บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลของการทดลองที่ได้ทำไว้ในบทที่ 4 และหลังผลการทดลองจะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนของการทดลองนั้น การแสดงผลการทดลองและการวิเคราห์ผลการทดลองจะเรียงลำดับตามการทดลองในบทที่ 4 เพื่อความสะดวกและเป็นแบบแผนเดียวกัน รายละเอียดในบทที่ 5 นี้ ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

- ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 1
- ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 2
- ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 3
- ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 4

5.1 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 1

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 1 นี้เป็นการหาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมความหนาของชั้นสี ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถที่จะปรับปัจจัยดังกล่าวเพื่อให้เกิดประโยชน์ และจะส่งผลดีในด้านการลดการสิ้นเปลืองเนื้อสีประกอบด้วยหัวข้อย่อย 5 หัวข้อคือ

- ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1 ความหนาของชิ้นงานกับคุณภาพของสี
- ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2 ขนาดของชิ้นงานกับคุณภาพของสี
- ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 3 การปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับคุณภาพของสี
- ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4 การปรับส่วนผสมของลมกับคุณภาพสี

5.1.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1

5.1.1.1 ผลการทดลองที่ 1

ชื่อการทดลอง ความหนาของชิ้นงานกับคุณภาพสีที่ได้ วันที่ 22/12/94

วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาว่าความหนาของชิ้นงานมีผลต่อการพ่นสีฝุ่นและคุณภาพสีอย่างไร

หมายเหตุ

ชนิดของการทดสอบ		ผลการทดสอบ		
		ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. คุณภาพของสีที่ได้	(Δ E)	0.27	0.22	
การ เคียวริง ของสี	(วินาที)	3600*	3600*	
2. ความหนาของสีต่ำสุด	(ไมครอน)	80	70	
ความหนาของสีสูงสุด	(ไมครอน)	150	140	
ค่าเฉลี่ยความหนาของสี / S.D.	(ไมครอน)	115 / 20.3	113 / 18.2	
3. การยึดเกาะของเนื้อสี	(กก./ตร.ซม.)	60.0**	60.0**	
การทนการดัดงอ	(องศา)	180***	180***	
4. การทนต่อสภาพเกลือ	(%ของสนิม)	0%	0%	
การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ(% ของสนิม)		0%	0%	

ตัวอย่างที่ 1 คือ เหล็กหนา 0.17 x 200 x 200 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่ 2 คือ เหล็กหนา 2 x 200 x 200 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่ 3 คือ -

- ศักย์ไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานกับปืน = 80 KV.
- แรงดันของอากาศที่ใช้ = 1.35 บาร์
- อุณหภูมิของเตาอบ = 199 °C
- เวลาที่ใช้ในการอบ = 15.5 นาที

หมายเหตุ ช่องที่มี - หมายถึง ไม่ต้องทดสอบด้วยวิธีการนี้หรือไม่ได้นำตัวอย่างเข้าทดสอบ

* ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3600 วินาที ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง

** เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบวัดค่าได้สูงสุด 60.0 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

*** องศาการดัดงอที่ทดสอบได้สูงสุด = 180

5.1.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 1

การทดลองนี้ ปรับเฉพาะความหนาของชิ้นงานที่เข้าทดสอบเท่านั้น ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ให้คงที่เหมือนกระบวนการพ่นสีปกติ จากผลการทดลองที่เกิดขึ้นสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

<u>คุณภาพของสี</u>

- คุณภาพของสีที่ได้ทั้ง 2 ตัวอย่าง เมื่อเทียบกับสีมาตรฐานแล้ว มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจาก $\Delta E < 1$ และค่า ΔE ทั้งสองต่างกันเพียง 0.05 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของสีหรือค่า ΔE ไม่ขึ้นกับความหนาของชิ้นงานซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในส่วนของบทที่ 6 ในหัวข้อ 6.1 วิจารณ์การทดลอง
- การเคียวริ่งของสี ทั้ง 2 ตัวอย่าง ผ่าน 3,600 วินาที ถือว่าผ่านเกณฑ์แสดงว่าการเคียวริ่งสมบูรณ์

<u>ความหนาของสี</u>

ความหนาของสีเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ยกเว้นความหนาของสีต่ำสุดและความหนาของสีสูงสุดสำหรับตัวอย่างที่หนากว่าจะให้ค่ามากกว่า 10 ไมครอน เมื่อค่าเฉลี่ยความหนาของสีใกล้กันแสดงว่าการกระจายตัวความหนาของสีใกล้เคียงกัน แม้ว่าบางตัวอย่างความหนาของสีสูงสุดจะมากกว่า แต่ปัจจัยนี้อาจจะมีผลจากคนพ่นสีได้และจากการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ก. สามารถสรุปได้ว่าความหนาของชั้นสีไม่ขึ้นกับความหนาของชิ้นงานที่ได้รับการพ่นสี

<u>คุณสมบัติทางกลของสีภายหลังการอบ</u>

- การยึดเกาะของเนื้อสีให้ผลดีทั้งคู่มากกว่า 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ถือว่าผ่านเกณฑ์
- การทนต่อการดัดงอ ให้ผลดีทั้งคู่ คือ มากกว่า 180° ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

<u>คุณสมบัติการทนต่อสารเคมีของสีภายหลังการอบ</u>

- การทนต่อสารเคมี จะพบว่า % การเกิดสนิม = 0
- การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ให้ผลดีทั้งคู่ คือ ไม่พบการเกิดสนิมหรือ % การเกิดสนิม = 0 แสดงการทนต่อสารเคมีผ่านเกณฑ์ทั้งคู่

สรุปความหนาของชิ้นงานไม่มีผลต่อ คุณสมบัติทั้ง 4 ข้อของสีฝุ่น หรือกล่าวได้ว่าชิ้นงานที่หนาหรือบางจะให้คุณสมบัติใกล้เคียงกัน ดังนั้นการทดลองในส่วนต่อไปสามารถใช้ตัวอย่างชิ้นงานที่เป็นชนิดบางได้คือขนาด 0.17 มิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในส่วนการตัดชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบ อย่างไรก็ดีจะใช้ความหนาชิ้นงานเท่ากันทั้งหมดเพื่อเป็นการลดปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อความหนาได้

5.1.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2

5.1.2.1 ผลการทดลองที่ 2

ชื่อการทดลอง ขนาดของชิ้นงานกับคุณภาพของสีที่ได้ วันที่ 27/12/94

วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาว่าขนาดของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่อการพ่นสีฝุ่นอย่างไร

หมายเหตุ

ชนิดของการทดสอบ		ผลการทดสอบ		
		ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. คุณภาพของสีที่ได้	(△ E)	0.66	0.44	0.54
การ เคียวริ่ง ของสี	(วินาที)	3600*	3600*	3600*
2. ความหนาของสีต่ำสุด	(ไมครอน)	85	85	55
ความหนาของสีสูงสุด	(ไมครอน)	150	150	150
ค่าเฉลี่ยความหนาของสี / S.D.	(ไมครอน)	118 / 15.4	114 / 18.7	111 / 28.1
3. การยึดเกาะของเนื้อสี	(กก./ตร.ซม.)	60.0**	60.0**	60.0**
การทนการดัดงอ	(องศา)	180***	180***	180***
4. การทนต่อสภาพเกลือ	(%ของสนิม)	0%	0%	0%
การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ(% ของสนิม)		0%	0%	0%

ตัวอย่างที่ 1 คือ ชิ้นงานหนา 0.17 x 100 x 100 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่ 2 คือ ชิ้นงานหนา 0.17 x 200 x 200 มิลลิเมตร

ตัวอย่างที่ 3 คือ ชิ้นงานหนา 0.17 x 300 x 300 มิลลิเมตร

- ศักย์ไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานกับปืน = 80 KV.
- แรงดันของอากาศที่ใช้ = 1.35 บาร์
- อุณหภูมิของเตาอบ = 199 °C
- เวลาที่ใช้ในการอบ = 15.5 นาที

หมายเหตุ ช่องที่มี - หมายถึง ไม่ต้องทดสอบด้วยวิธีการนี้หรือไม่ได้นำตัวอย่างเข้าทดสอบ

* ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3600 วินาที ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง

** เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบวัดค่าได้สูงสุด 60.0 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

*** องศาการดัดงอที่ทดสอบได้สูงสุด = 180

5.1.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2

<u>คุณภาพของสี</u>

- คุณภาพของสีจากการวัดค่า ΔE ทั้ง 3 ตัวอย่างให้ค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสีมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นงานที่ 2 ขนาด 0.17 x 200 x 200 มิลลิเมตร นั้นควรจะให้ค่าใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 คือ 0.2 - 0.3 แต่คราวนี้ให้ค่าสูงคือ 0.44 แสดงว่าอาจจะเกิดความผิดพลาดบางประการจากอุณหภูมิของเตาอบที่อาจจะเปลี่ยนแปลงไปบ้างระหว่างการอบ ทำให้สีที่ได้จึงเพี้ยนไปค่อนข้างมากอย่างไรก็ดีเนื่องจากทั้ง 3 ตัวอย่างให้ค่า $\Delta E < 1$ ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์การยอมรับได้ ในส่วนข้อมูลสนับสนุนอาจจะดูเพิ่มเติมได้จากบทที่ 6 หัวข้อ 6.1
- การเคียวริ่งผ่าน 3,600 วินาที ทั้ง 3 ตัวอย่าง

<u>ความหนาของสี</u>

ความหนาของสีเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ยกเว้นชิ้นงานเล็กที่ขนาด 0.17 x 100 x 100 มิลลิเมตร จะมีความหนาสูงกว่าปกติเล็กน้อยทั้งนี้อาจจะอธิบายได้ว่า เป็นผลเนื่องจากคนพ่นสีควบคุมการพ่นสีเมื่อชิ้นงานเล็กได้ยาก จึงปล่อยสีมากเกินไปแต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เช่นกันสำหรับความหนาของสีต่ำสุดจะมีเฉพาะชิ้นงานใหญ่ คือ 0.17 x 300 x 300 มิลลิเมตร เพราะมีบางจุดต่ำถึง 55 ไมครอน ทั้งนี้อาจจะได้รับการพ่นไม่ทั่วถึงเนื่องจากแผ่นใหญ่ แต่ก็ผ่านเกณฑ์ความหนาต่ำสุดที่วางไว้ จากข้อมูลของการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวก ก. สามารถสรุปได้ว่าความหนาของชั้นสีไม่ขึ้นกับขนาดของชิ้นงานที่ได้รับการพ่นสี

<u>คุณสมบัติทางกลของสีภายหลังการอบ</u>

- การยึดเกาะของสีกับชิ้นงานให้ผลดีทั้งหมด มากกว่า 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร
- การทนการดัดงอ ให้ผลดีทั้งหมด มากกว่า 180°

<u>คุณสมบัติการทนต่อสารเคมีของสีภายหลังการอบ</u>

- การทนต่อสารเคมี จะพบว่า % การเกิดสนิม = 0
- การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทุกตัวอย่างให้ค่า % การเกิดสนิม = 0

สรุปขนาดของชิ้นงานไม่มีผลต่อคุณสมบัติทั้ง 4 ข้อของสีฝุ่น นั่นคือไม่ว่าจะใช้ตัวอย่างขนาดเท่าใดจะไม่มีผลต่อคุณภาพงานที่ได้ อย่างไรก็ดีชิ้นงานขนาดใหญ่เมื่อใช้คนพ่น อาจจะทำ

ให้ความสม่ำเสมอเกิดน้อยกว่าชิ้นงานขนาดเล็กได้ สิ่งนี้ต้องขึ้นกับประสบการณ์ของการพ่นสีฝุ่น การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าในขั้นถัดไป การใช้ตัวอย่างขนาด 0.17 x 200 x 200 มิลลิเมตร สามารถเป็นตัวแทนขนาดอื่น ๆ ได้

5.1.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 3

5.1.3.1 ผลการทดลองที่ 3

ชื่อการทดลอง การปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับคุณภาพสี วันที่ 25/02/95

วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาว่าการปรับค่าความต่างศักย์จะให้ผลต่อการพ่นสีฝุ่นต่างกันอย่างไร

หมายเหตุ

ชนิดของการทดสอบ	ผลการทดสอบ		
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. คุณภาพของสีที่ได้ (Δ E)	0.33	0.64	0.31
การ เคียวริ่ง ของสี (วินาที)	3600*	3600*	3600*
2. ความหนาของสีต่ำสุด (ไมครอน)	57	83	74
ความหนาของสีสูงสุด (ไมครอน)	120	150	150
ค่าเฉลี่ยความหนาของสี / S.D. (ไมครอน)	89 / 16.1	114 / 19.8	114 / 22.8
3. การยึดเกาะของเนื้อสี (กก./ตร.ซม.)	60.0**	60.0**	60.0**
การทนการดัดงอ (องศา)	180***	180***	180***
4. การทนต่อสภาพเกลือ (%ของสนิม)	0%	0%	0%
การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ(% ของสนิม)	0%	0%	0%

ตัวอย่างที่ 1 คือ ปรับความต่างศักย์ = 20 KV.

ตัวอย่างที่ 2 คือ ปรับความต่างศักย์ = 50 KV.

ตัวอย่างที่ 3 คือ ปรับความต่างศักย์ = 80 KV.

- ศักย์ไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานกับปืน = แปรผัน KV.
- แรงดันของอากาศที่ใช้ = 1.52 บาร์
- อุณหภูมิของเตาอบ = 180 °C
- เวลาที่ใช้ในการอบ = 15.5 นาที

หมายเหตุ ช่องที่มี - หมายถึง ไม่ต้องทดสอบด้วยวิธีการนี้หรือไม่ได้นำตัวอย่างเข้าทดสอบ

* ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3600 วินาที ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง

** เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบวัดค่าได้สูงสุด 60.0 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

*** องศาการดัดงอที่ทดสอบได้สูงสุด = 180

5.1.3.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 3

คุณภาพของสี

- เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่ความต่างศักย์ 80 KV. และ 20 KV. จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ 50 KV. จะให้ ΔE ค่อนข้างสูงจากสีมาตรฐานคือ เท่ากับ 0.64 ซึ่งค่านี้ถ้าสังเกตด้วยแสงที่ไม่เหมาะสมก็ยากที่จะบอกความแตกต่างได้ อย่างไรก็ดีค่าที่สูงถึง 0.64 นี้น่าจะเป็นผลที่เกิดจากความผิดพลาดบางอย่างในการทดลองโดยเฉพาะอุณหภูมิการอบทั้งที่ความต่างศักย์ต่ำกว่าที่ 20 KV. น่าจะมีผลกระทบมากกว่าค่า ΔE ที่เท่ากับ 0.64 นี้ใกล้เคียงกับการทดลองที่ 2 ที่ขนาด 0.17 x 100 x 100 มิลลิเมตร เหตุผลคงจะอธิบายได้เหมือนกับการทดลองที่ 2 จึงพอสรุปได้ว่าคุณภาพสีที่ได้ยังใกล้เคียงกัน
- การเคียวริ่งผ่าน 3,600 วินาที ทั้ง 3 ตัวอย่าง

ความหนาเฉลี่ยของสี

- ความหนาของสีต่ำสุด จะให้ค่าน้อยที่สุดเมื่อความต่างศักย์ = 20 KV.
- ความหนาของสีสูงสุด จะให้ค่ามากที่สุด เมื่อความต่างศักย์ = 80 KV.
- ความหนาเฉลี่ยของสีจะน้อยเมื่อความต่างศักย์น้อย และมากขึ้นเมื่อความต่างศักย์สูงขึ้นอย่างไรก็ดีเมื่อความต่างศักย์เกิน 50 KV. ขึ้นไปจะไม่ส่งผลทางด้านความหนาของสีเพิ่มขึ้นเมื่อประกอบกับการทดสอบสมมติฐานในภาคผนวกจะให้ผลในทำนองเดียวกัน นั่นคือการปรับค่าความต่างศักย์จะมีผลต่อความหนาของชั้นสี

คุณสมบัติทางกลของสีภายหลังการอบ

- การยึดเกาะของสีต่อชิ้นงานให้ผลดีทั้งหมด มากกว่า 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร
- การทนต่อการดัดงอได้ผลดีทั้งหมด มากกว่า 180°

คุณสมบัติการทนต่อสารเคมีของสีภายหลังการอบ

- การทนต่อสารเคมี จะพบว่า % การเกิดสนิม = 0
- การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทุกตัวอย่างให้ค่า % การเกิดสนิม = 0

สรุปการปรับความต่างศักย์ระหว่างปืนพ่นสีกับชิ้นงาน จะส่งผลให้ผงสีเข้าเกาะชิ้นมากน้อยแตกต่างกัน คือเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ ปริมาณสีหรือความหนาจะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึง 50

KV. ความหนาของชั้นสีจะไม่ค่อยเพิ่มขึ้นมากนักเมื่อปรับความต่างศักย์ให้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่าเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น การถ่ายประจุให้กับผงสีจะทำได้ดีขึ้น และความเข้มของแรงสนามไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามความต่างศักย์ที่เกิด ส่งผลให้ผงสีเข้าเกาะชิ้นงานหนามากขึ้นจนกว่าจะทำให้เกิด ภาวะฉนวนมากพอเพื่อกันไม่ให้ผงสีเกาะชิ้นงานต่อไปได้ อย่างไรก็ดีการเพิ่มความต่างศักย์จะได้มากถึงค่าหนึ่งเท่านั้น คือเมื่อเกิน 50 KV. ความสามารถของแรงสนามไฟฟ้าจะไม่มากพอให้ผงสีเกาะได้มากแตกต่างอย่างเด่นชัด ดังนั้นการเพิ่มความต่างศักย์เกิน 50 KV. จะเกิดผลต่างความหนาของชั้นสีที่ได้น้อยมาก

5.1.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4

5.1.4.1 ผลการทดลองที่ 4

ชื่อการทดลอง การปรับส่วนผสมของลมกับคุณภาพสี วันที่ 25/02/95

วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาว่าส่วนผสมของลมที่พาสีไปเกาะชิ้นงานมีผลต่อการพ่นสีฝุ่นอย่างไร

หมายเหตุ

ชนิดของการทดสอบ	ผลการทดสอบ		
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. คุณภาพของสีที่ได้ (△ E)	0.34	0.25	0.15
การ เคียวริ่ง ของสี (วินาที)	3600*	3600*	3600*
2. ความหนาของสีต่ำสุด (ไมครอน)	87	68	68
ความหนาของสีสูงสุด (ไมครอน)	165	165	150
ค่าเฉลี่ยความหนาของสี / S.D. (ไมครอน)	119 / 20.9	92 / 21.2	101 / 27.5
3. การยึดเกาะของเนื้อสี (กก./ตร.ซม.)	60.0**	60.0**	60.0**
การทนการดัดงอ (องศา)	180***	180***	180***
4. การทนต่อสภาพเกลือ (%ของสนิม)	0%	0%	0%
การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ(% ของสนิม)	0%	0%	0%

ตัวอย่างที่ 1 คือ ปริมาณลมผสมสี = 3 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 2 คือ ปริมาณลมผสมสี = 6 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

ตัวอย่างที่ 3 คือ ปริมาณลมผสมสี = 8 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

- ศักย์ไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานกับปืน = 80 KV.
- แรงดันของอากาศที่ใช้ = 1.52 บาร์
- อุณหภูมิของเตาอบ = 180 °C
- เวลาที่ใช้ในการอบ = 15.5 นาที

หมายเหตุ ช่องที่มี - หมายถึง ไม่ต้องทดสอบด้วยวิธีการนี้หรือไม่ได้นำตัวอย่างเข้าทดสอบ

* ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3600 วินาที ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง

** เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบวัดค่าได้สูงสุด 60.0 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

*** องศาการดัดงอที่ทดสอบได้สูงสุด = 180

5.1.4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 4

<u>คุณภาพของสี</u>

- คุณภาพของสีเมื่อเทียบกับการทดลองของตัวอย่างด้วยกันเองจะมีค่า ΔE ใกล้เคียงกันยกเว้นของค่าที่ปริมาณลมเท่ากับ 8 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะให้ค่า ΔE ต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน = 0.51 แต่ค่า ΔE ดังกล่าวยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งค่า ΔE ที่สูงขึ้นมาอาจจะอธิบายเหตุผลได้เช่นเดียวกับการเพิ่มความต่างศักย์ที่วัด ΔE บางตัวได้สูงในการวิเคราะห์ผลทดลองที่ 3 ที่ผ่านมา

- การ เคียวริ่ง ผ่าน 3,600 วินาที ทั้ง 3 ตัวอย่าง

<u>ความหนาของสี</u>

จุดสนใจไม่ได้อยู่ที่ค่าความหนาของสีต่ำสุด หรือ ความหนาของสีสูงสุด แต่จะอยู่ที่ ค่าความหนาเฉลี่ยของสีซึ่งจะพบว่าค่าความหนาเฉลี่ยของสีจะมากเมื่อปริมาณลมที่ผสมจะน้อย คือ 3 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะให้ความหนาของสีเฉลี่ย = 119 ไมครอน ขณะที่ปริมาณลมที่ผสมเพิ่มเช่น 6 และ 8 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับจะได้ความหนาเฉลี่ยของสีลดลงเป็น 99 และ 101 ไมครอน ตามลำดับ ดังนั้นปริมาณลมที่ผสมน่าจะเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการควบคุมความหนาของสีและจากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติก็ให้ผลสอดคล้องกันว่า ปริมาณลมผสมสีเป็นปัจจัยที่ทำให้ชั้นความหนาของสีเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

<u>คุณสมบัติทางกลของสีภายหลังการอบ</u>

- การยึดเกาะของสีต่อชิ้นงานให้ผลดีทั้งหมด มากกว่า 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร
- การทนการดัดงอให้ผลดีทั้งหมด มากกว่า 180°

<u>คุณสมบัติการทนต่อสารเคมีภายหลังการอบ</u>

- การทนต่อสารเคมี จะพบว่า % การเกิดสนิม = 0
- การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทุกตัวอย่างให้ค่า % การเกิดสนิม = 0

สรุปการปรับปริมาณลมผสมสีจะพบว่า ที่ค่าปริมาณลมผสมน้อย ๆ เช่น 3 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะให้ความเข้มข้นของผงสีที่พ่นออกมามาก ส่งผลกระทบต่อความหนาของชั้นสีที่ได้

คือเมื่อความเข้มข้นมากก็จะทำให้ความหนาชั้นสีที่ได้มากตามไปด้วย แต่ขณะเดียวกันคุณสมบัติอื่น ๆ ของสีก็ยังคงใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันเมื่อให้ปริมาณลมมากจะทำให้ความเข้มข้นของผงสีที่ใช้ลดลง เมื่อพ่นลงในชิ้นงานที่ระยะเวลาเท่ากัน ความหนาที่ได้จะต่ำกว่า แต่สิ่งหนึ่งที่พึงสังเกตก็คือการปรับปริมาณลมผสมสีถ้าน้อยเกินไปจะทำให้การพ่นสีกระทำได้ยาก และควบคุมการพ่นได้ยากอาจจะส่งผลให้เกิดความหนาไม่สม่ำเสมอในชั้นสีด้วยเช่นกัน

5.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 2

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 1 จะพบว่ามีปัจจัย 2 ตัวที่มีอิทธิพลต่อความหนาของชั้นสีคือความต่างศักย์และปริมาณลมผสมสี ในหัวข้อที่ 5.2 จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในเรื่องความหนาของชั้นสีเพิ่มเติม โดยจะแบ่งหัวข้อการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันเพื่อชี้แจงรายละเอียดได้ครบถ้วน

- การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ 3 และ 4 เพิ่มเติม
- การทดลองเพิ่มเติม
- การวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนที่เพิ่มเติม

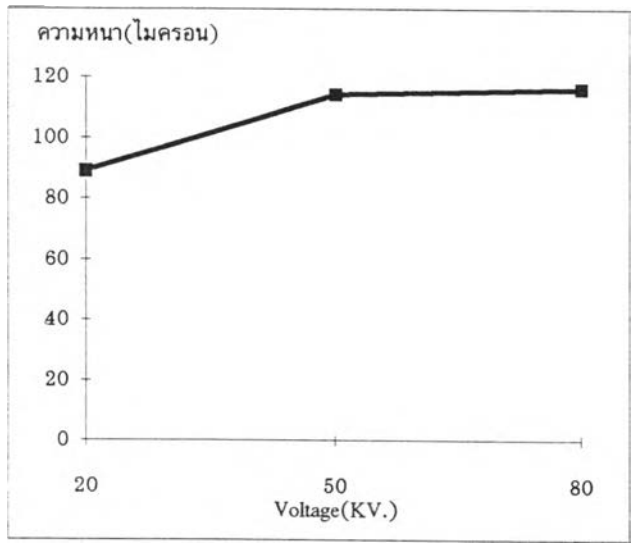
5.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ 3 และ 4 เพิ่มเติม

จากผลการทดลองในหัวข้อ 5.1 ซึ่งคัดเฉพาะการทดลองที่ 3 และ 4 เพื่อนำค่ามาวิเคราะห์จะได้รายละเอียดตามตารางที่ 5.1 เมื่อลองนำค่าความหนาของชั้นสีที่ได้กับ ความต่างศักย์และปริมาณลมผสมสีมาเขียนกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์จะได้ข้อมูลตามกราฟดังรูปที่5.1และ5.2

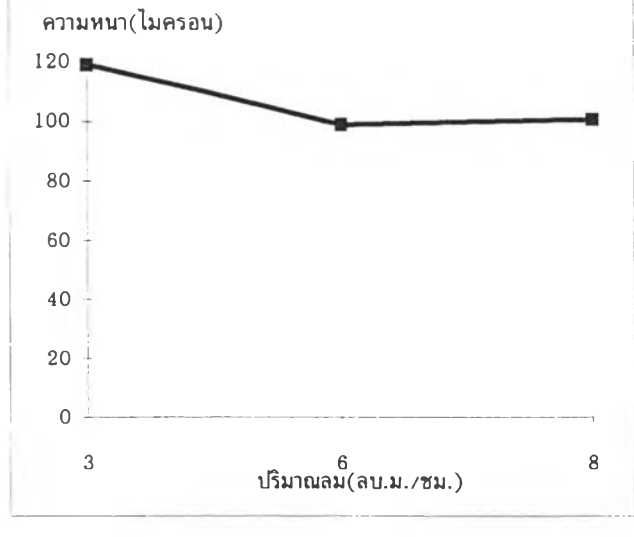
ลำดับที่	การปรับค่าความต่างศักย์		การปรับค่าปริมาณลมผสมสี	
	ความต่างศักย์	ความหนาของสี	ปริมาณลม	ความหนาของสี
1	20	89	3	119
2	50	114	6	99
3	80	114	8	101

ตารางที่ 5.1 แสดงความต่างศักย์, ปริมาณลม และความหนาของชั้นสี

จากกราฟจะพบว่าเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น ความหนาของสีที่ได้จะเพิ่มขึ้นด้วยขณะเดียวกันเมื่อลดปริมาณลมผสมสีลงความหนาของชั้นสีจะเพิ่มขึ้น การทดลองที่จะทำเพิ่มเติมเพื่อหา Interaction ต่อไป เนื่องจากพบว่าการทดลองเมื่อใช้ 2 ปัจจัยคือความต่างศักย์และปริมาณลมผสมสีแบ่งเป็น 3 ระดับค่าที่วัดจะได้การทดลองเป็น 9 แบบ การทดลองสามารถเขียนเป็นตารางดังตารางที่ 5.2 โดยค่าความต่างศักย์ที่ใช้ 40, 70, 100 KV. ปริมาณลมผสมสี 3, 5, 7 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง รายละเอียดศึกษาได้ในภาคผนวก ข.



รูปที่ 5.1 แสดงกราฟระหว่างความต่างศักย์ความหนาของชั้นสี



รูปที่ 5.2 แสดงกราฟระหว่างปริมาณลมกับความหนาของชั้นสี

จะพบว่าการทดลองลำดับที่ 3,4,5,6 และ 9 ได้ทำไปแล้ว ยังขาดการทดลองลำดับที่ 1,2 7 และ 8 ซึ่งจะต้องทำการทดลองเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ดีพบว่า มีการทดลองที่ค่าซ้ำกันคือ การทดลองที่ 6 เพราะในการทดลองปรับความต่างศักย์เป็นการใช้ศักย์สูง (+) และปริมาณลมผสมสีปานกลาง (0) จะได้ความหนา 114 ไมครอน ขณะเดียวกันในการปรับปริมาณลมผสมสี จะมีการทดลองปรับปริมาณลมผสมสีปานกลาง (0) และความต่างศักย์สูง (+) ได้ความหนา 99 ไมครอน ผลที่ได้กลับต่างกันถึง 15 ไมครอน ดังนั้นจากการทดลองใหม่จะไม่นำข้อมูลเก่ามาใช้เพื่อตัดประเด็นที่มีปัจจัยแทรกซ้อนออก

ลำดับที่	ความต่างศักย์	ปริมาณลม
1	40 KV.	3
2	70 KV.	3
3	100 KV.	3
4	40 KV.	5
5	70 KV.	5
6	100 KV.	5
7	40 KV.	7
8	70 KV.	7
9	100 KV.	7

ตารางที่ 5.2 แสดงรายละเอียดการทดลองของความต่างศักย์และปริมาณลม

5.2.2 การทดลองเพิ่มเติม

เพื่อให้การทดลองน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น จึงจะทำการทดลองใหม่ทั้งหมด 9 แบบ ๆ ละ 3 ครั้ง ซ้ำกัน โดยจะทำการวิเคราะห์เฉพาะความหนาของชั้นสีที่ได้เท่านั้น ค่าอุณหภูมิเตาอบ = 180°C เวลาที่ใช้ในการอบ 15 - 15.5 นาที และปัจจัยอื่น ๆ คงให้เหมือนกับที่ผ่านมาในบทที่ 4

ขั้นตอนการทดลอง

- แผ่นเหล็กหนา 0.17 x 200 x 200 มิลลิเมตร

- ผ่านเข้ากระบวนการเคลือบฟอสเฟตตามปกติ
- ผ่านการพ่นสี ซึ่งจะทำการพ่นด้านเดียว เพื่อจะขจัดปัจจัย จากคนที่พ่นอีกด้านหนึ่งออกไปการพ่นจะเน้นให้มีการพ่นขึ้น - ลง จำนวน 2 รอบ โดยตั้งระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับปืนพ่นสี ประมาณ 15 เซ็นติเมตร ตลอดการพ่น
- ผ่านชิ้นงานเข้าเตาอบปกติ
- นำมาวัดความหนาของชั้นสีตามวิธีการทดสอบในบทที่ 5

จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.3

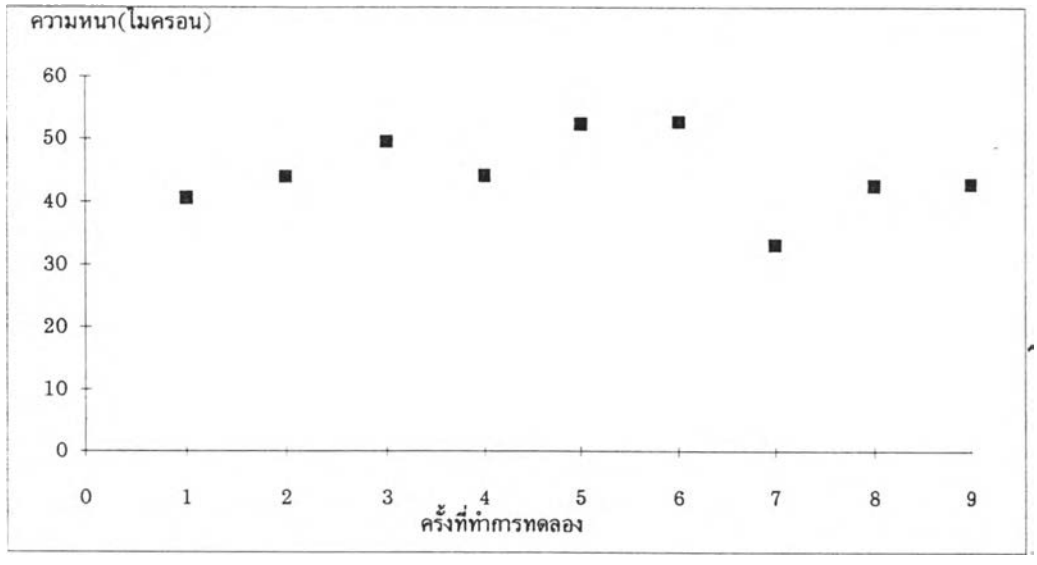
ลำดับที่	ความต่างศักย์ (KV.)	ปริมาณลมผสมสี (ลบ.ม./ชม.)	ความหนาของสี เฉลี่ย (ไมครอน)/SD
1	40	3	40.6/7.0
2	70	3	43.9/10.6
3	100	3	49.5/11.8
4	40	5	44.1/9.3
5	70	5	52.3/12.7
6	100	5	52.7/16.2
7	40	7	33.1/9.3
8	70	7	42.5/15.6
9	100	7	45.1/13.7

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดลองของค่าความต่างศักย์และปริมาณลมผสมสี

* ส่วนข้อมูลดิบให้ดูจากภาคผนวก

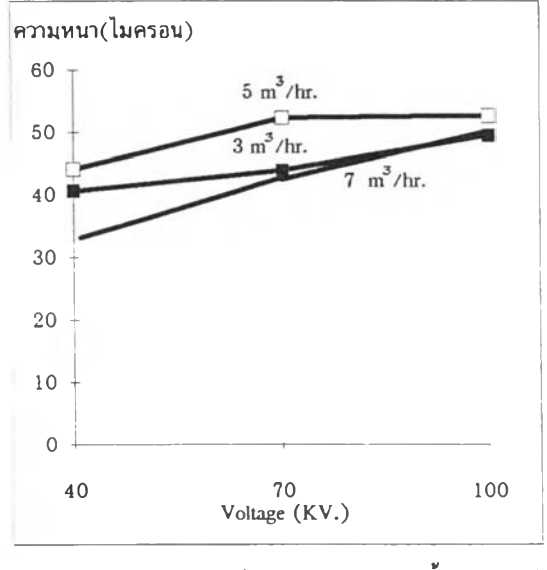
5.2.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนที่เพิ่มเติม

จากการทดลองค่าความหนาของชั้นสี เป็นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลดิบเพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ จากนั้นเมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเขียน Run Chart เพื่อดูการกระจายตัวและแนวโน้มของข้อมูลว่าผิดปกติหรือไม่ จะได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดง Run Chart ของการทดลองเพิ่มเติมของความหนาของชั้นสี

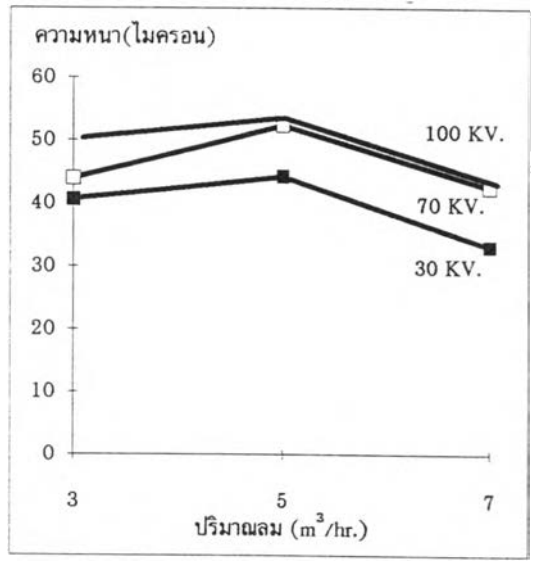
จาก Run Chart จะพบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีกลุ่มข้อมูลชุดใดผิดปกติ เมื่อนำข้อมูลค่าความต่างศักย์ และปริมาณลมผสมสีที่ได้ไปเขียนกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์กับความหนาของชั้นสี จะได้กราฟมีลักษณะตามรูปที่ 5.4 และ 5.5



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟระหว่างความต่างศักย์และความหนาของชั้นสีโดยให้ปริมาณลมเท่ากัน

จากรูปที่ 5.4 เมื่อให้ความต่างศักย์ แปรผันและค่าของปริมาณลมผสมสีเป็นกลุ่มที่เท่าอยู่เส้นเดียวกันจะพบว่า เมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้น แนวโน้มจะทำให้ความหนาของชั้นสีเพิ่มขึ้น เรื่อย

ๆ จนกระทั่งถึงค่า ความต่างศักย์ = 100 KV. อย่างไรก็ดียกเว้นกรณีที่ปริมาณลมผสมสี = 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เมื่อความต่างศักย์เกิน 70 KV. ขึ้นไป การเพิ่มความต่างศักย์จะเพิ่มความหนาของชั้นสีน้อยมาก และปริมาณลมผสมสีที่เหมาะสมก็คือ 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟระหว่างปริมาณลมและความหนาชั้นสีโดยให้ความต่างศักย์คงที่

นอกจากนี้ยังพบว่ามี Interaction ระหว่างความต่างศักย์ และประมาณลมผสมสี เนื่องจากเส้นกราฟทั้ง 3 มีลักษณะไม่ขนานกันเป็นระเบียบและยังมีการไม่เป็นไปตามระดับชั้นของการเพิ่มหรือลด ปริมาณลมผสมสี คือ 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะให้เส้นกราฟสูงสุด รองลงมาเป็น 3 และ 7 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับซึ่ง Interaction ที่เกิดขึ้นต้องวิเคราะห์จากกราฟในรูปที่ 5.5

จากรูปที่ 5.5 เมื่อให้ค่าของปริมาณลมผสมสีแปรผัน และค่าความต่างศักย์เป็นกลุ่มที่เท่ากันอยู่เส้นเดียวกัน จะพบว่าที่ปริมาณลมจาก 3 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เพิ่มเป็น 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ความหนาของชั้นสีจะเพิ่มไม่มากนักยกเว้น ที่กลุ่มของความต่างศักย์ 70 KV. จะเพิ่มเกือบ 10 ไมครอน หรือประมาณ 20 % ซึ่งเป็นค่าที่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ดีเมื่อปริมาณลมผสมสีเพิ่มเป็น 7 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ความหนาของชั้นสีกลับลดลงทุกค่า ประมาณ 10 ไมครอน นั่นคือปริมาณลมที่เกิน 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะทำให้ชั้นความหนาของสีลดลงไม่ว่าจะเป็นค่าความต่างศักย์ใด ๆ นั่นคือ ปริมาณลมที่เหมาะสม จะอยู่ ที่ 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

Interaction ระหว่างค่าความต่างศักย์ และปริมาณลมผสมสี จะเป็นเฉพาะช่วง 70 KV. กับ 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง อธิบายได้ว่า เมื่อปริมาณลมอยู่ที่ 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ความหนา

ของชั้นสีจะเพิ่มมาก เมื่อความต่างศักย์เท่ากับ 70 KV. เมื่อปริมาณลมผสมสีเท่ากับ 5 การเพิ่มความต่างศักย์จะไม่ส่งผลให้ความหนาของชั้นสีเพิ่มมากนัก

สรุป

ที่ค่าความต่างศักย์เท่ากัน การปรับปริมาณลมที่ 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะให้ความหนาของชั้นสีสูงสุด และเมื่อความต่างศักย์เพิ่มขึ้นความหนาชั้นสีจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ยกเว้นที่ปริมาณลมผสมสี 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เมื่อถึง 70 KV. ความหนาของชั้นสีจะไม่เพิ่มมากนัก

ที่ปริมาณลมผสมสีเท่ากัน ความต่างศักย์ที่ 100 KV. จะให้ความหนาของชั้นสีสูงสุดแต่จะมากกว่า 70 KV. ไม่มากนักเมื่อปริมาณลมผสมสีเพิ่มขึ้นเกิน 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ความหนาของชั้นสีจะลดลง และที่ความต่างศักย์ 70 KV. เมื่อเพิ่มปริมาณลมผสมสีก่อนถึง 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง จะให้ค่าเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสีมากสุด = 20 % นี่เพิ่มขึ้น

จากการทดลองนี้จะชี้ข้อดี-ข้อเสีย ของการปรับค่าปริมาณลมผสมสี และความต่างศักย์ คือ ในแง่ชิ้นงานบางอย่างที่ไม่ต้องการความหนาของชั้นสีมากเพราะสิ้นเปลืองสี ควรปรับปริมาณลมให้มากกว่า 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และค่าความต่างศักย์ให้ต่ำ ๆ เข้าไว้

ในทางกลับกันชิ้นงานใดที่ต้องการความหนาของชั้นสีมาก เพื่อความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศทนต่อสารเคมี และอื่น ๆ ควรปรับให้ปริมาณลมผสมสีเท่ากับ 5 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และความต่างศักย์ไม่น้อยกว่า 70 KV. ควรหลีกเลี่ยงปริมาณลมมาก ๆ หรือน้อยเกินไป และหลีกเลี่ยงการใช้ความต่างศักย์ต่ำ ๆ

5.3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 3

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 3 นี้เป็นการหาปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมคุณภาพของสีที่ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติสามารถที่จะปรับปัจจัยดังกล่าวเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมต่อการทำงาน และจะส่งผลดีในด้านคุณภาพของสีที่ได้และคุณสมบัติที่ดีของสี ประกอบด้วยหัวข้อย่อย 2 หัวข้อคือ

- ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 5 อุณหภูมิอบสีที่เปลี่ยนแปลงกับคุณภาพของสี
- ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 6 การปรับเวลาในการอบกับคุณภาพของสี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 5

5.3.1.1 ผลการทดลองที่ 5

ชื่อการทดลอง อุณหภูมิอบสีที่เปลี่ยนแปลงกับคุณภาพสี วันที่ 26/02/95

วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาว่าอุณหภูมิอบสีมีผลต่อคุณภาพสีอย่างไร

หมายเหตุ

ชนิดของการทดสอบ	ผลการทดสอบ		
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. คุณภาพของสีที่ได้ (△ E)	2.95	2.29	0.23
การ เคียวริง ของสี (วินาที)	35	45	3600*
2. ความหนาของสีต่ำสุด (ไมครอน)	55	40	55
ความหนาของสีสูงสุด (ไมครอน)	110	115	115
ค่าเฉลี่ยความหนาของสี / S.D. (ไมครอน)	82 / 13.7	77 / 21.3	79 / 16.3
3. การยึดเกาะของเนื้อสี (กก./ตร.ซม.)	5.4	11.6	60.0**
การทนการดัดงอ (องศา)	45	90	180***
4. การทนต่อสภาพเกลือ (%ของสนิม)	0%	0%	0%
การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ(% ของสนิม)	0%	0%	0%

ตัวอย่างที่ 1 คือ อุณหภูมิทดสอบ = 120 °C

ตัวอย่างที่ 2 คือ อุณหภูมิทดสอบ = 150 °C

ตัวอย่างที่ 3 คือ อุณหภูมิทดสอบ = 180 °C

- ศักย์ไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานกับปืน = 80 KV.
- แรงดันของอากาศที่ใช้ = 1.52 บาร์
- อุณหภูมิของเตาอบ = แปรผัน °C
- เวลาที่ใช้ในการอบ = 15.5 นาที

หมายเหตุ ช่องที่มี - หมายถึง ไม่ต้องทดสอบด้วยวิธีการนี้หรือไม่ได้นำตัวอย่างเข้าทดสอบ

* ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3600 วินาที ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง

** เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบวัดค่าได้สูงสุด 60.0 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

*** องศาการดัดงอที่ทดสอบได้สูงสุด = 180

5.3.1.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 5

<u>คุณภาพของสี</u>

- คุณภาพของสีเมื่อเทียบกันเองจะพบว่าชิ้นงานที่อบที่อุณหภูมิต่ำ ๆ เช่น 120°C และ 150°Cจะมีค่าความเพี้ยนสีสูง หรือค่า ΔE สูงเมื่อเทียบกับชิ้นงานมาตรฐาน หรือชิ้นงานที่ผ่านการอบที่ 180°C ที่เป็นตัวอย่างด้วยกัน คือสูงกว่า 2.0 ซึ่งค่าที่สูงดังกล่าวสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือสามารถแยกแยะได้ด้วยตาเปล่า ขณะเดียวกัน ΔE ของชิ้นงานที่ผ่านการอบ ที่ 180°C = 0.23 เทียบกับสีมาตรฐานค่านี้น้อยจนไม่สามารถแยกความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ด้วยตาเปล่าส่วนนี้สอดคล้องกับทฤษฎีของโพลิเมอร์ ซึ่งสามารถหาเหตุผลสนับสนุนได้จากบทที่ 6 หัวข้อ 6.1

- การเคียวริ่งของชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 180°C พบว่าการเคียวริ่งจะไม่สมบูรณ์ และสีจะเริ่มละลายลงสู่ทินเนอร์ในระยะเวลาค่อนข้างสั้นคือ ที่ 150°C จะละลายหมดภายในเวลา 45 วินาที และที่ 120°C จะละลายหมดภายในเวลา 35 วินาที ดังนั้นกล่าวได้ว่าอุณหภูมิการอบมีผลต่อการเคียวริ่ง

<u>ความหนาของสี</u>

- ความหนาของสีต่ำสุด อยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกันยกเว้น ที่ 150°C จะได้ 40 ไมครอน ซึ่งน่า จะมีผลผิดปกติบางอย่างในการพ่นสีปัจจัยดังกล่าวน่าจะมาจากการพ่นสี

- ความหนาของสีสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน

- ความหนาเฉลี่ยของสีใกล้เคียงกันแต่ที่ 120°C ความหนาเฉลี่ยจะสูงกว่า 5 ไมครอน แต่เนื่องจากการทดลองจะแปรผันค่าอุณหภูมิใช้อบเท่านั้น ดังนั้นความหนาที่แปรเปลี่ยนอาจจะมีสิ่งผิดปกติเล็กน้อยในการทดลอง เมื่อตรวจสอบข้อมูลโดยการใช้สมมติฐานทางสถิติในภาคผนวก ก. จะพบว่าให้ยอมรับสมมติฐานแสดงว่าความหนาเฉลี่ยของสีเท่ากันซึ่งควรจะเป็นเช่นนั้นเพราะได้ตัดปัจจัยที่จะส่งผลต่อความหนาของชั้นสีออกไปแล้วเพียงแต่ทำการวัดความหนาเพื่อสนับสนุนการทดลองและดูค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

<u>คุณสมบัติทางกลของสีภายหลังการอบ</u>

- การยึดเกาะของสีต่อชิ้นงาน ที่ 180, 150 และที่ 120°C จะให้ค่าเท่ากับ >60.0 , 11.5 และ 5.4 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ตามลำดับส่วนจะสังเกตเห็นว่าการอบที่อุณหภูมิต่ำเช่นที่ 150

และ 120°C จะให้ผลของแรงยึดเกาะต่ำคือน้อยกว่า 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร แสดงว่าอุณหภูมิที่ใช้อบจะส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะของสีมากน้อยต่างกันด้วย นั่นคือสีเคียวริ่งไม่ดีพอจะทำให้แรงยึดเกาะจะน้อย เนื้อสีเซ็ทตัวไม่สมบูรณ์จะทำให้คุณสมบัติทางกลด้อยลง

- การทนการดัดงอ เมื่อชิ้นงานที่ผ่านการอบที่ 150°C เข้าทดสอบ เมื่อผ่านการดัดงอจะพบว่าดัดได้ 90 ° เท่านั้นสีก็จะแตกออกมาเป็นรอย ขณะที่ชิ้นงานที่ผ่านการอบที่ 120°C จะเริ่มแตกเมื่อดัดได้มุม = 45° เท่านั้น ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการอบที่ 180°C สามารทนการดัดงอได้เกิน 180° ดังนั้นสรุปได้ว่าการทนการดัดงอขึ้นกับอุณหภูมิของการอบสีด้วย เหตุผลคงเหมือนกับการวัดค่าแรงยึดเกาะของเนื้อสี

<u>คุณสมบัติการทนต่อสารเคมีภายหลังการอบ</u>

- การทนต่อสารเคมี การอบทุกอุณหภูมิ สามารถทำให้สีครอบคลุมผิวหน้าของชิ้นงานได้ดีจึงทำให้ % การเกิดสนิม = 0 ทั้งหมด

- การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150°C แล้วอบ 10 นาที สลับกับจุ่มน้ำเย็น การกระทำเช่นนี้จะทำให้การเคียวริ่งของสีที่ผ่านการอบ 120°C และ 150 °C ดีขึ้น จะทำให้สีมีคุณสมบัติป้องกันสนิมดีขึ้นอีก ทำให้ % การเกิดสนิม = 0

สรุปการอบที่อุณหภูมิต่างกันจะส่งผลให้

- คุณภาพของสีแตกต่างกัน
- การเคียวริ่งแตกต่างกัน
- การยึดเกาะของสีต่อชิ้นงานแตกต่างกัน
- การทนการดัดงอแตกต่างกัน

5.3.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 6

5.3.2.1 ผลการทดลองที่ 6

ชื่อการทดลอง การปรับเวลาในการอบกับคุณภาพสีที่ได้ วันที่ 26/02/95

วัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อศึกษาว่าเวลาในการอบสีมีผลต่อคุณภาพสีอย่างไร

หมายเหตุ

ชนิดของการทดสอบ	ผลการทดสอบ		
	ตัวอย่างที่1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1. คุณภาพของสีที่ได้ (△ E)	1.15	0.23	0.71
การ เคียวริง ของสี (วินาที)	3600*	3600*	3600*
2. ความหนาของสีต่ำสุด (ไมครอน)	50	55	60
ความหนาของสีสูงสุด (ไมครอน)	120	110	120
ค่าเฉลี่ยความหนาของสี / S.D. (ไมครอน)	82 / 15.1	77 / 12.5	84 / 12.4
3. การยึดเกาะของเนื้อสี (กก./ตร.ซม.)	13.6	60.0**	60.0**
การทนการดัดงอ (องศา)	180***	180***	180***
4. การทนต่อสภาพเกลือ (%ของสนิม)	0%	0%	0%
การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ(% ของสนิม)	0%	0%	0%

ตัวอย่างที่ 1 คือ เวลา ที่ใช้ = 6 นาที

ตัวอย่างที่ 2 คือ เวลา ที่ใช้ = 15.5 นาที

ตัวอย่างที่ 3 คือ เวลา ที่ใช้ = 31 นาที

- ศักย์ไฟฟ้าระหว่างชิ้นงานกับปืน = 80 KV.
- แรงดันของอากาศที่ใช้ = 1.52 บาร์
- อุณหภูมิของเตาอบ = 180 °C
- เวลาที่ใชในการอบ = แปรผัน นาที

หมายเหตุ ช่องที่มี - หมายถึง ไม่ต้องทดสอบด้วยวิธีการนี้หรือไม่ได้นำตัวอย่างเข้าทดสอบ

* ทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3600 วินาที ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง

** เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบวัดค่าได้สูงสุด 60.0 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร

*** องศาการดัดงอที่ทดสอบได้สูงสุด = 180

5.3.2.2 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 6

คุณภาพของสี

- เมื่อเวลาของการอบสีน้อย ๆ เช่น 6 นาที จะทำให้คุณภาพของสี หรือค่า ΔE สูงถึง 1.5 ซึ่งค่านี้สามารถสังเกตความแตกต่างของสีที่ได้กับตัวอย่างมาตรฐานได้ด้วยตาเปล่า ขณะเดียวกันเมื่ออบนานถึง 31 นาที คุณภาพของสีหรือค่า ΔE ก็จะสูงเช่นกัน = 0.71 ค่านี้อาจจะสูงไม่เพียงพอที่บุคคลทั่วไปจะแยกความแตกต่างได้ดีนัก ต้องให้ผู้ชำนาญในการดูสีจะบอกความแตกต่างกับสีมาตรฐานได้ด้วยการสังเกต อย่างไรก็ดีสีที่ได้จะเริ่มเพี้ยนจากสีมาตรฐาน ซึ่งแสดงว่าการอบนานย่อมไม่เกิดผลดีต่อสีเช่นกัน อาจจะทำให้เกิดสภาพที่เรียกว่าโอเวอร์เดียวริ่ง ดังนั้นระยะเวลาการอบสีจึงมีผลต่อค่า ΔE

- การเดียวริ่งทุกตัวอย่างสูงกว่า 3,600 วินาที

ความหนาของสี

ในการทดลองใช้ตัวอย่างชิ้นงานเหมือนกัน สภาพการทดลองใกล้เคียงกันความหนาของสีต่ำสุดและความหนาของสีสูงสุดพบว่าใกล้เคียงกันโดยเฉพาะความหนาของสีเฉลี่ย ความหนาที่ผิดไปอาจจะเกิดความผิดพลาดได้จากการพ่นสีซึ่งค่าดังกล่าวไม่มากนักประกอบกับเมื่อทดสอบด้วยสมมติฐานทางสถิติในภาคผนวก ก. พบว่าค่าความหนาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน การวัดครั้งนี้จึงช่วยสนับสนุนการทดลองและดูค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

คุณสมบัติทางกลของสีภายหลังการอบ

- การยึดเกาะของสีต่อชิ้นงาน ทุกตัวอย่างให้ค่ามากกว่า 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ยกเว้นกรณีที่เวลาการอบ = 6 นาที จะได้แรงยึดเกาะ = 13.6 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร แสดงว่าการยึดเกาะไม่ดีเนื่องมาจากการเดียวริ่งยังไม่สมบูรณ์

- การทนการดัดงอ ที่เวลาการอบ 15.5 นาทีและ 31 นาที จะให้ค่ามากกว่า 180° ส่วนการอบที่ 6 นาที ทนการดัดงอได้ 135 ° สีก็จะเกิดการแตกออกมา แสดงว่าการเดียวริ่งยังไม่สมบูรณ์ เมื่อดัดงอหรือขึ้นรูปสีก็จะแตกออก

คุณสมบัติการทนต่อสารเคมีภายหลังการอบ

- การทนต่อสารเคมี จะพบว่า % การเกิดสนิม = 0
- การทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทุกตัวอย่างให้ค่า % การเกิดสนิม = 0

สรุปการปรับค่าเวลาที่ใช้ในการอบ จะพบว่าเมื่ออบที่เวลาน้อย ๆ เช่น 6 นาที การเคียวริ่งของสีจะยังไม่สมบูรณ์สังเกตได้จากสีจะมีค่าความเพี้ยนสูงสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ขณะเดียวกันการอบที่มากไปก็จะทำให้ชิ้นงานได้สีที่เปลี่ยนไปด้วยเช่นกัน แต่สิ่งที่น่าสนใจคือคุณสมบัติทางกลหลังการเคียวริ่ง ถ้าไม่สมบูรณ์จะส่งผลได้การทนการดัดงอไม่ดีสีจะแตก นั่นคือไม่สามารถนำไปขึ้นรูปได้ แต่การอบสีนานเกินไปจะไม่ทำให้คุณสมบัติทางกลลดลง หรือแม้แต่คุณสมบัติทางเคมีด้วยก็ตามแต่อาจจะทำให้ค่า ΔE เริ่มมากขึ้น นั่นคือเวลาในการอบจะมีผลต่อการขึ้นรูปของชิ้นงานในกระบวนการถัดไปและสีที่ได้อาจจะผิดเพี้ยนจากสีมาตรฐานอยู่มาก

5.4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองส่วนที่ 4

<u>คุณภาพสี</u>

ในงานที่ต้องการความสวยงาม และเป็นมาตรฐาน คุณภาพของสีบนชิ้นงานที่ปรากฏจะต้อง เหมือนกันนั่นคือ ΔE จะต้องควบคุมให้แตกต่างจากสีมาตรฐานน้อยที่สุด อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การที่จะควบคุมคุณภาพของสีที่ได้ก็จะมีปัจจัยอยู่ 2 ตัวด้วยกันคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบและเวลาที่ใช้ในการอบ

ในหัวข้อที่ 5.4 ส่วนนี้จะเป็นการทดลองเพิ่มเติม โดยการปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นหรือต่ำลง และการขยายเวลาหรือลดระยะเวลาในการอบ ทั้งนี้เพื่อจะหาค่าความสัมพันธ์ของ ΔE ที่วัดได้กับปัจจัยดังกล่าว จะนำมาสรุปเป็นกราฟเพื่อหาว่า ณ อุณหภูมิใด และเวลาใดที่เหมาะสมกับการอบสีมากที่สุด

ในเรื่องของการเคียวริ่งของสี, คุณสมบัติทางกลของสีภายหลังการอบและคุณสมบัติการทนต่อสารเคมีภายหลังการอบ คุณสมบัติทั้ง 3 ดังกล่าว เชื่อว่าน่าจะเป็น Subset ของเรื่องคุณภาพสี กล่าวคือถ้าปรับปัจจัยที่เหมาะสมได้โดยส่งผลให้คุณภาพสีดี คุณสมบัติทั้ง 3 น่าจะผ่านเกณฑ์การทดสอบด้วย อย่างไรก็ดีในการวัดค่าคุณภาพของสีที่ได้จากการปรับปัจจัย ในเรื่องของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ อาจจะทำการทดสอบและวัดค่าคุณสมบัติบางตัวเพื่อสนับสนุนการทดลองดังกล่าว

ในเรื่องคุณภาพสีที่ได้จะแบ่งหัวข้อการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน ด้วยกันเพื่อชี้แจงรายละเอียดได้ครบถ้วน

- การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ 5 และ 6 เพิ่มเติม
- การทดลองเพิ่มเติม
- การวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนที่เพิ่มเติม
- การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ 1-6 ในเรื่องแรงยึดเกาะของสี

5.4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ 5 และ 6 เพิ่มเติม

เช่นกันจากผลการทดลองในหัวข้อ 5.3 เมื่อลองนำค่าของ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบ และเวลาที่ใช้ในการอบ เพื่อดูความสัมพันธ์กับของค่าดังกล่าวกับ ΔE ที่ได้ โดยคัดเฉพาะผลการทดลองที่ 5 และ 6 ซึ่งได้ค่าของข้อมูลตามตารางที่ 5.4 เมื่อนำค่าในตารางที่ 5.4 มาเขียนกราฟเพื่อดูว่าค่าทั้ง 2 มี Interaction อย่างไร จะได้ผลตามกราฟรูปที่ 5.6 และ 5.7 ทั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานการตัดสินใจในการทดลองที่จะทำเพิ่มเติม

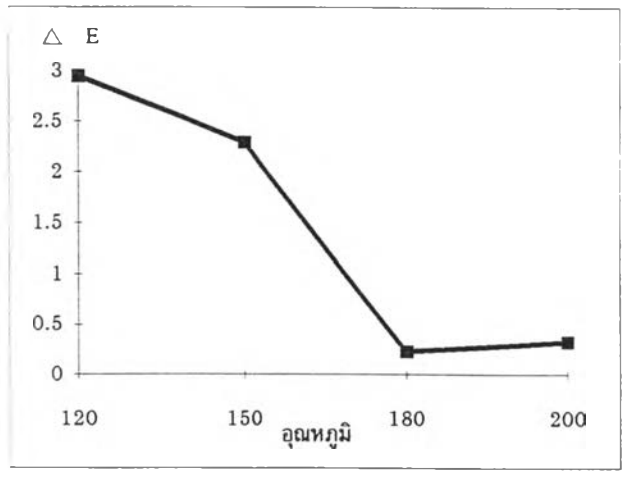
ลำดับที่	การปรับค่าอุณหภูมิที่ใช้อบ		การปรับเวลาที่ใช้ในการอบ	
	อุณหภูมิที่ใช้	ΔE	เวลาที่ใช้	ΔE
1	120	2.95	6	1.15
2	150	2.29	15.5	0.23
3	180	0.23	31	0.71
4	200	0.32		

ตารางที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔE กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้

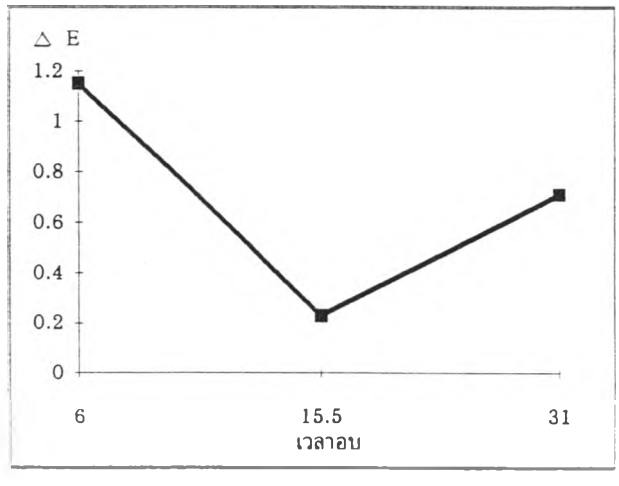
จากกราฟจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่า ΔE จะน้อยแสดงว่าความเพี้ยนของสีต่ำ แต่เมื่ออุณหภูมิมากไปสีก็จะเพี้ยนมากขึ้นอีก จะมีที่จุดหนึ่งที่เหมาะสม ในทำนองเดียวกันเวลาที่ใช้ในการอบถ้าน้อยไปค่า ΔE ก็จะมาก แสดงว่าสีเพี้ยนมาก และถ้าเวลามากเกินไป ΔE ก็จะมากเช่นกัน จะมีค่ากลาง ๆ เท่านั้นที่เหมาะสม เพื่อเป็นการหา Interaction ของอุณหภูมิในการอบ และเวลาที่ใช้ในการอบจะทำการทดลองเป็น 3 ระดับ คือ ที่อุณหภูมิ 155 , 180, 205 $^{\circ}C$

เวลาที่ใช้ 7, 15, 23 นาที

รายละเอียดของตัวเลขของปัจจัยศึกษาได้ในภาคผนวก ข.



รูปที่ 5.6 แสดงค่า ΔE กับอุณหภูมิที่ใช้อบ



รูปที่ 5.7 แสดงค่า ΔE กับเวลาที่ใช้อบ

5.4.2 การทดลองเพิ่มเติม

จากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 5.4.1 จะพบว่าควรจะมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อพิจารณา Interaction ที่เกิดขึ้นระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกับเวลาที่ใช้ในการอบ นั่นคือจะเป็นการทดลองแบบปรับ 2 ปัจจัย แต่มี 3 ระดับ การทดลองจะประกอบด้วย 9 แบบการทดลองที่ปรับ

ปัจจัยและระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งตารางการทดลองสามารถแสดงได้ตามตารางที่ 5.5 โดยทำการทดลองซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง

การทดลองนี้จะดำเนินการใหม่ทั้งหมดเนื่องจาก อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบจะไม่สัมพันธ์กับการทดลองในบทที่ 4 คือจะใช้ค่ากำหนดที่แตกต่างกันแต่จะใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นพื้นฐานในการทดลองครั้งนี้

ลำดับที่	อุณหภูมิที่ใช้	เวลาที่ใช้
1	155	7
2	180	7
3	205	7
4	155	15
5	180	15
6	205	15
7	155	23
8	180	23
9	205	23

ตารางที่ 5.5 แบบการทดลองเพิ่มเติมของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ

<u>ขั้นตอนการทดลอง</u>

- แผ่นเหล็กหนา 0.17 x 200 x 200 มิลลิเมตร จำนวน 27 แผ่น
- ผ่านเข้ากระบวนการเคลือบฟอตเฟสตามปกติ
- ผ่านการพ่นสี ตามมาตรฐานของเครื่องที่ตั้งไว้
- ผ่านชิ้นงานเข้าเตาอบ ที่อุณหภูมิ และเวลาตามเงื่อนไขของการทดลองที่วางไว้
- นำชิ้นงานเคลือบสีที่ได้มาวัดค่า ΔE
- หาค่าเฉลี่ยของ ΔE จากข้อมูลทั้งหมดและจัดค่าลงในตาราง ส่วนรายละเอียดของข้อมูลดิบให้ดูจากตารางภาคผนวก

ผลการทดลองจะได้ตามตารางที่ 5.6

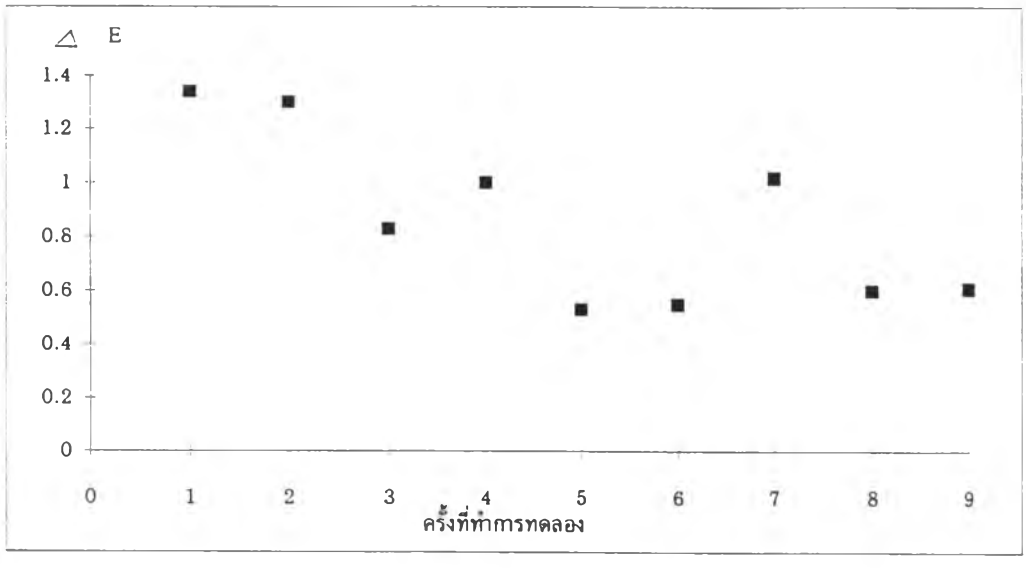
ลำดับที่	อุณหภูมิที่ใช้อบ ($^{\circ}C$)	เวลาที่ใช้ในการอบ (นาที)	ΔE
1	155	7	1.34
2	180	7	1.30
3	205	7	0.83
4	155	15	1.00
5	180	15	0.53
6	205	15	0.55
7	155	23	1.02
8	180	23	0.60
9	205	23	0.61

ตารางที่ 5.6 แสดงค่า ΔE ที่ได้จากการทดลอง

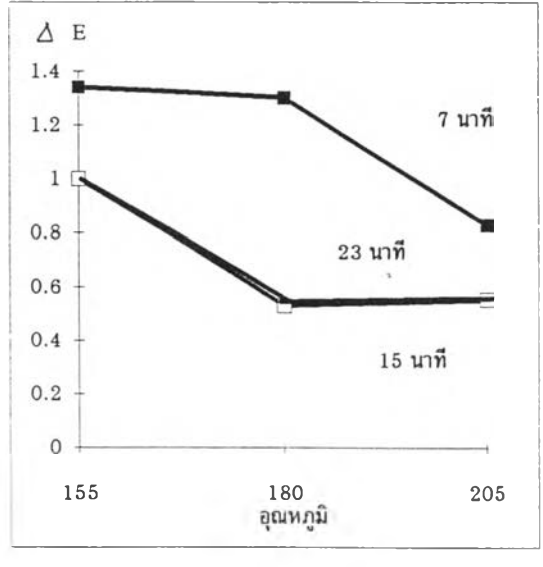
5.4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองในส่วนที่เพิ่มเติม

จากตารางทดลองค่าของ ΔE นั้นจะเป็นค่าเฉลี่ย จากข้อมูลดิบ เพื่อสะดวกในการวิเคราะห์ เมื่อนำข้อมูลจากตารางมาเขียนเป็น Run Chart เพื่อดูความผิดปกติของข้อมูลจะได้ตามกราฟ รูปที่ 5.8

จาก Run Chart จะพบว่าข้อมูลของ ΔE เทียบกับอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอบมีการกระจายตัวแบบสุ่ม ไม่มีกลุ่มข้อมูลชุดใดผิดปกติ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาเขียนเป็นกราฟ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔE กับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ จะได้กราฟตามรูปที่ 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ



รูปที่ 5.8 เป็น Run Chart ของการทดลองเรื่องคุณภาพสี

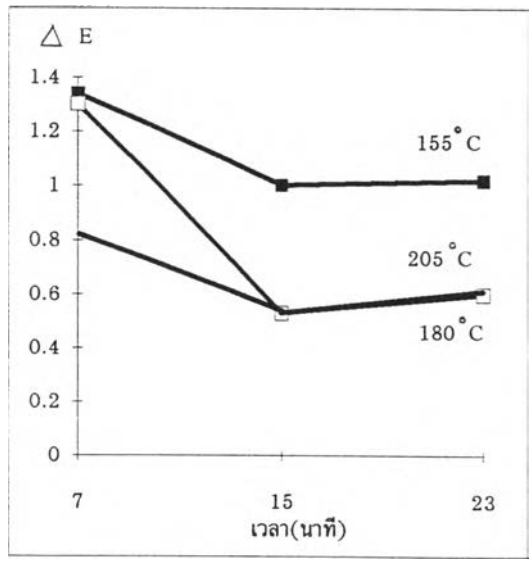


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.9 แสดงค่า ΔE เทียบกับอุณหภูมิที่ใช้อบ

จากกราฟรูปที่ 5.9 เป็นการพลอตค่าแปรผันของอุณหภูมิกับค่า ΔE โดยจัดกลุ่มของเวลาที่ใช้อบที่เท่ากันเป็นกลุ่มเดียวกัน จะพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แนวโน้มของ ΔE จะลดลง (ΔE ที่ลดลงใกล้ 0 แสดงว่าสีใกล้เคียงกับสีมาตรฐานที่ต้องการ) แต่จะมีความแตกต่างกัน 2 กลุ่ม ที่เด่นชัดคือกลุ่มเวลาที่ใช้อบ 7 นาที กับกลุ่มเวลาที่ใช้อบ 15 นาทีขึ้นไป พบว่ากลุ่ม 7 นาที เมื่อ

อุณหภูมิอบสูงขึ้นจาก 155°C เป็น 180°C ค่า ΔE มีการลดลงช้ามาก ถ้าเกิน 180°C ไปแล้วถึง 205°C ค่า ΔE จะลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 5.10 แสดงค่า ΔE เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ

กลุ่ม 15 นาทีขึ้นไปมี 2 เส้นคือ 15 กับ 23 นาที พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากแทบจะเป็นเส้นเดียวกัน (ค่าที่ต่างกันเล็กน้อยที่เห็นในกราฟ ไม่มีนัยสำคัญ เพราะสายมนุษย์ ไม่สามารถแยกสีหรือความแตกต่างที่ ΔE น้อย ๆ ดังกล่าวได้) มีลักษณะที่ลดลงจาก ที่ 155°C ถึง 180°C ΔE จะลดลงอย่างรวดเร็วมาก และภายหลังเกิน 180°C แล้ว ค่า ΔE จะเพิ่มขึ้นช้า ๆ จนถึง 205°C จากกราฟที่ได้จะพบว่ามี Interaction ระหว่างอุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอบ ซึ่งได้อธิบายเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์กราฟรูปที่ 5.10 ส่วนเวลาที่ใช้อบที่เหมาะสมก็คือตั้งแต่ 15 นาทีขึ้นไป จนถึง 23 นาที แต่ 15 นาทีจะประหยัดกว่า

จากกราฟรูปที่ 5.10 เป็นการพลอตค่าแปรผันของเวลาที่ใช้ในการอบ กับค่า ΔE โดยจัดกลุ่มของอุณหภูมิที่ใช้อบที่เท่ากันเป็นกลุ่มเดียวกัน จะพบว่าที่เวลาใช้อบเพิ่มจาก 7 นาที เป็น 15 นาที ค่าของ ΔE จะลดลง โดยที่อุณหภูมิอบ 155°C กับ 180°C มีความชันใกล้เคียงกัน แต่ของอุณหภูมิ 205°C จะลดลงอย่างรวดเร็วมากจนใกล้เคียงกับที่อุณหภูมิ 180°C และจากช่วง 15 นาที ถึง 23 นาทีจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้ง 3 อุณหภูมิ แต่ค่า ΔE เพิ่มขึ้นทั้ง 3 มีค่าน้อยมาก อาจจะกล่าวได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะกับการอบจะเท่ากับ 180°C

สำหรับ Interaction ระหว่างอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในการอบ จะเป็นในช่วงอุณหภูมิ 180- 205°C และเวลาที่ใช้อบ 7 ถึง 15 นาที อธิบายได้ว่า ที่เวลา 7 นาที ค่า ΔE ของอุณหภูมิอบที่ 200 °C จะสูงกว่าที่ 180°C แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทั้ง 2 อุณหภูมิจะมี ΔE ที่ลดลงแต่ของ 205°C มีแนวโน้มที่ลดลงได้รวดเร็วกว่า จนกระทั่งใกล้เคียงกันที่เวลา 15 นาที จากนั้นจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่มากนัก ซึ่งส่วนนี้จะสรุปถึงข้อดีและข้อเสียได้ดังนี้

<u>สรุป</u>

ที่ค่าของอุณหภูมิอบเท่ากัน การปรับเวลาที่ใช้ในการอบที่ 15 นาที ขึ้นไปจนถึง 23 นาที จะให้ค่า ΔE ต่ำกว่า เวลาที่ใช้อบน้อย นั่นคือสีจะเพี้ยนน้อยกว่าถ้าอบเวลามากขึ้น ณ อุณหภูมิต่ำ ๆ ส่วนนี้อาจจะช่วยแก้ปัญหาได้ถ้าเคามีปัญหาเรื่องอุณหภูมิ อย่างไรก็ดีถ้าอุณหภูมิที่ใช้อบถึง 180 °C แล้ว ΔE จะยิ่งเข้าใกล้มาตรฐานที่ต้องการ หรือสีจะเพี้ยนน้อยมากจนสายตามนุษย์แยกไม่ได้ ถ้าเวลาที่ใช้อบมากกว่า 15 นาทีจนถึง 23 นาที ซึ่งการเพิ่มเวลาอบหลัง 15 นาทีจะไม่มีผลแต่อย่างใด อาจจะก่อให้เกิดผลเสียได้ อย่างไรก็ดีถ้าเวลาที่ใช้ในการอบน้อย เช่น 7 นาที ควรจะต้องตั้งอุณหภูมิให้สูง เช่น 205 °C เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดี ΔE ยัง = 0.83 ซึ่งถ้ามีการสังเกตดี ๆ จะพบความแตกต่างของสีได้ แต่จะช่วยได้ถ้าเวลาการอบน้อยจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูง

นั่นคือ อุณหภูมิ = 180° C ไม่เกิน 205°C

เวลาอบ = 15 นาที ไม่เกิน 23 นาที

ถ้ามองในแง่ของการประหยัด การเพิ่มอุณหภูมิจาก 180°C ไปเป็น 205°C จะสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มเวลาในการอบจาก 15 นาทีไปเป็น 23 นาที ก็เป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน และเสียเวลาในการผลิตเช่นกัน

5.4.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองที่ 1-6 ในเรื่องแรงยึดเกาะของสี

ในหัวข้อจะเป็นการกล่าวถึงการทดลองเพื่อดู Interaction ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ เมื่อเทียบการผลลัพธ์คือค่าของแรงยึดเกาะ หัวข้อย่อยประกอบด้วย

<u>เปรียบเทียบแรงยึดเกาะกับความหนาของชั้นสี</u>

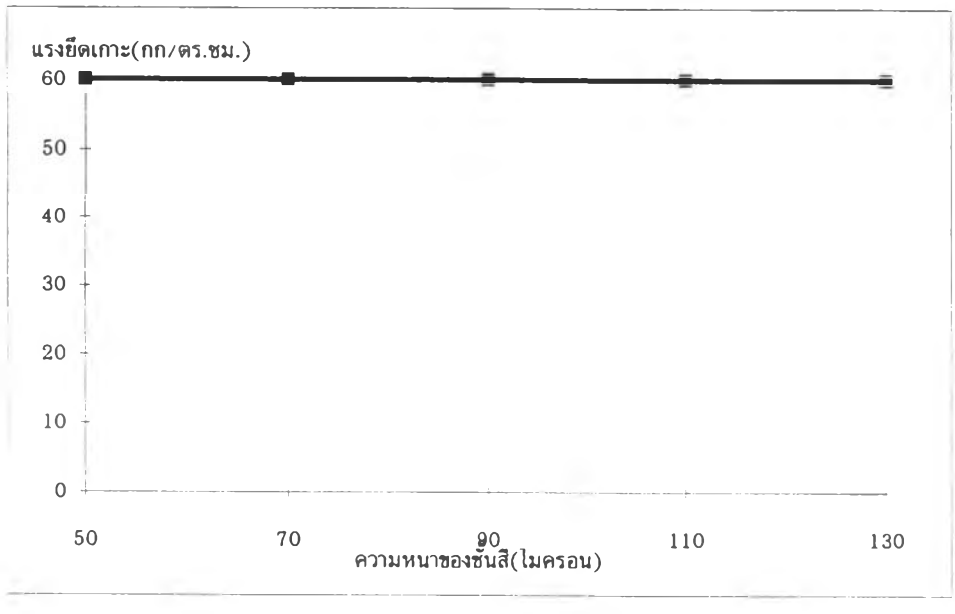
จุดหนึ่งที่อาจจะเป็นข้อสงสัยได้คือ แรงยึดเกาะของสีกับชิ้นงานขึ้นกับความหนาของชั้น

สีหรือไม่ เพราะเมื่อชั้นสีหนาเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งน่าจะให้แรงยึดเกาะที่ดีกว่าชั้นสีที่บาง และชั้นสีที่หนาเกินไปการยึดเกาะก็จะด้อยลงด้วย อย่างไรก็ดี เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองที่ 1-7 มาวิเคราะห์เพิ่มเติม จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 5.7

ความหนาของชั้นสี	50	70	90	110	130
ค่าของแรงยึดเกาะ ของชั้นสีกับชิ้นงาน (กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร)	>60.0	>60.0	>60.0	>60.0	>60.0

ตารางที่ 5.7 แสดงความหนาของชั้นสีกับแรงยึดเกาะ

เมื่อนำค่าจากตารางมาเขียนเป็นกราฟจะได้ดังนี้ตามรูปที่ 5.11

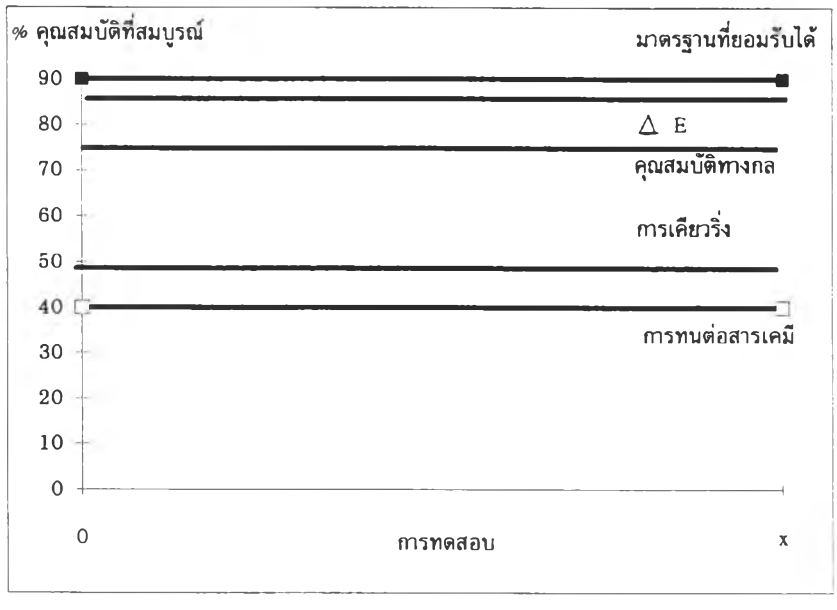


รูปที่ 5.11 แสดงกราฟระหว่างความหนาของชั้นสีกับแรงยึดเกาะ

เนื่องจากเครื่องวัดแรงดึงและกาว Locktight สามารถจะให้ค่าที่วัดได้สูงสุด = 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตรหรือกว่าเล็กน้อยจึงไม่สามารถหาค่าที่แท้จริงของแรงยึดเกาะได้ อย่างไรก็ดีมีบางตัวอย่างและบางจุดพบว่าที่ประมาณ 55 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร พบว่ามีบางส่วนของสีหลุดออกมาเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่จะไม่หลุดออกมา และค่าที่เกิน 60 ขึ้นไปจะมีความไม่แน่นอน

สูง ถ้าขอมว่าที่ 60 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร คือค่าที่ยอมรับได้ของการยึดเกาะของสี ก็สรุปได้ว่าค่าของแรงยึดเกาะของสีกับชิ้นงานไม่ขึ้นกับความหนาของชั้นสีแต่อย่างใด แต่ในส่วนของแรงยึดเกาะนี้จะมีการวิเคราะห์ต่อไปถึงความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและเวลาในการอบในส่วนท้ายของบทนี้

สิ่งหนึ่งที่อยากจะกล่าวเพิ่มเติมก็คือ โดยการพิจารณาจากผลการทดลองในหัวข้อ 5.3 จะพบว่าคุณสมบัติการเคียวริ่ง , คุณสมบัติทางกลของสีและการทนต่อสารเคมี ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบ เช่นเดียวกับค่าของ ΔE อย่างไรก็ดีคุณสมบัติทั้ง 4 ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันโดยอาจจะอธิบายได้ด้วยกราฟรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 แสดงกราฟของเฟคเตอร์และ % ความสมบูรณ์ของงาน

จากกราฟอธิบายได้ว่า คุณสมบัติทางกลของสี, การ Curing และการทนต่อสารเคมีเป็น Subset ของ ΔE นั่นคือถ้ากระทำให้ ΔE ที่ได้ของสีมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ΔE ที่ยอมรับได้ คุณสมบัติทั้ง 3 ข้อตามที่กล่าวมาจะผ่านโดยอัตโนมัติ เช่นสีที่ได้ถ้าสามารถทดสอบผ่านการทนสารเคมีตามมาตรฐานที่กำหนด อาจจะมีการ Curing ที่ไม่สมบูรณ์ได้ คือไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบการ Curing ถ้าสีสามารถผ่านมาตรฐานการทดสอบการ Curing แต่อาจจะไม่ผ่านมาตรฐานการทดสอบทางกลได้ เพราะการยึดเกาะและประสานยังไม่ดีพอ ถ้าสีผ่านมาตรฐานการทดสอบทางกลได้ แต่อาจจะไม่ผ่านในข้อกำหนดมาตรฐานของ ΔE เพราะสีที่ได้ยังมีความเพี้ยนอยู่ แต่ถ้า

สีผ่านมาตรฐานการทดสอบ ΔE จะมีค่าใกล้หรือเท่ากับมาตรฐานที่ยอมรับได้ ดังนั้นถ้าจะลดการทดลองการวัด ΔE ที่ได้ถ้าผ่านมาตรฐานก็น่าจะครอบคลุมได้หมด

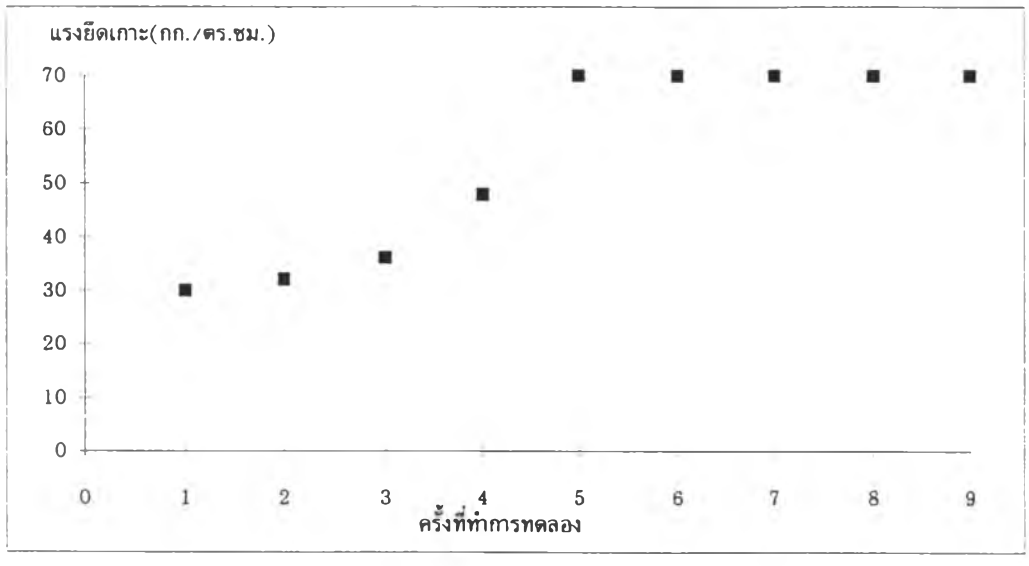
เพื่อเป็นการเสริมการวิเคราะห์ข้อมูลและสนับสนุนกราฟรูปที่ 5.12 ดังกล่าว จะนำตัวอย่างจากหัวข้อ 5.4.2 มาทำการทดสอบหาค่าแรงยึดเกาะซึ่งจะได้การทดลองดังตารางที่ 5.8

ลำดับที่	อุณหภูมิที่ใช้อบ ($^{\circ}C$)	เวลาที่ใช้ในการอบ (นาที)	ค่าแรงยึดเกาะ (กก./ตร.ซม.)
1	155	7	30.0
2	180	7	32.1
3	205	7	36.1
4	155	15	48.0
5	180	15	>70.0
6	205	15	>70.0
7	155	23	>70.0
8	180	23	>70.0
9	205	23	>70.0

ตารางที่ 5.8 แสดงค่าแรงยึดเกาะที่ได้จากการทดลอง

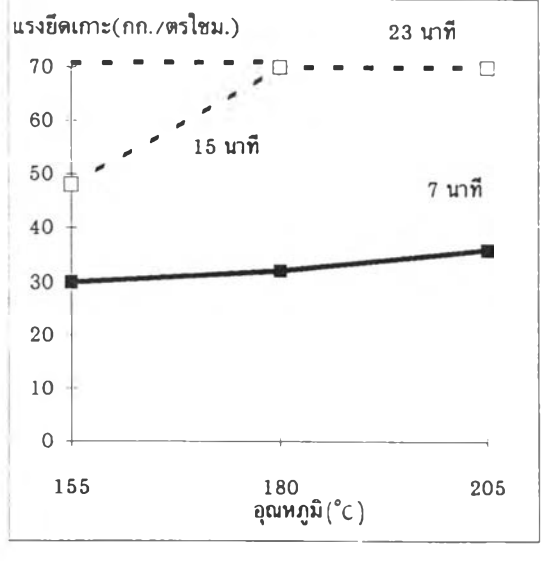
5.4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองในเรื่องแรงยึดเกาะของสี

จากค่าของแรงยึดเกาะตามตารางที่ 5.8 สามารถนำไปเขียน Run Chart ได้ตามรูปที่ 5.13 เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล และความผิดปกติของข้อมูล



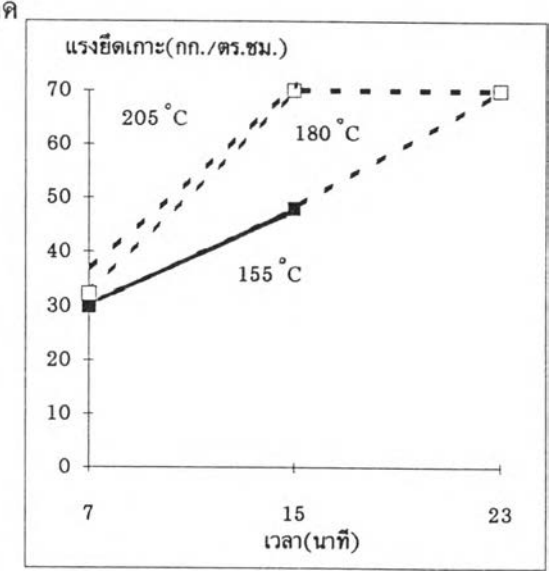
รูปที่ 5.13 แสดง Run Chart ของแรงยึดเกาะ

จากรูปที่ 5.13 Run Chart ของแรงยึดเกาะจะพบว่ามีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ข้อมูลมีความผิดปกติตั้งแต่การทดลองที่ 5 เป็นต้นไป เพราะมีค่า >70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร (เป็นเกจตัวใหม่วัดได้เพิ่มเติมจากค่าเดิมอีกเล็กน้อย) เท่ากันหมด ทั้งนี้เกิดจากการวัดค่าแรงยึดเกาะสูงสุดที่ทำได้ = 70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ซึ่งตั้งแต่การทดลองที่ 5 เป็นต้นไป มีค่ามากกว่า 70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ทั้งนั้น จึงไม่สามารถวัดได้อย่างไรก็ดีเมื่อนำค่าจากตารางที่ 5.9 มาเขียนเป็นกราฟตามรูปที่ 5.14 และ 5.15 เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองจะได้ดังนี้



รูปที่ 5.14 แสดงแรงยึดเกาะและอุณหภูมิการอบ

จากกราฟรูปที่ 5.14 และตารางที่ 5.8 ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ สิ่งหนึ่งที่ควรพิจารณาก็คือค่าของแรงยึดเกาะ ที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้อบน้อย ๆ กลับมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการทดลองที่ 6 และ 7 ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจาก อุณหภูมิของเตาอบที่ใช้ในการทดลองในหัวข้อ 5.3 อาจจะมีการแกว่งตัวอยู่บ้างเนื่องจากเริ่มทดลองเดินเตา ทำให้การเคียวริ่งอาจจะยังไม่ดี ซึ่งอาจจะส่งผลให้แรงยึดเกาะน้อยลงตามไปด้วย อย่างไรก็ดีการวิเคราะห์กราฟรูปที่ 5.13 และ 5.14 จะช่วยทำให้เข้าใจถึงสภาพแรงยึดเกาะได้ดี



รูปที่ 5.15 แสดงแรงยึดเกาะและเวลาในการอบ

จากกราฟรูปที่ 5.14 เป็นการพลอตโดยการแปรผันอุณหภูมิ เทียบกับแรงยึดเกาะของสี โดยให้กลุ่มของเวลาที่ใช้ในการอบเท่ากันอยู่กลุ่มเดียวกัน จะแบ่งข้อมูลได้ 2 กลุ่มคือ 7 นาที กับกลุ่ม 15 และ 23 นาที โดยกลุ่ม 7 นาที เมื่ออุณหภูมิเพิ่มจาก 155°C จนถึง 205°C จะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก

กลุ่มที่ 2 เวลา 15 และ 23 นาที จะพบว่าที่ 155°C เมื่ออบที่ 15 นาที จะให้ค่าแรงยึดเกาะเท่ากับ 48 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร และเมื่อเกิน 180°C ไปแล้ว ค่าแรงยึดเกาะจะมากกว่า 70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ซึ่งไม่รู้ว่าเป็นเท่าใด จึงใช้เส้นประแทน เช่นกันที่ 23 นาที ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิใดค่าที่ได้จะเกิน 70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร เสมอ นั่นคือถ้าอบนานถึง 23 นาทีไม่ว่าจะใช้อุณหภูมิการอบที่ 155,180 หรือ 205°C แรงยึดเกาะจะมากกว่า 70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร หรือยิ่งอบนานแรงยึดเกาะจะยิ่งดี

จากกราฟที่ 5.15 เป็นการพลอตโดยการแปรผันเวลา เทียบกับแรงยึดเกาะของสี โดยให้กลุ่มของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเท่ากันอยู่กลุ่มเดียวกัน จะพบว่า ที่อุณหภูมิใช้ในการอบ 155°C เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าของแรงยึดเกาะจะมากขึ้น เมื่อเกิน 15 นาที ขึ้นไปจนถึง 23 นาที จะให้ค่ามากกว่า 70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ซึ่งวัดไม่ได้จึงเขียนเป็นเส้นประเอาไว้ เช่นกัน ที่อุณหภูมิ 180 และ 200°C เมื่อเวลาอบมากขึ้นแรงยึดเกาะจะมากขึ้นเมื่อถึง 15 นาทีจะเกิน 70 กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร ทั้งนั้นซึ่งไม่สามารถวัดได้

สรุป

จากการทดสอบเรื่องแรงยึดเกาะของสีต่อชิ้นงาน จะเป็นดังนี้คือ เมื่ออบที่อุณหภูมิต่ำ เช่น 155°C ควรจะใช้เวลานานกว่า 15 นาที จึงจะได้แรงยึดเกาะมาก แต่ถ้าอบที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่น 180°C ถ้าอบด้วยเวลามากกว่า 7 นาที จะได้ค่าแรงยึดเกาะที่ดี ซึ่งถ้านำผลการทดลองนี้เปรียบเทียบกับเรื่องของคุณภาพสีที่ได้ หรือการวัด ΔE จะพบว่า สอดคล้องกันคืออบที่อุณหภูมิสูงเช่น 180°C ด้วยเวลาที่มากกว่า 7 นาที จะได้ค่าทั้ง ΔE และแรงยึดเกาะที่ดี การเพิ่มอุณหภูมิ และเวลาในการอบโดยไม่จำเป็นจะส่งผลให้เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อน และทั้งยังเสียเวลามากขึ้นโดยที่ผลที่ได้จะต่ำลงกว่าที่ต้องการเล็กน้อยด้วยซ้ำไป