.44	2.33	2.27	2.21	2.15	2.08	2.01	1.94
25	5.69	4.29	3.69	3.35	3.13	2.97	2.85	2.75	2.68	2.61	2.51	2.41	2.30	2.24	2.18	2.12	2.05	1.98	1.91
26	5.66	4.27	3.67	3.33	3.10	2.94	2.82	2.73	2.65	2.59	2.49	2.39	2.28	2.22	2.16	2.09	2.03	1.95	1.88
27	5.63	4.24	3.65	3.31	3.08	2.92	2.80	2.71	2.63	2.57	2.47	2.36	2.25	2.19	2.13	2.07	2.00	1.93	1.85
28	5.61	4.22	3.63	3.29	3.06	2.90	2.78	2.69	2.61	2.55	2.45	2.34	2.23	2.17	2.11	2.05	1.98	1.91	1.83
29	5.59	4.20	1.61	3.27	3.04	2.88	2.76	2.67	2.59	2.53	2.43	2.32	2.21	2.15	2.09	2.03	1.96	1.89	1.81
30	5.57	4.18	3.59	3.25	3.03	2.87	2.75	2.65	2.57	2.51	2.41	2.31	2.20	2.14	2.07	2.01	1.94	1.87	1.79
40	5.42	4.05	3.46	3.13	2.90	2.74	2.62	2.53	2.45	2.39	2.29	2.18	2.07	2.01	1.94	1.88	1.80	1.72	1.64
60	5.29	3.93	3.34	3.01	2.79	2.63	2.51	2.41	2.33	2.27	2.17	2.06	1.94	1.88	1.82	1.74	1.67	1.58	1.48
120	5.15	3.80	3.23	2.89	2.67	2.52	2.39	2.30	2.22	2.16	2.05	1.94	1.82	1.76	1.69	1.61	1.53	1.43	1.31
∞	5.02	3.69	3.12	2.79	2.57	2.41	2.29	2.19	2.11	2.05	1.94	1.83	1.71	1.64	1.57	1.48	1.39	1.27	1.00

ตารางที่ ฉ.1 ตารางการกระจายแบบ F (ต่อ) [27] Percentage Points of the F Distribution

$F_{0.05,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1	Degrees of Freedom for the Numerator (ν_1)																		
Degrees of Freedom for the Denominator (ν_2)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

ตารางที่ ฉ.1 ตารางการกระจายแบบ F (ต่อ) [27]

Percentage Points of the F Distribution

$F_{0.10,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1	Degrees of Freedom for the Numerator (ν_1)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.86	60.19	60.71	61.22	61.74	62.00	62.26	62.53	62.79	63.06	63.33
2	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39	9.41	9.42	9.44	9.45	9.46	9.47	9.47	9.48	9.49
3	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23	5.22	5.20	5.18	5.18	5.17	5.16	5.15	5.14	5.13
4	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92	3.90	3.87	3.84	3.83	3.82	3.80	3.79	3.78	3.76
5	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30	3.27	3.24	3.21	3.19	3.17	3.16	3.14	3.12	3.10
6	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94	2.90	2.87	2.84	2.82	2.80	2.78	2.76	2.74	2.72
7	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70	2.67	2.63	2.59	2.58	2.56	2.54	2.51	2.49	2.47
8	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54	2.50	2.46	2.42	2.40	2.38	2.36	2.34	2.32	2.29
9	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42	2.38	2.34	2.30	2.28	2.25	2.23	2.21	2.18	2.16
10	3.29	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32	2.28	2.24	2.20	2.18	2.16	2.13	2.11	2.08	2.06
11	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25	2.21	2.17	2.12	2.10	2.08	2.05	2.03	2.00	1.97
12	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19	2.15	2.10	2.06	2.04	2.01	1.99	1.96	1.93	1.90
13	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14	2.10	2.05	2.01	1.98	1.96	1.93	1.90	1.88	1.85
14	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.91	1.89	1.86	1.83	1.80
15	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06	2.02	1.97	1.92	1.90	1.87	1.85	1.82	1.79	1.76
16	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	1.99	1.94	1.89	1.87	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72
17	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00	1.96	1.91	1.86	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69
18	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98	1.93	1.89	1.84	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66
19	2.99	2.61	2.40	2.27	2.18	2.11	2.06	2.02	1.98	1.96	1.91	1.86	1.81	1.79	1.76	1.73	1.70	1.67	1.63
20	2.97	2.59	2.38	2.25	2.16	2.09	2.04	2.00	1.96	1.94	1.89	1.84	1.79	1.77	1.74	1.71	1.68	1.64	1.61
21	2.96	2.57	2.36	2.23	2.14	2.08	2.02	1.98	1.95	1.92	1.87	1.83	1.78	1.75	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59
22	2.95	2.56	2.35	2.22	2.13	2.06	2.01	1.97	1.93	1.90	1.86	1.81	1.76	1.73	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57
23	2.94	2.55	2.34	2.21	2.11	2.05	1.99	1.96	1.92	1.89	1.84	1.80	1.74	1.72	1.69	1.66	1.62	1.59	1.55
24	2.93	2.54	2.33	2.19	2.10	2.04	1.98	1.94	1.91	1.88	1.83	1.78	1.73	1.70	1.67	1.64	1.61	1.57	1.53
25	2.92	2.53	2.32	2.18	2.09	2.02	1.97	1.93	1.89	1.87	1.82	1.77	1.72	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52
26	2.91	2.52	2.31	2.17	2.08	2.01	1.96	1.92	1.88	1.86	1.81	1.76	1.71	1.68	1.65	1.61	1.58	1.54	1.50
27	2.90	2.51	2.30	2.17	2.07	2.00	1.95	1.91	1.87	1.85	1.80	1.75	1.70	1.67	1.64	1.60	1.57	1.53	1.49
28	2.89	2.50	2.29	2.16	2.06	2.00	1.94	1.90	1.87	1.84	1.79	1.74	1.69	1.66	1.63	1.59	1.56	1.52	1.48
29	2.89	2.50	2.28	2.15	2.06	1.99	1.93	1.89	1.86	1.83	1.78	1.73	1.68	1.65	1.62	1.58	1.55	1.51	1.47
30	2.88	2.49	2.28	2.14	2.03	1.98	1.93	1.88	1.85	1.82	1.77	1.72	1.67	1.64	1.61	1.57	1.54	1.50	1.46
40	2.84	2.44	2.23	2.09	2.00	1.93	1.87	1.83	1.79	1.76	1.71	1.66	1.61	1.57	1.54	1.51	1.47	1.42	1.38
60	2.79	2.39	2.18	2.04	1.95	1.87	1.82	1.77	1.74	1.71	1.66	1.60	1.54	1.51	1.48	1.44	1.40	1.35	1.29
120	2.75	2.35	2.13	1.99	1.90	1.82	1.77	1.72	1.68	1.65	1.60	1.55	1.48	1.45	1.41	1.37	1.32	1.26	1.19
∞	2.71	2.30	2.08	1.94	1.85	1.77	1.72	1.67	1.63	1.60	1.55	1.49	1.42	1.38	1.34	1.30	1.24	1.17	1.00

Degrees of Freedom for the Denominator (ν_2)

ตารางที่ ฉ.1 ตารางการกระจายแบบ F (ต่อ) [27]

Percentage Points of the F Distribution*

$F_{0.25,\nu_1,\nu_2}$

ν_2 \ ν_1	Degrees of Freedom for the Numerator (ν_1)																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	5.83	7.50	8.20	8.58	8.82	8.98	9.10	9.19	9.26	9.32	9.41	9.49	9.58	9.63	9.67	9.71	9.76	9.80	9.85
2	2.57	3.00	3.15	3.23	3.28	3.31	3.34	3.35	3.37	3.38	3.39	3.41	3.43	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47	3.48
3	2.02	2.28	2.36	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.44	2.44	2.45	2.46	2.46	2.46	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
4	1.81	2.00	2.05	2.06	2.07	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08
5	1.69	1.85	1.88	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.88	1.88	1.88	1.88	1.87	1.87	1.87
6	1.62	1.76	1.78	1.79	1.79	1.78	1.78	1.78	1.77	1.77	1.77	1.76	1.76	1.75	1.75	1.75	1.74	1.74	1.74
7	1.57	1.70	1.72	1.72	1.71	1.71	1.70	1.70	1.70	1.69	1.68	1.68	1.67	1.67	1.66	1.66	1.65	1.65	1.65
8	1.54	1.66	1.67	1.66	1.66	1.65	1.64	1.64	1.63	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.58
9	1.51	1.62	1.63	1.63	1.62	1.61	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.54	1.53	1.53
10	1.49	1.60	1.60	1.59	1.59	1.58	1.57	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48
11	1.47	1.58	1.58	1.57	1.56	1.55	1.54	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.47	1.46	1.45
12	1.46	1.56	1.56	1.55	1.54	1.53	1.52	1.51	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.45	1.44	1.43	1.42
13	1.45	1.55	1.55	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.41	1.40
14	1.44	1.53	1.53	1.52	1.51	1.50	1.49	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.39	1.38
15	1.43	1.52	1.52	1.51	1.49	1.48	1.47	1.46	1.46	1.45	1.44	1.43	1.41	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36
16	1.42	1.51	1.51	1.50	1.48	1.47	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34
17	1.42	1.51	1.50	1.49	1.47	1.46	1.45	1.44	1.43	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33
18	1.41	1.50	1.49	1.48	1.46	1.45	1.44	1.43	1.42	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32
19	1.41	1.49	1.49	1.47	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.30
20	1.40	1.49	1.48	1.47	1.45	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.29
21	1.40	1.48	1.48	1.46	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28
22	1.40	1.48	1.47	1.45	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.39	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28
23	1.39	1.47	1.47	1.45	1.43	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.35	1.34	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27
24	1.39	1.47	1.46	1.44	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.38	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26
25	1.39	1.47	1.46	1.44	1.42	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.32	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25
26	1.38	1.46	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.37	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.25
27	1.38	1.46	1.45	1.43	1.42	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.28	1.27	1.26	1.24
28	1.38	1.46	1.45	1.43	1.41	1.40	1.39	1.38	1.37	1.36	1.34	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24
29	1.38	1.45	1.45	1.43	1.41	1.40	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.26	1.25	1.23
30	1.38	1.45	1.44	1.42	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.30	1.29	1.28	1.27	1.26	1.24	1.23
40	1.36	1.44	1.42	1.40	1.39	1.37	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	1.30	1.28	1.26	1.25	1.24	1.22	1.21	1.19
60	1.35	1.42	1.41	1.38	1.37	1.35	1.33	1.32	1.31	1.30	1.29	1.27	1.25	1.24	1.22	1.21	1.19	1.17	1.15
120	1.34	1.40	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.30	1.29	1.28	1.26	1.24	1.22	1.21	1.19	1.18	1.16	1.13	1.10
∞	1.32	1.39	1.37	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.27	1.25	1.24	1.22	1.19	1.18	1.16	1.14	1.12	1.08	1.00

Degrees of Freedom for the Denominator (ν_2)

ภาคผนวก ช.

ข้อมูลการทดลองของการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟี แบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีน

ตารางที่ ช.1 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

การทดลองที่	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของเทปก่อนพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
					1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1	50	30	50	30	163	161	160	159	161	161
2	50	20	30	30	101	99	97	100	108	101
3	50	20	50	50	109	110	116	110	107	110
4	30	20	50	30	47	46	45	45	42	45
5	30	20	30	50	30	28	28	35	28	30
6	30	20	30	30	39	35	36	37	40	37
7	50	30	30	30	150	149	141	148	147	147
8	30	30	50	30	119	117	116	112	109	115
9	50	20	50	30	100	105	102	103	101	102
10	50	30	50	50	139	142	145	143	145	143
11	50	20	30	50	110	116	117	117	115	115
12	30	30	50	50	110	105	107	105	115	108
13	50	30	30	50	138	137	144	137	136	138
14	40	25	40	40	85	83	80	83	80	82
15	30	30	30	50	80	78	81	73	79	78
16	30	30	30	30	68	71	67	65	68	68
17	30	20	50	50	35	40	41	44	44	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.2 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยวิธีทางเคมีก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
			1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1	30	30	83	78	82	80	79	80
2	30	25	79	75	72	78	77	76
3	45	25	147	151	153	150	147	150
4	35	30	100	105	108	106	104	105
5	50	20	149	151	148	147	147	148
6	45	20	132	134	138	134	136	135
7	40	30	116	120	114	117	115	116
8	50	25	149	151	155	153	152	152
9	50	30	157	160	164	162	159	160
10	40	20	95	92	87	90	92	91
11	40	25	100	100	95	96	97	98
12	35	20	70	67	68	71	66	68
13	45	30	145	143	147	144	148	145
14	30	20	37	39	40	38	44	40
15	35	25	72	75	74	71	73	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
							1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1	1	15	50	30	50	30	119	115	121	108	121	117
2	2	15	50	30	30	50	133	137	140	135	137	136
3	3	15	30	30	30	50	108	105	112	110	104	108
4	4	15	50	30	30	30	100	105	99	101	102	101
5	5	5	50	30	50	30	76	77	73	70	75	74
6	6	15	30	20	30	50	90	93	92	95	93	93
7	7	15	30	30	30	50	118	120	125	123	116	120
8	8	5	50	30	30	50	64	65	61	59	57	61
9	9	15	30	20	50	50	98	96	99	94	92	96
10	10	5	30	20	30	50	59	58	56	60	61	59
11	11	15	50	30	50	50	135	139	140	136	139	138
12	12	15	30	30	50	50	101	101	106	107	108	105
13	13	15	30	30	50	50	105	101	102	100	101	102
14	14	5	30	30	30	50	82	82	82	78	77	80
15	15	5	30	20	30	30	56	60	60	57	59	58
16	16	15	30	30	50	30	100	98	95	98	98	98
17	17	5	50	20	30	50	75	79	73	77	74	76
18	5	30	30	50	50	0.05	73	68	69	75	74	72
19	5	30	20	30	30	0.05	59	57	59	58	57	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% นน.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
							1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
20	5	30	20	50	50	0.15	71	68	66	69	69	69
21	10	40	25	40	40	0.10	106	113	108	108	110	109
22	5	50	30	50	30	0.15	77	73	72	75	78	75
23	15	50	30	50	50	0.05	130	135	132	138	136	134
24	15	50	20	50	30	0.05	105	107	113	111	107	109
25	15	50	30	50	30	0.05	127	126	123	124	126	125
26	15	50	20	50	30	0.15	121	119	115	117	120	118
27	5	30	30	30	50	0.05	68	71	72	70	69	70
28	5	30	30	50	30	0.15	67	70	71	69	66	69
29	15	30	20	30	30	0.05	99	97	100	98	96	98
30	5	50	20	50	50	0.05	86	87	87	85	86	86
31	15	50	20	30	30	0.05	116	114	113	114	115	114
32	5	50	30	50	50	0.15	84	86	86	88	86	86
33	15	50	30	30	50	0.15	135	137	133	136	138	136
34	15	50	20	30	50	0.15	124	127	125	122	123	124
35	5	30	30	50	50	0.15	96	96	95	98	97	96
36	5	50	30	30	30	0.15	78	75	73	72	72	75
37	5	30	20	50	30	0.15	57	59	59	58	61	59
38	5	30	30	30	30	0.05	77	78	80	79	76	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งจุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบลื่น (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบลื่น (% น.น.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
							1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
39	15	30	20	50	30	0.05	101	104	105	108	106	105
40	5	30	20	30	50	0.05	85	84	86	87	87	86
41	5	50	20	50	50	0.15	88	91	93	90	92	91
42	5	30	20	50	30	0.05	80	83	84	82	81	82
43	15	30	20	30	30	0.15	106	104	108	108	109	107
44	5	50	30	50	50	0.05	112	109	107	113	110	110
45	5	50	20	30	30	0.15	75	72	74	71	74	73
46	15	30	30	50	30	0.05	108	110	112	109	111	110
47	5	50	30	30	30	0.05	104	102	102	103	100	102
48	15	50	20	30	30	0.15	105	108	109	112	112	108
49	15	50	20	50	50	0.05	106	109	111	112	110	110
50	5	50	20	30	30	0.05	79	81	83	85	86	83
51	5	30	30	50	30	0.05	77	78	75	73	73	75
52	15	30	20	50	30	0.15	101	97	100	98	101	99
53	5	50	30	30	50	0.15	103	102	100	105	104	103
54	15	30	30	30	30	0.15	111	110	109	113	110	111
55	15	30	20	50	50	0.15	114	116	117	119	115	116
56	15	50	20	50	50	0.15	124	121	117	119	116	119
57	5	50	20	30	50	0.15	92	90	92	92	94	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.3 สภาวะของตัวแปรต่างๆ และความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลาย (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	อุณหภูมิของตู้อบหมึกพิมพ์ (°ซ)	อุณหภูมิของตู้อบสารเคลือบเงา (°ซ)	ปริมาณของแข็งในสารเคลือบเงา (% นน.)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
							1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
58	5	50	20	50	30	0.15	87	84	86	82	85	85
59	5	30	20	50	50	0.05	75	78	77	74	78	76
60	15	30	20	30	50	0.15	108	105	108	104	102	106
61	15	50	20	30	50	0.05	125	123	120	125	124	123
62	15	30	30	30	30	0.05	116	119	120	121	118	119
63	5	50	20	50	30	0.05	88	90	87	88	87	88
64	15	50	30	30	30	0.05	125	127	124	130	130	127
65	5	30	30	30	30	0.15	97	100	98	97	99	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
				1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
1	12	50	20	103	105	106	102	104	104
2	12	50	25	110	106	103	104	105	106
3	14	40	25	113	111	114	112	111	112
4	14	45	20	118	122	120	119	121	120
5	11	50	25	100	102	105	101	103	102
6	14	50	20	132	130	126	125	124	127
7	7	14	40	117	119	121	118	119	119
8	8	13	50	118	115	116	112	113	115
9	9	12	50	115	113	110	112	113	113
10	10	10	45	108	110	111	110	112	110
11	11	11	45	109	113	114	111	113	112
12	12	10	45	105	102	102	100	103	102
13	13	13	40	112	112	114	116	117	114
14	14	14	50	134	131	132	135	136	134
15	15	12	45	110	111	115	113	112	112
16	16	12	40	110	107	109	108	109	109
17	17	12	40	102	104	107	103	108	105
18	18	11	40	107	106	103	105	102	105
19	19	11	45	110	105	108	105	107	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
				1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
20	20	13	50	119	121	124	122	121	121
21	21	10	50	113	110	109	111	107	110
22	22	13	40	121	121	118	119	117	119
23	23	14	45	122	121	119	124	119	121
24	24	11	50	110	112	108	107	108	109
25	25	11	40	107	108	104	103	104	105
26	26	11	50	109	110	110	112	108	110
27	27	10	40	103	100	104	104	105	103
28	28	14	50	132	133	132	136	137	134
29	11	40	30	107	109	105	106	106	107
30	12	45	25	110	113	115	116	113	113
31	13	45	30	122	120	118	119	120	120
32	10	40	30	105	104	101	105	106	104
33	14	45	25	120	121	124	125	122	122
34	10	40	20	98	99	102	100	100	100
35	12	45	20	114	118	116	115	113	115
36	14	40	30	125	122	121	125	124	123
37	10	45	25	104	102	102	100	100	102
38	13	45	20	120	117	119	120	116	118
39	12	40	30	109	110	107	107	112	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ช.4 สภาวะของตัวแปรที่มีนัยสำคัญและความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ในการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนที่มีการปรับผิวหน้าเทปโดยใช้โคโรนาก่อนเข้าสู่กระบวนการพิมพ์ลวดลายที่ได้จากการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทป (ต่อ)

การทดลองที่	ระดับโคโรนา	อุณหภูมิของลูกกลิ้งชุดพิมพ์ (°ซ)	ความหนืดของหมึกพิมพ์ (วินาที)	ความทนทานต่อการขัดถูของหมึกพิมพ์ (รอบ)					
				1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
40	13	45	25	121	119	117	119	120	119
41	10	50	30	108	106	105	107	106	106
42	10	50	25	103	104	106	106	107	105
43	13	40	20	118	115	117	116	116	116
44	13	50	30	122	122	119	118	121	120
45	11	45	25	106	105	108	108	107	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวปรีดารา ธรรมเศวต
วัน เดือน ปีเกิด	29 ธันวาคม 2513 ที่กรุงเทพฯ
ที่อยู่	198 หมู่ 10 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10250 โทร 0-2737-3024
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2535

ความชำนาญเฉพาะด้าน

1. ระบบ QS 9000 สำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์
2. ระบบ 6 Sigma เพื่อการปรับปรุงกระบวนการทำงานในเชิงวิศวกรรม
3. ระบบการตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

1. มีประสบการณ์การฝึกงานกับฝ่ายควบคุมคุณภาพ บริษัท เอช เอ็ม ซี พอลิเมอร์ จำกัด ระหว่างเดือนเมษายน – พฤษภาคม พ.ศ. 2534
2. ทำปริญญานิพนธ์ในระดับปริญญาตรีเรื่องการสังเคราะห์ยางออกซิเดชั่นจากยางธรรมชาติ
3. ขณะที่ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ทำวิทยานิพนธ์ที่ บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด และทำงานที่บริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายเทคนิค

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ระหว่างศึกษาต่อระดับปริญญาโท ได้แก่

1. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ และปรีดารา ธรรมเศวต "ผลของตำแหน่งแหล่งกำเนิดความร้อนต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิของลมร้อนในตู้อบทดสอบสำหรับอุตสาหกรรมการพิมพ์สกรีน", วิศวกรรมสาร มก., ฉบับที่ 41, สิงหาคม-พฤศจิกายน 2543 หน้า 137-143.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Anchaleeporn W. Lothongkum and Preedara Thumsavate, "Analysis of Significant Variables Affecting Surface Flexography Printing System on Adhesive Laminated Polypropylene Tape by MINITAB Program", Proceedings of the 7th Triennial AEESEAP Conference on Enhancing Engineering Education and Training (A University-Industry-Government Partnership), 8-9 December 2003, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.167-173.
3. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ ปรีดารา ธรรมเศวต และวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล "การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการพิมพ์ระบบเฟล็กโซกราฟฟีแบบพิมพ์พื้นผิวบนเทปกาวพอลิโพรพิลีนด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง", วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, ปีที่ 11 ฉบับที่ 3, ธันวาคม 2546 หน้า 16-26.

ผลงานทางวิชาการที่อยู่ระหว่างการตีพิมพ์ ได้แก่

- Anchaleeporn W. Lothongkum Preedara Thumsavate and Kanyanee Seangkiatiyuth, "Significant Parameters by MINITAB Program that Affect Ink Abrasion Resistance of Polypropylene Tape and their Approach in the Surface Flexography Printing", Journal of Industrial and Engineering Chemistry. ที่ประเทศเกาหลี (Accepted).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้