การออกแบบการทดลองแบบแฟคเตอเรียล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก

Factorial Experiment Design for Optimizing Lacquering Process of Tin Plate

ทศพล เกียรติเจริญผล

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดนครนายก 26120

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก และเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองที่ทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่ได้มีคุณภาพดีเหมาะสมต่อการใช้งาน และเป็นมาตรฐานอ้างอิงในการทำงาน การดำเนินการวิจัยได้ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลที่เพิ่มจุดกึ่งกลาง โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา 3 ปัจจัยคือ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม และเวลาที่ใช้ในการบ่ม และมีตัวแปรตอบสนอง 4 ตัวแปรคือ ผลการทดสอบคุณภาพผิวเคลือบแลกเกอร์ 4 คุณลักษณะได้แก่ การทดสอบความยืดหยุ่น การทดสอบการทนต่อการขีดข่วน การทดสอบการทนต่อการขัดถู การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ จากการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติพบว่า ปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่เป็นปัจจัยที่สำคัญและส่งผลต่อคุณลักษณะผิวเคลือบแลกเกอร์ด้านความยืดหยุ่น การทนต่อการขีดข่วน และการทนต่อการขัดถู ส่วนปัจจัยอุณหภูมิบ่มส่งผลต่อคุณลักษณะการทนต่อการขัดถู และเวลาที่ใช้ในการบ่มไม่พบนัยสำคัญต่อคุณลักษณะผิวเคลือบแลกเกอร์ แต่พบว่าปัจจัยร่วม (interaction) ระหว่างอุณหภูมิบ่มกับเวลาในการบ่ม มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะด้านความยืดหยุ่น และการทนต่อการขัดถู ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ได้นำมาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response optimizer) สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์มีคุณสมบัติทั้ง 4 ด้านสอดคล้องกับค่าเป้าหมาย ได้สภาวะดังนี้ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 8.5 กรัมต่อตารางเมตร อุณหภูมิบ่ม 215 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการบ่ม 13 นาที

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง กระบวนการเคลือบแลกเกอร์

Abstract

The objective of this research is to study factors that have effects on lacquering process on tin plate and to determine the suitable condition by experimental design approach in order to get good quality of lacquering. This result data of the study could be referenced in practice. The factorial design with center point is used to study three factors which are lacquer film weight, curing temperature and curing time. Lacquer coating property as response is tested in four characteristics: flexibility test, scratch resistance test, rub test and blushing resistance test. The statistical analysis shows that the lacquer film weight is a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

significant factor effecting on the results of flexibility test, scratch resistance test and rub test. The curing temperature has effect on the result of rub test, while the curing time has no effect in this work. However, the interaction between curing temperature and curing time effected on the results of flexibility test and rub test. By using response optimizer with regards of four characteristics of lacquer coating, the suitable condition is film weight of 8.5 grams per square meter, the curing temperature of 215 Celsius and curing time of 13 minutes.

Key Words : Experimental Design, Lacquering Process

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมการผลิตภาชนะกระป๋องบรรจุอาหารนั้น การเคลือบแลกเกอร์จะถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพกระป๋องเป็นอย่างมาก เพราะคุณภาพของผิวเคลือบแลกเกอร์ จะเป็นตัวชี้บ่งถึงลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ของภาชนะกระป๋อง ซึ่งจะส่งผลต่อการนำไปใช้บรรจุอาหาร และคุณภาพของเคลือบแลกเกอร์จะขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ของปัจจัย (Factor) ต่างๆ ในกระบวนการเคลือบแลกเกอร์ โดยปัจจัยเหล่านี้ยังมีความผันแปรในการกำหนดในการใช้งาน เช่น แลกเกอร์ชนิดเดียวกัน แต่ต่างเครื่องหมายการค้า ก็ต่างคุณสมบัติกัน และการกำหนดเลือกสภาวะการผลิตในกระบวนการเคลือบแลกเกอร์ก็ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปัจจัย ในการเคลือบแลกเกอร์อย่างจริงจัง เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของแต่ละปัจจัยและเงื่อนไขในการผลิตที่มีความเชื่อถือได้ จากการศึกษากระบวนการเคลือบแลกเกอร์ ทำให้คาดหมายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลือบแลกเกอร์ดังนี้ แผ่นเหล็กที่ใช้เคลือบ แลกเกอร์ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ที่ใช้เคลือบ เวลาที่ใช้ในการบ่ม ซึ่งคุณภาพของผิวเคลือบแลเกอร์ที่ดีต้องมีคุณสมบัติดังนี้ ความสามารถในการทนต่อการแปรรูป คือ มีความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับผิวเหล็ก ความยืดหยุ่นของผิวแลกเกอร์ และความสามารถในการทนการขีดข่วน เนื่องจากเมื่อนำแผ่นเหล็กเคลือบแลกเกอร์ไปผ่านกรรมวิธีการผลิตเป็นภาชนะกระป๋องบรรจุอาหาร ต้องผ่านการขึ้นรูป (Drawn) การทำรอน (Profile) เป็นต้น ความสามารถในการทนต่อกรรมวิธีการฆ่าเชื้อ (Sterilization) และการบรรจุอาหาร ซึ่งคุณสมบัติผิวเคลือบแลกเกอร์จะต้องมีความสามารถ ในการทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย การกัดกร่อนจากการต้ม และการแทรกซึมของไอน้ำจากการนึ่ง [1] และจากปัญหาในอดีตพบว่า ภายหลังจากการนำภาชนะกระป๋องมาผ่านกระบวนการต้มฆ่าเชื้อแล้วในบางครั้งเกิดปัญหาการหลุดลอกของแลกเกอร์ที่ใช้เคลือบ และการแทรกซึมของไอน้ำในชั้นแลกเกอร์ ซึ่งมีผลต่อคุณภาพอาหารที่บรรจุ และรูปลักษณ์ภายนอกของภาชนะกระป๋องซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการเลือกซื้อของผู้บริโภค

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้น เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก ซึ่งนำไปแปรรูปเป็นภาชนะกระป๋องบรรจุอาหาร และหาเงื่อนไขของกระบวนการเคลือบแลกเกอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์มีคุณภาพดีเหมาะสมต่อการใช้ การศึกษาดังกล่าวจะประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เทคนิคที่เลือกใช้คือ การทดลอง 2^k แฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดกึ่งกลาง เนื่องจากพื้นฐานของการทดลองแบบแฟคทอเรียล มีจำนวนการทดลองที่ไม่มาก สามารถสรุปผลการศึกษาด้วยนัยสำคัญทางสถิติ [2] และง่ายต่อความเข้าใจเพื่อนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติ โดยจะเห็นว่ามีการนำเทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียล ไปประยุกต์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการในภาคอุตสาหกรรมหลากหลาย [3-5] โดยในโครงการนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการศึกษาถึงปัจจัยของกระบวนการเคลือบที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของผิวเคลือบแลกเกอร์ ทำการทดสอบคุณลักษณะคุณภาพของผิวเคลือบ และวิเคราะห์ผลเชิงสถิติโดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการเคลือบแลกเกอร์และการยึดเกาะของฟิล์ม

กระบวนการเคลือบแลกเกอร์ คือการนำแลกเกอร์ในสภาวะของเหลวหรือเรซิน มาเคลือบลงบนพื้นผิวเคลือบแล้วนำไปอบให้ร้อนในอุณหภูมิที่บ่ม (Curing Temperature) เพื่อให้แลกเกอร์แห้งยึดเกาะพื้นผิวเคลือบ ซึ่งแลกเกอร์เป็นสารโพลิเมอร์ในลักษณะของเหลวหรือเรซิน โดยเมื่อนำไปเคลือบจะเกิดการเซ็ตตัวเป็นสภาวะของแข็ง โดยการระเหยไปของตัวทำละลาย (Solvent) และสร้างพันธะที่แข็งแรงของโพลิเมอร์ ซึ่งต้องอาศัยอุณหภูมิบ่ม (Curing Temperature) และระยะเวลาที่ใช้การบ่มที่เหมาะสม และเมื่อแลกเกอร์เกิดการบ่มที่ดีแล้วก็จะแห้งยึดเกาะแผ่นเหล็ก โดยมีแรงยึดติดกับแผ่นเหล็กที่สำคัญ คือ แรงยึดเกาะ (Adhesion Force)

ซึ่งในเชิงวิชาการการศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดเกาะ จะเกี่ยวข้องกับพันธะและรายละเอียดระดับจุลภาคและการเกิดอิทธิพลร่วมของระหว่างฟิล์มและพื้นผิวเคลือบ และนำมาทำนายคุณสมบัติภาพรวมได้ แต่การศึกษาในลักษณะนั้น หรือการศึกษาในลักษณะแบบอะตอมก็ยากที่จะเข้าใจและอธิบายได้ จากเหตุผลนี้ในการศึกษาคุณสมบัติด้านการยึดเกาะโดยทั่วไปจึงมุ่งเน้นในแง่ของคุณภาพของฟิล์ม ความทนทาน ความเสถียร แทนความเข้าใจในแง่ของพันธะของอะตอม [6]

2.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลแบบเพิ่มจุดกึ่งกลาง

การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) เป็นการทดลองที่มีหลายๆปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยมีหลายระดับ ในการทดลองที่มีตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลักที่สนใจ แล้วยังมีผลทำให้อิทธิพลของปัจจัยร่วม หรือปฏิสัมพันธ์ (Interaction) เปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งอิทธิพลของปัจจัยร่วมคือ ผลที่เกิดจากที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลง แล้วทำให้อิทธิพลของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย การทดลองแบบแฟคทอเรียลที่ได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติคือ 2^k แฟคทอเรียล เป็นการทดลองที่มีจำนวนปัจจัยเท่ากับ k จำนวน โดยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ทรีทเม้นต์เท่ากันทุกปัจจัย

ในการประยุกต์ใช้ 2^k แฟคทอเรียล บางครั้งจะมีการเพิ่มจุดกึ่งกลาง เพื่อให้สามารถทดสอบเชิงเส้นหรือเรียกว่า Curvature ได้ และเป็นการประมาณค่าของความผิดพลาด (Error term) ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหานัยสำคัญของอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้ (คำนวณหา p-value ได้) โดยที่จุดกึ่งกลาง (Center point) คือการทดลองในลักษณะที่ทำซ้ำๆ กัน (Replicate) โดยที่ค่าระดับ (Level) ของปัจจัยนั้น ตั้งอยู่ที่ค่ากลางระหว่างระดับต่ำกับสูง [7]

3. การออกแบบการทดลอง

3.1 การเลือกปัจจัยและผลตอบสนอง (factor and response)

ลักษณะของการเคลือบผิวแลกเกอร์ที่ดี จึงขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญ คือ คุณสมบัติของแลกเกอร์ และสภาวะที่ใช้ในการบ่มของแลกเกอร์ คืออุณภูมิบ่ม และระยะเวลาในการบ่ม นอกจากนี้ในกระบวนการเคลือบยังมีปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง คือ ปริมาณแลกเกอร์ที่ใช้ต่อพื้นที่ หรือน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ ซึ่งหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสม จะช่วยเพิ่มความสามารถในด้านต่างๆ ของผิวเคลือบแลกเกอร์ให้ดีขึ้น การศึกษาในครั้งนี้จึงกำหนดปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัย แบ่งออกเป็นสองระดับ คือค่าระดับที่ต่ำและสูง ตามตารางที่ 1

ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาถึงคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์โดยกำหนดตัวแปรตอบสนอง 4 ตัวแปร คือการทดสอบความยืดหยุ่น การทนต่อการขีดข่วน การทนต่อการขัดถู และการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวแลกเกอร์ ซึ่งมีวิธีการทดสอบโดยสังเขป ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง

ปัจจัย		ระดับต่ำ	ระดับสูง
Weight คือ	น้ำหนักแลกเกอร์ (กรัม/ตารางเมตร)	4.5	8.5
Temp คือ	อุณหภูมิบ่ม (องศาเซลเซียล)	195	215
Time คือ	เวลาบ่ม (นาที)	7	10

ตัวแปรตอบสนอง
1. การทดสอบความยืดหยุ่นของผิวแลกเกอร์
2. การทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์
3. การทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์
4. การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ

การทดสอบความยืดหยุ่นของผิวแลกเกอร์

ทำการพับแผ่นเหล็กเคลือบแลกเกอร์ทดสอบตามยาว จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSo_4$) ประมาณ 2 นาที เพื่อให้บริเวณที่แลกเกอร์หลุดล่วงไปเกิดสนิม ใช้กล้องจุลทรรศน์ช่วยในการวัดระยะความยาวของรอยแตก บันทึกผลเป็นค่าอัตราส่วนร้อยละความยาวของรอยแตกของแลกเกอร์ต่อความยาวของรอยพับทั้งหมด

การทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

นำแผ่นเหล็กเคลือบแลกเกอร์ทดสอบ มาจับยึดที่เครื่องทดสอบการทนการขีดข่วน ทำการขีดข่วนด้วยหัวเข็มทังสเตน เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร โดยผ่านกระแสไฟฟ้า 2 โวลต์ที่หัวเข็ม หากไฟฟ้าครบวงจรแสดงว่าหัวเข็มขีดผ่านผิวเคลือบแลกเกอร์ บันทึกน้ำหนักกดของหัวเข็มที่ใช้

การทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์

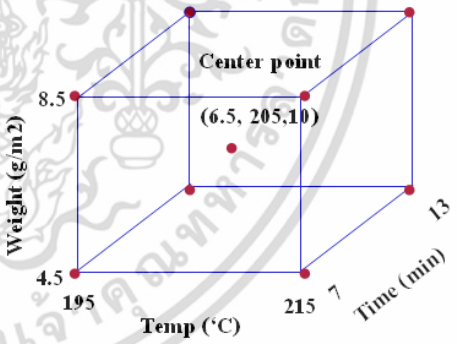
นำแผ่นเคลือบแลกเกอร์ทดสอบมาจับยึดที่เครื่องทดสอบการทนการขัดถู ทำการขัดถูด้วยน้ำยาเมททิลแอททิลค์โทน สูตรเคมี CH_3CH_2COOH โดยมีน้ำหนักกด 3 กิโลกรัม บันทึกจำนวนคู่ของการขัดถูไปกลับจนผิวเคลือบแลกเกอร์หลุดออก

การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ

นำแผ่นเคลือบแลกเกอร์ทดสอบมาขึ้นรูปแบบฝาปิดอย่างง่าย (Easy Open End) นำฝาที่ใช้ทดสอบ มาจัดวางเรียงกันในหม้อนึ่งอัด ทำการนึ่งที่สภาวะ อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เวลา 30 นาทีประเมินขนาดของพื้นที่และความรุนแรงของการเกิดฝ้าไอน้ำ

3.2 การวางแผนการทดลอง

ดำเนินวางแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลแบบมีจุดกึ่งกลาง (2^k with center point) โดยกำหนดให้ลำดับขั้นการทดลองเป็นการสุ่ม (randomization) เพื่อเฉลี่ยผลของตัวแปรรบกวนที่ควบคุมไม่ได้ [2] และทำการทดลองซ้ำ 1 ครั้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง หรือทำซ้ำ 2 (2 replicates) และกำหนดจุดกลางทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมด 21 สภาวะการทดลอง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 : แผนการทดลอง

ดำเนินการทดลองตามแผน โดยแผ่นทดสอบที่ได้ในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จะถูกนำมาตัดเป็น 4 ส่วน เพื่อทดสอบความสามารถในการยึดเกาะของผิวเคลือบแลกเกอร์ตามเป็นตัวแปรตอบสนอง เพื่อใช้วิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิเคราะห์ผลการศึกษา

4.1 อิทธิพลของแต่ละปัจจัย

ดำเนินการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยอาศัยโปรแกรม Minitab โดยแยกวิเคราะห์ผลแต่ละปัจจัย โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ซึ่งมีสมมุติฐานของปัจจัยร่วมของสามปัจจัยไม่มีนัยสำคัญ ได้ผลทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่า P value ของปัจจัยต่างๆตามผลทดสอบทั้ง 4 การทดสอบ

Term	ความยืดหยุ่น (Flex)	ทนการขีดข่วน (Scratch)	ทนการขัดถู (Rub)	การแทรกซึมของไอน้ำ (Steam)
Constant	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
weight	0.000*	0.001*	0.000*	0.072
Temp	0.758	0.508	0.001*	0.659
Time	0.476	0.062	0.746	0.464
weight*Temp	0.609	0.508	0.796	0.883
weight*Time	0.362	0.062	0.480	0.659
Temp*Time	0.031*	0.196	0.029*	0.464
Center Point	0.040*	0.002*	0.006*	0.417

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

จากตารางที่ 2 จะพบว่าปัจจัย น้ำหนักแลกเกอร์มีอิทธิพลต่อ คุณสมบัติความยืดหยุ่น การทนต่อการขีดข่วน การทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่พบอิทธิพลร่วมของปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนปัจจัยอุณหภูมิบ่ม มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติการทนต่อการขัดถูเพียงคุณสมบัติเดียว อย่างไรก็ตามอิทธพลร่วมของอุณหภูมิบ่มกับเวลาบ่มมีนัยสำคัญทางสถิติกับคุณสมบัติความยืดหยุ่น และการทนต่อการขัดถู และปัจจัยสุดท้ายเวลาบ่มอย่างเดียวพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติกับคุณสมบัติผิวแลกเกอร์ นอกจากนี้ปัจจัยทั้งสามก็ไม่พบนัยสำคัญทางสถิติต่อคุณสมบัติการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ จากนั้นนำเฉพาะปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีนัยสำคัญทางสถิติ มาจัดทำเป็นตัวแบบลดรูป (reduce model) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

4.2 การหาสภาวะที่เหมาะสม

จากหลักการวิเคราะห์ สัมประสิทธ์ (Coefficient) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สามารสรุปปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 ตัวแปร ดังสมการที่ 1 ถึง 3

$$Flex = 136.255 - 1.406*weight + 0.470*Temp*Time - 2.787Centerpoint \quad (1)$$

$$Scratch = 7.062 + 0.375*weight + 1.500*Centerpoint \quad (2)$$

$$Rub = 502.812 + 4.375*weight + 0.154*Temp*Time - 12.850*Centerpoint \quad (3)$$

Steam *no significant factor

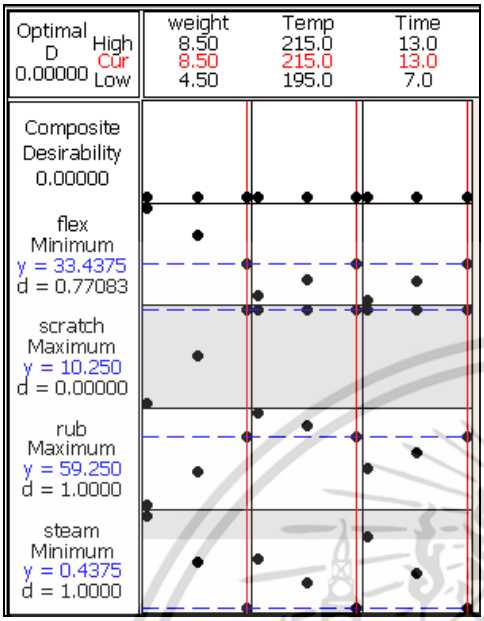
เนื่องจากความสัมพันธ์ของปัจจัยไม่เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งก็คือจุดกึ่งกลางมีนัยสำคัญทางสถิติ สมการดังกล่าวจึงสามารถประมาณผลได้เฉพาะค่าระดับของปัจจัยที่จุดมุม และจุดกึ่งกลางเท่านั้น ดังนั้นการหาสภาะที่เหมาะสมของกระบวนการจะทำภายใต้ขอบเขตดังกล่าว ซึ่งคุณสมบัติผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีคุณภาพจะต้องมีคุณสมบัติที่ดีทั้ง 4 ด้านตามตัวแปรตอบสนอง ในกรณีนี้จึงกำหนดค่าเป้าหมายของตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 ดังนี้ (1)ความยืดหยุ่นของผิวเคลือบโดยความยาวรอยแตกเป้าหมายที่ 30% และไม่มากกว่า 40% (2)การทนต่อการขีดข่วนมากกว่า 1000 กรัม (3)การทนต่อการขัดถูมากกว่า 45 ครั้งและ (4)การทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำเป้าหมายคะแนน 1 และไม่มากกว่าคะแนน 2

ในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมจะใช้ Response optimizer ในโปรแกรม Minitab ในการคำนวนโดยจะเลือกค่าระดับของปัจจัย ที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2

สภาวะกระบวนการที่ได้คือ น้ำหนักแลกเกอร์ 8.5 กรัมต่อตารางเมตร อุณหภูมิบ่ม 215 องศาเซลเซียล และเวลาบ่ม 13 นาที ซึ่งจะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีคุณสมบัติ รอยแตกประมาณ 33% ทนการขีดข่วนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนัก 1025 กรัม ทนการขัดถูที่ 59 ครั้ง และไม่เกิดการแทรกซึมของไอน้ำ



รูปที่ 2 : การวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสม

5. สรุปผลการศึกษา

คุณภาพผิวเคลือบแลกเกอร์ของภาชนะกระป๋องบรรจุอาหารเป็นคุณลักษณะที่สำคัญอย่างยิ่งในการใช้งาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล เพื่อศึกษาถึงปัจจัยและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของกระบวนการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม และปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิบ่มกับเวลาบ่ม เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ และได้สรุปสภาวะที่เหมาะสม คือ น้ำหนักแลกเกอร์ 8.5 กรัมต่อตารางเมตร อุณหภูมิบ่ม 215 องศาเซลเซียล และเวลาบ่ม 13 นาที ที่จะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์มีคุณภาพดี เหมาะสมต่อการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นภาชนะกระป๋องบรรจุอาหาร โดยมีคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่น การทนต่อการขีดข่วน การทนต่อการขัดถู และการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. สำนักงาน. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแลกเกอร์สำหรับใช้กับภาชนะบรรจุอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530

[2] C. D. Montgomery, Design and Analysis of Experiment. Singapore: John Wylie & Sons, 1991.

[3] E. S. Lee and S. Y. Baey, "A study of optimum grinding factors for aspheric convex surface micro-lens using design of experiments", International Journal of Machine Tools & Manufacture , vol. 47, pp. 509-520, 2007.

[4] H. Sofuoglu, "A technical note on the role of process parameters in predicting flow behavior of plasticine using design of experiment", Journal of Material Processing Technology , vol. 178, pp. 148-153, 2006.

[5] S. Dowlatshahi, "An application of design of experiments for optimization of plastic injection molding processes", Journal of Manufacturing Technology Management , vol. 15, pp. 445-454, 2004.

[6] Rosen, L. S., Fundamental Principles of Polymeric Material. Singapore: John Wylie & Sons, 1992.

[7] D. R. Moen, W. T. Nolan and P. L. Provost, Improving Quality Through Planned Experiment. Singapore: McGraw-Hill, 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้