บทที่ 5

การออกแบบการทดลอง

5.1 การออกแบบแผนการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบการทดสอบกระบวนการทดลอง โดยกำหนดค่าตัวแปรของระบบหรือกระบวนการ ซึ่งทำให้สามารถทราบผลลัพธ์ของระบบหรือกระบวนการที่เปลี่ยนไป และเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนารูปแบบของวิธีการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะยืนยันข้อเท็จจริงหรือศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อข้อเท็จจริง

จากการศึกษาปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อค่าตัวแปรตอบสนองในบทที่ 4 สามารถสรุปปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาใช้ในการทดลองนี้ทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน ปริมาณของเหลวบนกระจกซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console และความดันเข้า Rinse bar จากนั้นนำปัจจัยทั้ง 3 ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงา ซึ่งสามารถใช้หลักการทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติแล้วจะต้องตีความหมายออกมาเพื่อใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยผลสรุปที่ได้จากการทดลองจะสามารถบอกได้ว่า ปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจในกระบวนการที่ทำการศึกษาในระดับความเชื่อมั่นหนึ่ง ๆ เพื่อความถูกต้องตามหลักการออกแบบแผนการทดลอง ควรมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

5.2 กำหนดปัญหาที่สนใจ

จากปัญหาที่โรงงานตัวอย่างต้องการลดต้นทุนสารเคมีในการผลิต ซึ่งมองในส่วนต้นทุนเงิน ต้องการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงาเพื่อช่วยลดต้นทุนเงิน จึงได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการทำการทดลองครั้งนี้เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงิน จากนั้นนำผลการทดลองไปช่วยปรับปรุงการผลิต

5.3 การเลือกปัจจัยที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ในบทที่ 4 ได้แสดงเหตุผลต่าง ๆ ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงา ตลอดจนพิจารณาถึงการควบคุมปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการทดลองเบื้องต้นดังต่อไปนี้

5.3.1 อุณหภูมิกระจกก่อนเข้ากระบวนการเคลือบเงิน

5.3.2 ปริมาณของเหลวบนกระจก ซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console

5.3.3 ความดันน้ำเข้า Rinse bar

และกำหนดปัจจัยที่ควบคุมในการทดลองเบื้องต้นดังตารางที่ 4.4 ในการทดลองนี้จะกำหนดระดับของปัจจัย (Levels) เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน โดยอาศัยความรู้พื้นฐานในกระบวนการผลิตและประสบการณ์จากพนักงานที่มีความชำนาญทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่ควรใช้ในการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับและทำการกำหนดระดับปัจจัยเพิ่มอีก 1 ระดับ เพื่อใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะเหมาะสม โดยใช้สภาวะการผลิตในปัจจุบันไว้ที่ระดับกลางและกำหนดค่าที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละปัจจัยในระดับที่สูงกว่าและต่ำกว่าเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นและเปรียบเทียบกับสภาวะการผลิตในปัจจุบัน ซึ่งช่วงที่ศึกษาของตัวแปรแต่ละตัวแปรจะเป็นจุดสนใจในการผลิตและเป็นช่วงที่เหมาะสมและไม่ส่งผลต่อคุณภาพกระจกเงา โดยมีการแบ่งระดับปัจจัยดังนี้

5.3.1 อุณหภูมิกระจกก่อนเข้ากระบวนการเคลือบเงิน

อุณหภูมิกระจกก่อนเข้ากระบวนการเคลือบเงินคือ อุณหภูมิที่ทำให้สารละลายเงินเซตตัวเกิดเป็นฟิล์มเงินและยึดเกาะกับกระจกซึ่งเคลือบ Sensitizer (ดีบุก) ได้ดี ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 90°F จึงกำหนดระดับของอุณหภูมิกระจกเพิ่มขึ้นและลดลง 5 °F เนื่องจากหากใช้อุณหภูมิต่ำไปทำให้สารละลายเงินไม่เกิดการเซตตัวเกิดเป็นฟิล์มเงิน และถ้าอุณหภูมิกระจกสูงไปจะทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างฟิล์มเงินกับกระจกต่ำซึ่งมีผลต่อคุณภาพกระจกเงา การปรับค่าอุณหภูมิกระจกสามารถปรับแผงควบคุมอุณหภูมิบนตู้ควบคุมได้ง่าย ดังนั้นจึงแบ่งอุณหภูมิกระจกออกเป็น 3 ระดับคือ

ระดับที่ 1 อุณหภูมิ 85 °F

ระดับที่ 2 อุณหภูมิ 90 °F

ระดับที่ 3 อุณหภูมิ 95 °F

โดยในการทดลองเบื้องต้นจะทดลองในระดับที่ 1 กับระดับที่ 3 ก่อน หลังจากนั้นจึงทดลองทั้ง 3 ระดับในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

5.3.2 ปริมาณของเหลวบนกระจกซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console

ปริมาณของเหลวบนกระจก คือ ปริมาณสารละลายเงินที่เคลือบบนกระจก ซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 40 psi เนื่องจากหากใช้ความดันน้ำ DI เข้า Console ต่ำกว่า 38 psi จะส่งผลต่อการกระจายของสารละลายเงินและปฏิกิริยาในการเกิดฟิล์มเงินก็จะไม่สมบูรณ์เนื่องจากไม่มีตัวช่วยพา การปรับค่าความดันน้ำ DI เข้า Console สามารถปรับแผงควบคุมความดันน้ำบนตู้ควบคุมได้ง่าย ดังนั้นจึงแบ่งความดันน้ำ DI เข้า Console ออกเป็น 3 ระดับคือ

ระดับที่ 1 ความดัน 38 psi

ระดับที่ 2 ความดัน 40 psi

ระดับที่ 3 ความดัน 42 psi

โดยกำหนดปัจจัยระดับที่ 1 กับระดับที่ 3 ใช้ในการทดลองเบื้องต้น หลังจากนั้นใช้ปัจจัยทั้ง 3 ระดับในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

5.3.3 ความดันน้ำของ Rinse bar

ความดันน้ำของ Rinse bar คือ ความดันที่ควบคุมปริมาณน้ำ DI ที่เข้า Rinse bar ซึ่งจะอยู่หลังหัวพ่นเงิน ซึ่งทำหน้าที่ในการล้างปริมาณเงินที่มากเกินพอออกไป ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 5 psi จึงกำหนดระดับของความดันน้ำเข้าเพิ่มและลดลง 3 psi เนื่องจากหากใช้ความดันน้ำเข้า Rinse bar ต่ำไปทำให้ปริมาณ Silver ที่มากเกินพอถูกรีดออกไปไม่หมดส่งผลต่อกระบวนการเคลือบฟิล์มทองแดงในขั้นถัดไป และถ้าเพิ่มความดันน้ำเข้า Rinse bar มากไป ทำให้เกิดไอน้ำฟุ้งกระจายเกาะตามฝาปิดทำให้น้ำหยดลงหลังการล้าง ก่อให้เกิดปัญหา

จุดแดงบนกระจกเงาได้ การปรับค่าความดันน้ำ สามารถปรับความดันน้ำบน pressure gauge ซึ่งติดตั้งอยู่ข้าง line การผลิตได้ง่าย ดังนั้นจึงแบ่งความดันน้ำของ Rinse bar ออกเป็น 3 ระดับคือ

ระดับที่ 1 ความดัน 2 psi

ระดับที่ 2 ความดัน 5 psi

ระดับที่ 3 ความดัน 8 psi

สามารถสรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
		- (ต่ำ)	0 (กลาง)	+ (สูง)
1. อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน (^{o}F)	A	85	90	95
1. ปริมาณของเหลวบนกระจกซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console (psi)	B	38	40	42
3. ความดันน้ำของ Rinse bar (psi)	C	2	5	8

5.4 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

จากการกำหนดปัญหาที่สนใจในข้อ 5.2 ทางผู้วิจัยมีความสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงา ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่ใช้คือ ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน

5.5 การเลือกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยเลือกแบบการทดลองไว้ 2 แบบคือ การทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 2 ระดับ ซึ่งจะถูกใช้ในการทดลองเบื้องต้น และการทดลองแบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลคงที่ (Factorial Design with Fixed Effect Models) ซึ่งจะถูกใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

5.5.1 การทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองเบื้องต้นผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 2 ระดับ (2^k Factorial Design) ซึ่งวิธีนี้เหมาะจะเป็นการทดลองเบื้องต้น (Factor Screening Experiment) เพื่อที่จะตัดปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลต่อสิ่งที่ต้องการศึกษาออกไป และข้อดีของการทดลองแบบนี้คือใช้ตัวอย่างน้อยที่สุด (Smallest number of runs) ทำให้ประหยัดเวลาและใช้ทรัพยากรไม่มาก ส่วนข้อเสียคือให้สารสนเทศที่ไม่มากพอ เพราะเป็นการกำหนดปัจจัยไว้เพียง 2 ระดับเท่านั้น โดยจะกำหนดให้ระดับของปัจจัยเป็นค่าสูงสุด (Max) กับต่ำสุด (Min)

5.5.2 การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ปัจจัยที่มีผลต่อสิ่งที่ต้องการศึกษาก็จะทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อปัจจัยมี 3 ระดับ ซึ่งเทอมที่สำคัญของการทดสอบแบบนี้ประกอบด้วย

- อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา
- ปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) หมายถึงการแสดงออกของระดับต่าง ๆ ในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย

ในการทดลองแบบแฟคทอเรียล สามารถแบ่งตัวแบบออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- การทดสอบแบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลคงที่ (Factorial with Fixed Effect Models) เป็นการทดสอบที่มีระดับของปัจจัยที่คงที่และแน่นอน
- การทดสอบแบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลสุ่ม (Factorial with Random Effect Models) เป็นการทดสอบที่มีระดับของปัจจัยได้ถูกสุ่มมาจากระดับทั้งหมด

ซึ่งการทดลองในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เทคนิคการทดสอบแบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยสามารถที่จะควบคุมระดับปัจจัยที่คงที่แน่นอนและช่วงที่ศึกษาของตัวแปรแต่ละตัวแปรจะเป็นจุดที่สนใจในการผลิต

หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลองได้แก่

- การทำแบบสุ่ม (Randomization) เป็นการให้โอกาสแก่ข้อมูลในการเฉลี่ยอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไป ในกระบวนการได้เลือกใช้การทำแบบสุ่มอย่างง่าย

- การทดลองซ้ำ (Replication) หรือการกำหนดจำนวนครั้งในการทดลองซึ่งควรมีการทำซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้งที่ระดับของปัจจัยต่าง ๆ เหมือนกัน

5.6 ดำเนินการทดลอง

การทดลองเบื้องต้นและการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมจะใช้การทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์เพื่อป้องกันเรื่องความไม่สม่ำเสมอ ความผิดพลาดของเครื่องมือและผู้ทำการทดลอง รวมทั้งอคติที่น่าจะเกิดขึ้นในผู้ทำการทดลอง โดยผู้วิจัยใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลร่วม (Interaction) ของปัจจัยด้วย โดยในการทดลองต้องพยายามดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามแผนที่ออกแบบไว้อย่างเคร่งครัด

5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.7.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปชื่อ Minitab ใช้วิเคราะห์ผลทั้งในส่วนของการทดลองเบื้องต้น , การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและการทดลองเพื่อยืนยันผล

5.7.2 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองเบื้องต้น

ขั้นตอนนี้จะใช้การทดสอบแบบแฟคทอเรียล ซึ่งมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ (2^k Factorial Design) ซึ่งก่อนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการนี้จะต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยประกอบด้วยการทดสอบ 3 ประเภทคือ

1. การทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ซึ่งจะเป็นการพล็อตค่า Residual ลงบนกราฟที่เรียกว่า Normal Probability Paper
2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่า Residual ซึ่งค่า Residual แต่ละค่าควรเป็นอิสระซึ่งกันและกัน โดยจะทำการพล็อตกราฟระหว่างค่า Residual กับเวลาในการเก็บข้อมูล
3. การทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจาย การทดสอบนี้เป็นการบอกถึงความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูลโดยทำการพล็อตกราฟของค่า Residual และค่าที่กำหนด

ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงินที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะทำการคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวแสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลกระทบกับประสิทธิภาพการเคลือบเงิน

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ α มีค่าเท่ากับ 0.05

5.7.3 การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลคงที่ (Factorial Design with Fixed Effect Model)) ซึ่งก่อนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการนี้จะต้องมีการทดสอบความเหมาะสมของตัวแบบโดยประกอบด้วยการทดสอบ 3 ประเภทคือ

1. การทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูล ซึ่งจะเป็นการพล็อตค่า Residual ลงบนกราฟที่เรียกว่า Normal Probability Paper
2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่า Residual ซึ่งค่า Residual แต่ละค่าควรเป็นอิสระซึ่งกันและกัน โดยจะทำการพล็อตกราฟระหว่างค่า Residual กับเวลาในการเก็บข้อมูล

3. การทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจาย การทดสอบนี้เป็นการบอกถึงความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูลโดยทำการพล็อตกราฟของค่า Residual และค่าที่กำหนด

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งสามารถแสดงวิธีคำนวณได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 แสดงการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความผันแปร	Sum of Square	Degress of Freedom	Mean Square	F_0
A	SS_A	a-1	SS_A / df	MS_A / MS_E
B	SS_B	b-1	SS_B / df	MS_B / MS_E
C	SS_C	c-1	SS_C / df	MS_C / MS_E
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	SS_{AB} / df	MS_{AB} / MS_E
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	SS_{AC} / df	MS_{AC} / MS_E
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	SS_{BC} / df	MS_{BC} / MS_E
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	SS_{ABC} / df	MS_{ABC} / MS_E
Error	SS_E	abc(n-1)	SS_E / df	
Total	SS_T	abcn-1		

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} y^2_{ijkl} - \frac{y^2_{...}}{abcn}$$

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_{i=1}^{a} y^2_{i...} - \frac{y^2_{...}}{abcn}$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_{j=1}^{b} y^2_{.j..} - \frac{y^2_{...}}{abcn}$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{c} y^2_{..k.} - \frac{y^2_{...}}{abcn}$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y^2_{ij..} - \frac{y^2_{...}}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} y^2_{i.k.} - \frac{y^2_{...}}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y^2_{.jk.} - \frac{y^2_{...}}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y^2_{ijk.} - \frac{y^2_{...}}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{ABC}$$

ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน ซึ่งจะพิจารณาจากค่า F-Ratio ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยที่ในทางทฤษฎีจะทำการเปรียบเทียบค่า F-Ratio กับค่า F วิกฤติ ที่หาได้จากการเปิดตาราง F โดยที่

ถ้าค่า F-Ratio มากกว่าค่า F วิกฤติ แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลกระทบกับประสิทธิภาพการเคลือบเงิน

ถ้าค่า F-Ratio น้อยกว่าหรือเท่ากับค่า F วิกฤติ แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ ไม่มีผลกระทบกับประสิทธิภาพการเคลือบเงิน

แต่ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะทำการคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวแสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลกระทบกับประสิทธิภาพการเคลือบเงิน

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ α มีค่าเท่ากับ 0.05

5.7.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการยืนยันผล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อยืนยันผลนี้จะใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด) โดยเลือกการวิเคราะห์ในกรณีที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอนของความแปรปรวนของประชากรทั้ง 2 ชุด และทราบว่าไม่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของประชากรปกติ ให้ x และ y คือประชากรที่ให้ความสนใจ 2 ชุด ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยคือ μ_x และ μ_y และมีความแปรปรวนคือ σ^2_x และ σ^2_y ตามลำดับโดยที่ x และ y มีความอิสระต่อกัน และ $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ ซึ่งสามารถกำหนดวิธีการตัดสินใจในรูปการทดสอบสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_x = \mu_y$$
$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y$$

$$H_0 : \mu_x = \mu_y$$
$$H_1 : \mu_x > \mu_y$$

$$H_0 : \mu_x = \mu_y$$
$$H_1 : \mu_x < \mu_y$$

ซึ่งในการวิเคราะห์นี้จะใช้การทดสอบ t-test โดยจะทำการหาค่า t critical ซึ่งหาได้จาก

$$t\ critical = \bar{X} - \bar{Y} / S_p \left(1/n_x + 1/n_y \right)^{1/2}$$

โดยที่ $$S_p = \frac{(n_x - 1)^{1/2} S_x + (n_y - 1)^{1/2} S_y}{(n_x + n_y - 2)^{1/2}}$$

ภายใต้เงื่อนไขของ ที่กำหนดให้สมมติฐานเป็นจริง จะได้ผลว่า

$$-t_{\alpha/2 ; n_x + n_y - 2} < t_{critical} < t_{\alpha/2 ; n_x + n_y - 2}$$

โดยที่ค่า $t_{\alpha/2 ; n_x + n_y - 2}$ สามารถหาได้จากตาราง t แต่ทั้งนี้ในโปรแกรมทางสถิติได้ทำการคำนวณค่า P-Value ให้ โดยจะทำการเปรียบเทียบค่า P-Value ดังกล่าวกับค่า α โดยที่ถ้าค่า P-Value มากกว่าค่า α สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ประชากรมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าค่า α จะสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ประชากรมีค่าแตกต่างกัน โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05

ตารางที่ 5.3 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

1. วัตถุประสงค์

เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงินออกไป และยังช่วยลดเวลาและทรัพยากรในการทดลอง เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองทุกค่าของแต่ละปัจจัยได้

2. ข้อมูลพื้นฐาน

การเคลือบเงินถือเป็นหัวใจสำคัญต่อคุณภาพกระจกเพราะคุณภาพฟิล์มเงินเป็นตัวบ่งชี้การสะท้อนภาพที่เหมือนจริงทุกมุมมอง

3. ตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลอง

3.1 ตัวแปรตอบสนอง	ค่าที่วัด	
ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน	(%)	
3.2 ปัจจัย	ระดับ	
	-(ต่ำ)	+(สูง)
1. อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน (^{o}F)	85	95
2. ปริมาณของเหลวบนกระจก ซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI (psi)	38	42
3. ความดันน้ำของ Rinse bar (psi)	2	8
3.3 ปัจจัยที่ควบคุม	ค่าที่ควบคุม	
1. พนักงานที่ใช้ในการทดลอง	1 คน	
2. ความหนากระจกที่ใช้ในการทดลอง	2 mm	
3. ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	46 second	
4. รอบการวิ่งของหัวพ่นเงิน	14 Cycle/min	
5. ระยะพ่นของเงิน	102 inches	
6. อัตราการปั๊มของสารละลายเงิน	43 cc/min	

ตารางที่ 5.3 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

7. อัตราการปั๊มของสารละลาย Reducer	43 cc/min
8. อัตราการปั๊มของสารละลาย Sensitizer	82 cc/min
9. ความเร็วของ line	118 inches/min
10.คุณภาพน้ำ	< 1.0 μs
11.ปริมาณโลหะเงินในสารละลาย Silver Nitrate	158.75 mg/cc
12.ชนิดของปั๊ม	Electrical pump
13.ความบริสุทธิ์ของสารเคมีที่ใช้ไตเตรต	Reagent Grade

4. จำนวนซ้ำ

การทดลองทั้งหมด $2^3 = 8$ ทำซ้ำ 2 ครั้ง ทั้ง 16 การทดลอง

5. เมตริกการออกแบบการทดลอง

เมตริกการออกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.4

6. วิธีการสุ่ม

การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดสอบตามตารางที่ 5.5

7. ตารางบันทึกผล

ใช้แบบฟอร์มเดียวกับเมตริกการออกแบบการทดลอง

8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

กราฟตัวแปรตอบสนอง (Response Plot)

กราฟค่า Residual (Residual Plot)

9. อื่น ๆ

ตารางที่ 5.4 เมตริกการออกแบบการทดลอง

2^3 Design for Silver Efficiency					
	Factor			Silver Efficiency (%)	
Run	A	B	C	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	-	-	-		
2	+	-	-		
3	-	+	-		
4	+	+	-		
5	-	-	+		
6	+	-	+		
7	-	+	+		
8	+	+	+		

ระดับต่ำ -

ระดับสูง +

A อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน

B ปริมาณของเหลวบนกระจกซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console

C ความดันน้ำเข้า Rinse bar

ตารางที่ 5.5 การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดลอง

Run	หมายเลขลำดับที่	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	8	16
2	4	11
3	7	15
4	1	10
5	2	13
6	5	12
7	6	14
8	3	9

ตารางที่ 5.6 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

1. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงิน และหาเงื่อนไขในกระบวนการผลิตกระจกเงาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงิน

2. ข้อมูลพื้นฐาน

การเคลือบเงินถือเป็นหัวใจสำคัญต่อคุณภาพกระจกเพราะคุณภาพฟิล์มเงินเป็นตัวบ่งชี้การสะท้อนภาพที่เหมือนจริงทุกมุมมอง

3. ตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลอง

3.1 ตัวแปรตอบสนอง ค่าที่วัด

ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน (%)

3.2 ปัจจัย ระดับ

	-(ต่ำ)	0 (กลาง)	+(สูง)
1. อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน (^{o}F)	85	90	95
2. ปริมาณของเหลวบนกระจก ซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI (psi)	38	40	42
3. ความดันน้ำของ Rinse bar (psi)	2	5	8

3.3 ปัจจัยที่ควบคุม ค่าที่ควบคุม

1. พนักงานที่ใช้ในการทดลอง	1 คน
2. ความหนากระจกที่ใช้ในการทดลอง	2 mm
3. ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	46 seconds
4. รอบการวิ่งของหัวพ่นเงิน	14 Cycle/min
5. ระยะพ่นของเงิน	102 inches
6. อัตราการปั๊มของสารละลายเงิน	43 cc/min
7. อัตราการปั๊มของสารละลาย Reducer	43 cc/min

ตารางที่ 5.6 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม (ต่อ)

8. อัตราการปั๊มของสารละลาย Sensitizer	82 cc/min
9. ความเร็วของ line	118 inches/min
10.คุณภาพน้ำ	< 1.0 μs
11.ปริมาณโลหะเงินในสารละลาย Silver Nitrate	158.75 mg/cc
12.ชนิดของปั๊ม	Electrical pump
13.ความบริสุทธิ์ของสารเคมีที่ใช้ไตเตรต	Reagent Grade

4. จำนวนซ้ำ

การทดลองทั้งหมด 3 x 3 x 3 = 27 สภาวะ ทำซ้ำ 2 ครั้ง ทั้งหมด 54 การทดลอง

5. เมตริกการออกแบบการทดลอง

เมตริกการออกแบบการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.7

6. วิธีการสุ่ม

การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดสอบตามตารางที่ 5.8

7. ตารางบันทึกผล

ใช้แบบฟอร์มเดียวกับเมตริกการออกแบบการทดลอง

8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

กราฟตัวแปรตอบสนอง (Response Plot)

กราฟค่า Residual (Residual Plot)

9. อื่น ๆ

ตารางที่ 5.7 เมตริกการออกแบบ

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

ระดับต่ำ - A อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน

ระดับกลาง 0 B ปริมาณของเหลวบนกระจก ซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console

ระดับสูง + C ความดันน้ำเข้า Rinse bar

1* หมายเลขสภาวะการทดลอง

ตารางที่ 5.8 การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดลอง

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

ตารางที่ 5.9 ตารางบันทึกผลการทดลองเพื่อยืนยันผล

Current Condition	Purpose Condition
อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน = 90 °F ปริมาณของเหลวซึ่งสัมพันธ์กับ ความดันน้ำ DI = 40 psi ความดันน้ำเข้า Rinse Bar = 5 psi	อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน = 95 °F ปริมาณของเหลวซึ่งสัมพันธ์กับ ความดันน้ำ DI = 40 psi ความดันน้ำเข้า Rinse Bar = 5 psi