บทที่ 5
การประยุกต์ใช้ในสายการผลิต

ในบทนี้จะนำเสนอวิธีการดำเนินงาน 2 ขั้นตอน คือ ผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุง ซึ่งจะว่าด้วยการออกแบบการทดลอง และผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนการควบคุม จะว่าด้วยการควบคุมค่าตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้า

5.1 ผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุง

เป็นขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง (Design of experiment, DOE) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าที่มีผลต่อตัวแปรวัดผล

นำตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการที่มีความสำคัญ ที่ผ่านการพิสูจน์สมมติฐานว่ามีผลต่อตัวแปรวัดผลจากกระบวนการที่มีความสำคัญ มาทำการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลอง แล้ววิเคราะห์เปรียบเทียบผลทางสถิติเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการควบคุมปัจจัยโดยมีการทดลอง 2 ขั้นตอนดังนี้

5.1.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายต่างๆที่หลอดชนิด 36 วัตต์

การออกแบบการทดลองจะดำเนินการที่หลอดชนิด 36 วัตต์ก่อนและนำผลการทดลองมาใช้ที่ ชนิด 18 วัตต์ เพราะว่าถ้าคุณภาพของสารฟลูออเรสเซ็นต์ไม่ได้มาตรฐานในหลอดชนิด 36 วัตต์ ก็จะไม่ได้มาตรฐานในหลอดชนิด 18 วัตต์ ด้วย เนื่องจากคุณสมบัติของหลอดเหมือนกันต่างกันแค่ความยาวหลอด ดังนั้นเราสามารถเลือกเฟ้นบริษัทผู้ผลิตสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่มีคุณภาพได้มาตรฐานจากการทดลองในหลอดชนิด 36 วัตต์ มาใช้ในหลอดชนิด 18 วัตต์ได้เลยในขั้นตอนข้อ 5.1.2

การทดลองนี้เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ของแต่ละคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์โดยที่ค่าการส่องสว่าง ค่าประสิทธิภาพของการส่องสว่าง สีของแสง และความเรียบเนียนของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ ยังคงได้ตามมาตรฐาน ตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการที่มีความสำคัญที่สนใจมี 2 ปัจจัย คือ คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 5 รายเป็นปัจจัยเป็นแบบมีค่าตายตัว (Fixed Effect) และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มี 4 ระดับเป็นแบบมีค่าตายตัว (Fixed Effect) และการทดลองนี้เป็นการออกแบบ

การทดลองแบบบล็อกโดยจะบล็อกการทำซ้ำ (Replicate) แต่ลำดับการทดลองร่วมปัจจัยในแต่ละบล็อกจะเป็นแบบสุ่ม และการทำการทดลองจะเคลือบหลอดชนิด 36 วัตต์ด้วยมือแล้วใส่หลอดเข้าในเครื่องเคลือบหลอด (Cassette Coating Machine: CCM) เพื่อผ่านกระบวนการทำให้สารฟลูออเรสเซ็นต์แห้ง ตามลำดับการทดลองร่วมปัจจัยแบบสุ่ม (Run order) ตามตารางที่ ง-1 ในภาคผนวก ง เนื่องจากจำนวนสารฟลูออเรสเซ็นต์ตัวอย่างมีน้อยเกินกว่าจะใช้เครื่องเคลือบหลอดพ่นหลอดได้และการเทสารฟลูออเรสเซ็นต์ลงเคลือบหลอดด้วยมือก็ไม่ได้ให้ความแตกต่างกับการพ่นด้วยเครื่องเคลือบหลอดเพราะใช้กระบวนการทำให้สารฟลูออเรสเซ็นต์แห้งกระบวนการเดียวกัน จากนั้นนำหลอดที่แห้งตัวแล้วไปผ่านการทำหลอดไฟ จากนั้นนำหลอดสำเร็จรูปไปทำการวัดค่าความแสงสว่างที่ 0 ชั่วโมง 100 ชั่วโมง และ 2,000 ชั่วโมง ค่าที่ได้จากการวัดค่าการส่องสว่างที่เวลาต่างๆนั้นต้องผ่านมาตรฐานบริษัทดังตารางที่ 5.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าและตัวแปรวัดผลในการทดลองศึกษาความสามารถในการลดน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายต่างๆที่หลอดชนิด 36 วัตต์

ตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้า	
• คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์	
• น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์	
ตัวแปรวัดผล	**ค่าวัด**
• ค่าความส่องสว่าง	> 2500 ลูเมน
• ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่าง - จาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมง - จาก 100 ชั่วโมง ถึง 2000 ชั่วโมง	 ลดลง ≤ 5 % ≥ 90 %
• สีของแสง	ต้องอยู่ในกราฟวงรีที่1, 2, 3
• คุณลักษณะภายนอก : - ความเรียบเนียนของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ - ความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวหลอด	 Particle มีขนาด < 1 มิลลิเมตรมีไม่เกิน 5 เม็ดใน 1 ฟุต ต้องมองไม่เห็นไส้หลอด

- ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างจาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมง (%) คือ

$$\frac{\text{(ค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง – 100 ชั่วโมง)}}{\text{ค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง}} \times 100 \text{ ที่ลดลง } \leq 5\ \%$$

- ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างจาก 100 ชั่วโมง ถึง 2000 ชั่วโมง (%) คือ

$$\frac{\text{(ค่าความส่องสว่างที่ 2000 ชั่วโมง)}}{\text{ค่าความส่องสว่างที่ 100 ชั่วโมง}} \times 100 \geq 90\ \%$$

5.1.1.1 ค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง (หลอดใหม่ยังไม่ผ่านการจุดติด)

การออกแบบการทดลองของค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งได้จากการทำการทดลองตามตารางที่ ง-1 แสดงผลของค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของการทำการทดลองเคลือบหลอดตามลำดับการทดลองร่วมปัจจัยแบบสุ่ม

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองของค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง (ลูเมน)

น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ (กรัม)		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์									
		รายที่ 1		รายที่ 2		รายที่ 3		รายที่ 4		รายที่ 5	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
	2.20 ± 0.10	2548	2534	2584	2594	2504	2521	2571	2573	2549	2556
	2.60 ± 0.10	2600	2614	2673	2668	2551	2569	2609	2598	2646	2656
	3.00 ± 0.10	2636	2646	2699	2711	2643	2636	2629	2634	2676	2663
	3.40 ± 0.10	2646	2641	2754	2765	2659	2658	2645	2646	2693	2701

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่าค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ทุกรายที่ทุกน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ให้ค่าความส่องสว่างมากกว่า 2500 ลูเมน ทุกค่า จากนั้นทำการทดสอบดังนี้

1. ความเป็นปกติของข้อมูล (Normality plot) พบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบนอร์มอล (Normal distribution) ดูจาก P-Value $\geq$ 0.05 ดังรูปที่ ง-1 ในภาคผนวก ง

2. จากนั้นทำการประมวลผลการทดลองโดย Minitab ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.1 และ 5.2 ก่อนที่เราจะนำผลสรุปจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.1 และ 5.2 ไปใช้นั้น จะต้องมีการนำข้อมูลในตารางที่ 5.2 ไปทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy) ทางสถิติเสียก่อนดังตารางที่ ง-2 และรูปที่ ง-2 ถึง ง-4 (สามารถดูความหมาย นิยามของส่วนตกค้าง ค่าที่ถูกฟิตได้จากตารางนี้เช่นกัน) ในภาคผนวก ง และพบว่า

2.1) การพล็อตความเป็นปกติของส่วนตกค้างมีการแจกแจงเป็นปกติ

2.2) การพล็อตส่วนตกค้างตามลำดับการเก็บข้อมูลมีความอิสระของส่วนตกค้าง

2.3) การพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตมีการกระจายแบบอิสระทั้งสองข้างรอบศูนย์และไม่มีรูปแบบ

ดังนั้นเราสามารถนำข้อสรุปจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.1 และ 5.2 วิเคราะห์ผลได้ดังนี้

- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงพบว่าคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 รายมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P-Value $\leq$ 0.05)
- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง พบว่าน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 ระดับมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value $\leq$ 0.05)
- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง พบว่าอันตรกิริยาระหว่างคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 ระดับมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value $\leq$ 0.05)
- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง พบว่าการบล็อกการทำซ้ำไม่ให้ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value $\geq$ 0.05)
- จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 แสดงให้เห็นว่าค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ทุกรายที่ทุกน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ให้ค่าความส่องสว่างมากกว่า 2500 ลูเมน ดังนั้นสามารถเลือกใช้น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่ให้ค่าน้ำหนักต่ำสุดได้ในคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ทุกราย แต่คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่สองให้ค่าความส่องสว่างสูงสุดที่น้ำหนักสูงดังตารางที่ ง-3 ในภาคผนวก ง

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยแบบบล็อกการทำซ้ำ

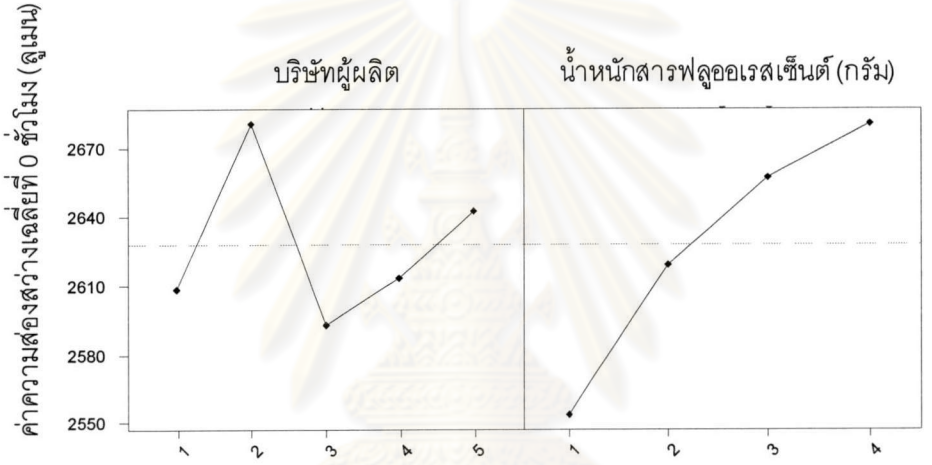
General Linear Model: Response-Lumen 0 hr versus Blocks, C-Suppliers, Coating weight

```
Factor      Type Levels Values
Blocks     fixed      2 1 2
C-Suppli   fixed      5 1 2 3 4 5
Coating    fixed      4 1 2 3 4

Analysis of Variance for Response, using Adjusted SS for Tests

Source              DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS       F      P
Blocks               1      119.0      119.0      119.0    2.43  0.136
C-Suppli             4    39084.4    39084.3     9771.1  199.09  0.000
Coating              3    93025.5    93025.5    31008.5  631.83  0.000
C-Suppli*Coating    12     9402.7     9402.7      783.6   15.97  0.000
Error               19      932.5      932.5       49.1
Total               39   142564.0
```

รูปที่ 5.1 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และปัจจัยน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงและรูปที่ 5.2 แสดงการทดลองร่วม

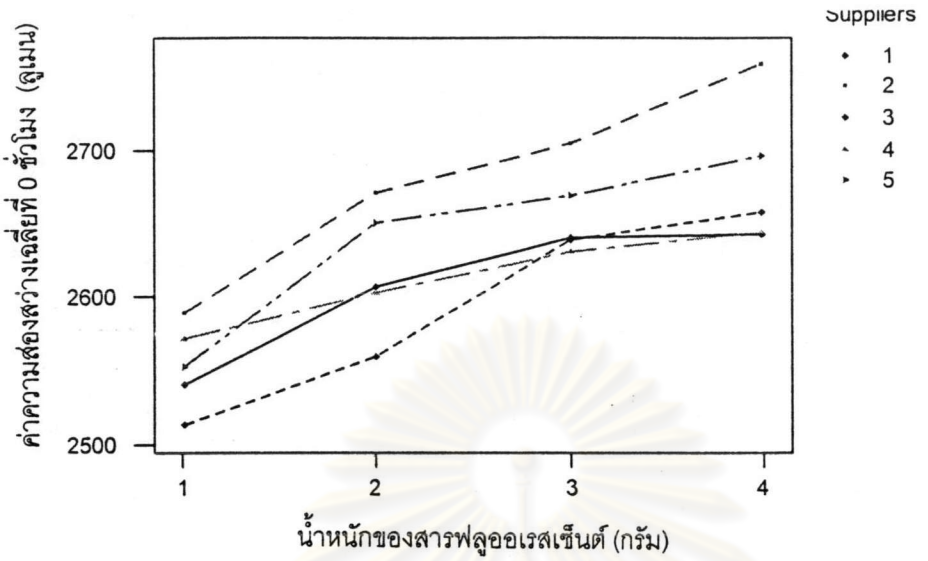
ปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง โดยที่หมายเลขต่างๆในรูปที่ 5.3 และ 5.4 แสดงความหมายได้ดังนี้

หมายเลข 1 คือ รายที่ 1
หมายเลข 2 คือ รายที่ 2
หมายเลข 3 คือ รายที่ 3
หมายเลข 4 คือ รายที่ 4
หมายเลข 5 คือ รายที่ 5
และ
หมายเลข 1 คือ น้ำหนักสาร 2.2 $\pm$ 0.1 กรัม
หมายเลข 2 คือ น้ำหนักสาร 2.6 $\pm$ 0.1 กรัม
หมายเลข 3 คือ น้ำหนักสาร 3.0 $\pm$ 0.1 กรัม
หมายเลข 4 คือ น้ำหนักสาร 3.4 $\pm$ 0.1 กรัม



รูปที่ 5.1 ปัจจัยคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 การทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง

5.1.1.2 ค่าประสิทธิภาพของความส่องสว่างจาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมง และจาก 100 ชั่วโมง ถึง 2000 ชั่วโมง

ประสิทธิภาพของความส่องสว่างจาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมงที่ลดลงดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.3 และค่าประสิทธิภาพของความส่องสว่างจาก 100 ชั่วโมง ถึง 2,000 ชั่วโมง ต้องไม่ต่ำกว่า 90 % จาก 100 ชั่วโมงดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

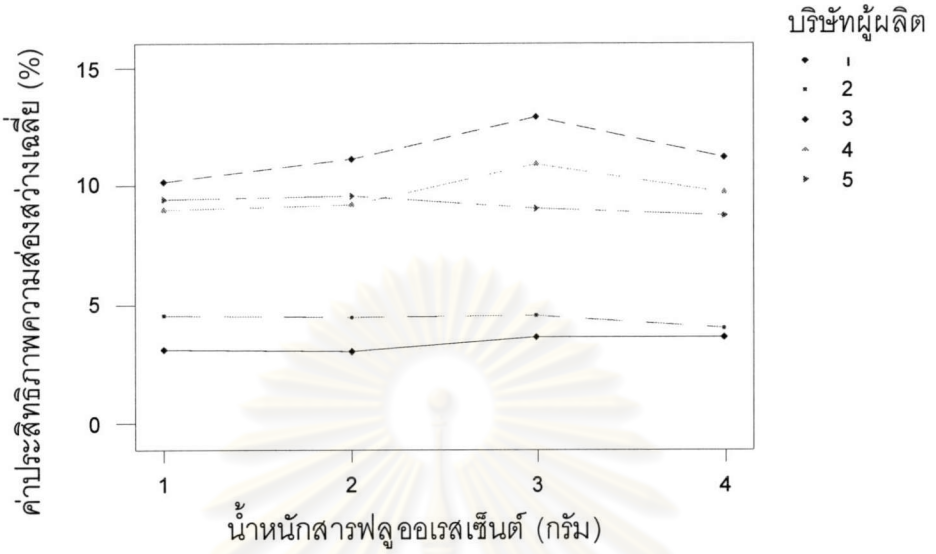
ตารางที่ 5.4 ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างที่ลดลงจาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมง (%)

		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์									
		รายที่ 1		รายที่ 2		รายที่ 3		รายที่ 4		รายที่ 5	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	2.20 ± 0.10	3.12	3.05	4.57	4.55	10.07	10.14	8.48	9.40	9.12	9.61
	2.60 ± 0.10	3.01	3.08	4.37	4.50	10.91	11.26	8.66	9.62	9.47	9.57
	3.00 ± 0.10	3.62	3.64	4.77	4.35	13.00	12.84	10.98	10.86	8.87	9.14
	3.40 ± 0.10	3.52	3.73	4.08	3.99	11.35	10.98	9.80	9.57	9.07	8.39

จากตารางที่ 5.4 สามารถนำไปพล็อตกราฟแสดงการทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่ประสิทธิภาพค่าความส่องสว่างลดลงจาก 0 ชั่วโมงไป 100 ชั่วโมงได้ดังรูปที่ 5.3 และพบว่า

- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงและ 100 ชั่วโมง พบว่าค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 3 รายได้แก่ รายที่ 3 รายที่ 4 และ รายที่ 5 ลดลงมากกว่า 5 % ดังนั้นมีคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ใน 2 รายเท่านั้นที่ได้ตามมาตรฐานคือ คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 1 และ 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



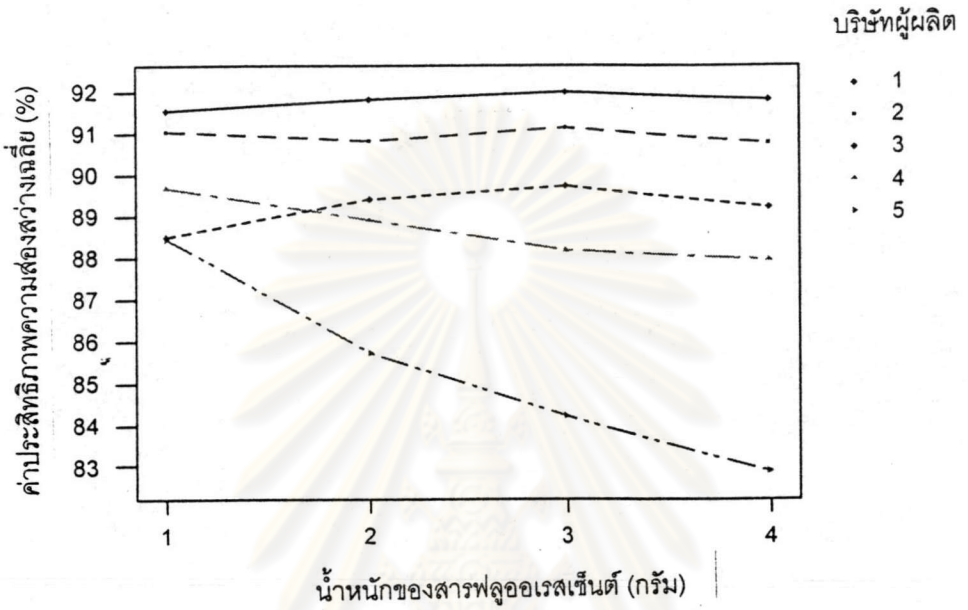
รูปที่ 5.3 การทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มีผลต่อค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างจาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมง (%)

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลของค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างจาก 100 ชั่วโมง ถึง 2000 ชั่วโมง (%)

		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์									
		รายที่ 1		รายที่ 2		รายที่ 3		รายที่ 4		รายที่ 5	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	2.20 ± 0.10	91.72	91.33	91.06	91.01	88.70	88.25	89.54	89.84	88.19	88.73
	2.60 ± 0.10	91.74	91.90	90.61	90.98	89.34	89.41	88.68	89.15	85.88	85.57
	2.60 ± 0.10	91.76	92.22	91.76	90.47	89.84	89.59	88.11	88.22	84.96	83.45
	2.60 ± 0.10	91.83	91.76	91.28	90.28	89.72	88.70	88.17	87.69	82.40	83.33

จากตารางที่ 5.5 สามารถนำไปพล็อตกราฟแสดงการทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างลดลงจาก 100 ชั่วโมงไป 2000 ชั่วโมงได้ดังรูปที่ 5.4 พบว่า

- ด้วยข้อมูล % ของประสิทธิภาพความส่องสว่างที่ 2000 ชั่วโมงของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2 รายที่ได้ตามมาตรฐานคือความส่องสว่างที่ 2000 ชั่วโมงเทียบกับ 100 ชั่วโมง ต้องไม่ต่ำกว่า 90 % ได้แก่ รายที่ 1 และ รายที่ 2



รูปที่ 5.4 การทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มีผลต่อค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างจาก 100 ชั่วโมง ถึง 2000 ชั่วโมง (%)

5.1.1.3 **สีของแสงของหลอดชนิด 36 วัตต์ อยู่ในกราฟวงที่ 1, 2 และ 3**

พบว่าการทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ให้ค่าสีของแสงดังตารางที่ 5.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลสีของแสงของการทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์

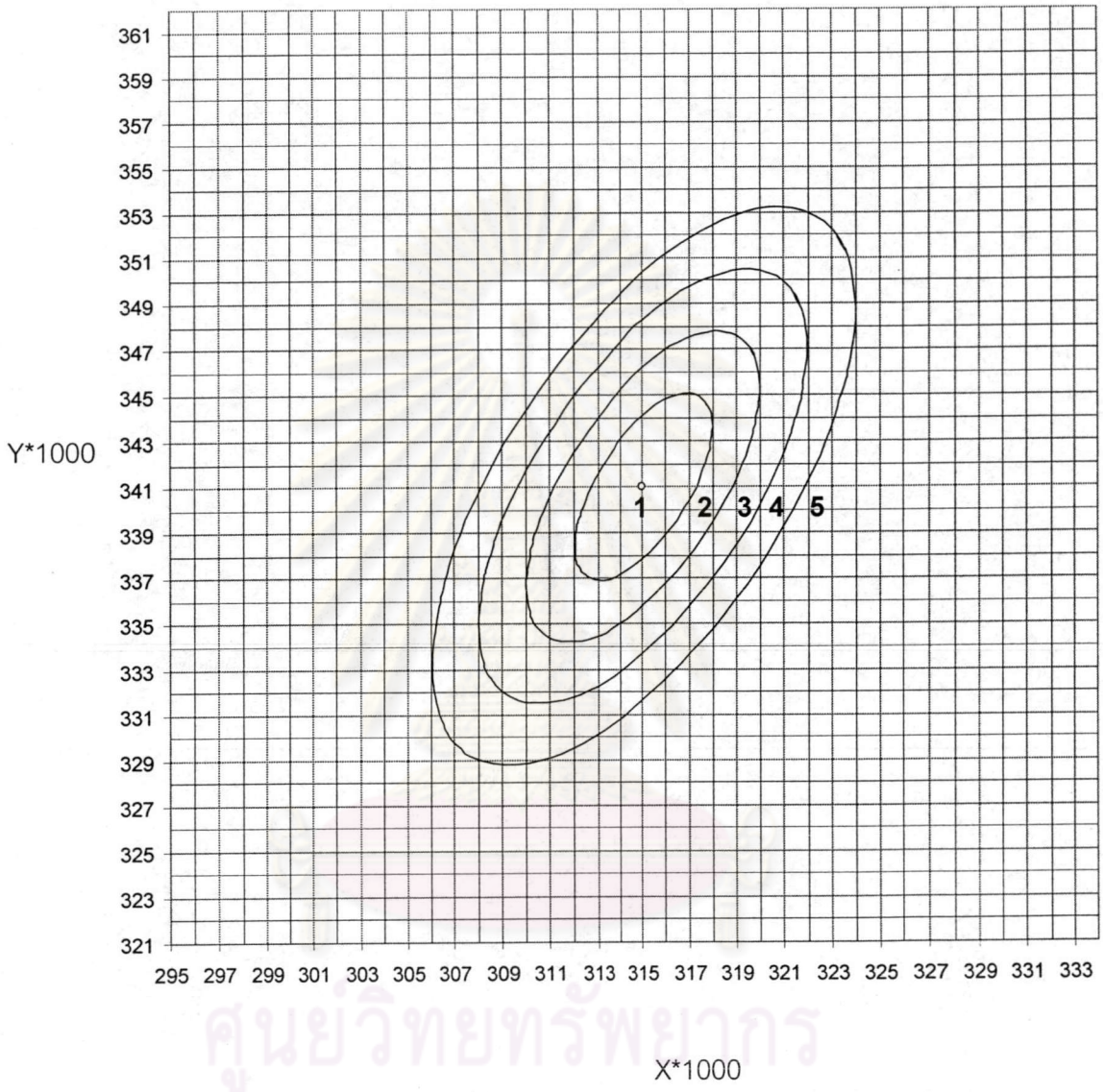
		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์																			
		รายที่ 1				รายที่ 2				รายที่ 3				รายที่ 4				รายที่ 5			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
		x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}	x^*_{1000}	y^*_{1000}
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	2.20 ± 0.10	313	341	313	342	315	344	315	344	312	342	312	343	310	341	310	341	312	341	312	341
	2.60 ± 0.10	315	342	314	342	315	344	316	344	312	342	312	343	311	341	311	341	313	342	313	342
	3.00 ± 0.10	315	343	315	342	316	344	316	344	313	342	313	343	311	341	311	341	313	342	313	343
	3.40 ± 0.10	316	343	316	343	316	344	316	344	312	343	312	342	311	341	311	341	313	343	313	343

จากตารางค่าสีของแสงที่ได้จากตารางที่ 5.6 เมื่อเช็คจากกราฟการควบคุมค่าสีของแสงในรูปที่ 5.5 ต้องอยู่ในวงที่ 1, 2 และ 3 เนื่องจากค่าสีของแสงที่อยู่ในวงที่ 1, 2 และ 3 ตามนุษย์ไม่สามารถตรวจจับหรือแยกแยะความแตกต่างของสีของแสงในหลอดไฟแต่ละหลอดได้ และค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่าความส่องสว่างจะอยู่ในรูปทศนิยม 3 ตำแหน่งทั้งค่า X และ Y จากนั้นนำค่า X และ Y คูณด้วย 1000 ก่อนนำไปอ่านค่าในรูปที่ 5.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

For all lamp "straight" lamp types(diameter26 mm) in colour 54 (Daylight)

TARGET : 315/341



รูปที่ 5.5 กราฟการควบคุมค่าสีของแสงของสีที่เป็นเดย์ไลท์ (lighting manual ของบริษัท, 1998)

จากการตรวจเช็คพบว่าคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ทุกรายให้ค่าสีของแสงอยู่ในมาตรฐานของกราฟการควบคุมค่าสีของแสงในหลอดไฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.1.4 **ความเรียบเนียนของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์**

- ความหยาบของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์

พบว่าความหยาบของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ในบริษัทผู้ผลิต 3 รายไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลความหยาบของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ในหลอดชนิด 36 วัตต์

		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์									
		รายที่ 1		รายที่ 2		รายที่ 3		รายที่ 4		รายที่ 5	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	2.20 ± 0.10	P	P	P	P	F	F	F	F	F	F
	2.60 ± 0.10	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	3.00 ± 0.10	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
	3.40 ± 0.10	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P

F = ไม่ผ่าน

P =ผ่าน

- ความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัว

พบว่าความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวที่น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2.20 กรัมในบริษัทผู้ผลิต 5 ราย ไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 5.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวของหลอดชนิด 36 วัตต์

น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์									
	รายที่ 1		รายที่ 2		รายที่ 3		รายที่ 4		รายที่ 5	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
2.20 ± 0.10	P	P	P	P	F	F	F	F	F	F
2.60 ± 0.10	P	P	P	P	F	F	F	F	F	F
3.00 ± 0.10	P	P	P	P	F	F	F	F	F	F
3.40 ± 0.10	P	P	P	P	F	F	F	F	F	F

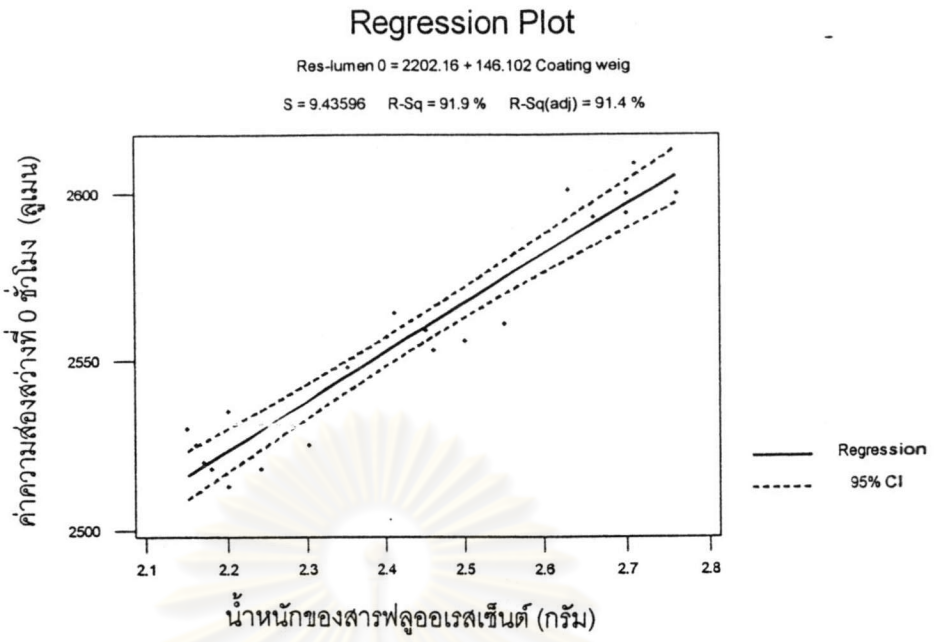
F = ไม่ผ่าน

P =ผ่าน

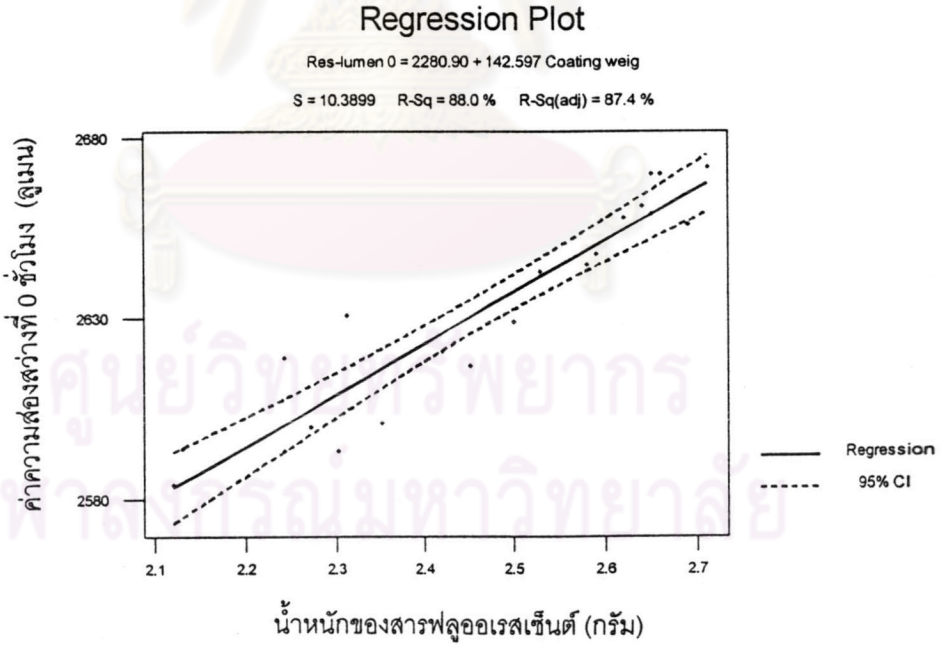
จากตารางที่ 5.8 พบว่าความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวของบริษัทผู้ผลิตทั้งรายที่ 1 และ รายที่ 2 ที่น้ำหนัก 2.20 กรัมซึ่งเป็นระดับต่ำสุดที่เนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์เริ่มบางด้านหัว ดังนั้นต้องพิจารณาน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่สูงกว่า 2.20 กรัมขึ้นไปเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ดังนั้นเราเลือกน้ำหนักในช่วง 2.20 กรัม- 2.70 กรัม มาทำการทดสอบต่อว่าที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่าใดจึงไม่ทำให้เนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวบาง และการที่เรายังคงดำเนินการทดลองคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ทั้ง 2 รายต่อไปทั้งที่รายที่ 1 ให้ราคาสารฟลูออเรสเซ็นต์ต่ำกว่าเนื่องจากบริษัทมีนโยบายต้องการสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 2 ไว้เป็นบริษัทผู้ผลิตสำรอง ดังนั้นการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์กับค่าความส่องสว่างของทั้งสองรายในหลอดชนิด 36 วัตต์ จะเป็นไปตามรูปที่ 5.6 ของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 1 และรูปที่ 5.7 ของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 2

เช็คความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์กับค่าความส่องสว่างของทั้งสองเจ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในช่วง 2.20 - 2.70 กรัมกับค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 1



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในช่วง 2.20 - 2.70 กรัมกับค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 2

พบว่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในช่วง 2.20-2.70 กรัมกับค่าความส่องสว่างมีลักษณะเส้นตรงเหมือนกันทั้งสองเจ้าโดยมีค่า R-Sq =91.9% และ R-Sq = 88.0 % ตามลำดับแสดงว่าข้อมูลเหล่านี้ 91.9 % และ 88.0 % สามารถอธิบายด้วยสมการเส้นตรง 2 เส้นนี้ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่อยู่ในช่วง 2.20-2.70 กรัมสามารถนำไปใช้ได้หมดขึ้นอยู่กับว่าบริษัทผู้ผลิตรายใดขายราคาต่ำสุด

และพบว่าน้ำหนักที่ 2.30 กรัมขึ้นไปของทั้งสองรายเป็นน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์บริเวณหัวหลอดไม่บาง ดังนั้นทางทีมวิเคราะห์แล้วว่าปลอดภัยที่สุดให้น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อยู่ที่ 2.40 ± 0.10 กรัม

5.1.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของสารรองพื้นที่มีผลต่อคุณภาพของสารฟลูออเรสเซ็นต์ของแต่ละบริษัทผู้ผลิตสารฟลูออเรสเซ็นต์

โดยดำเนินการทดลองเหมือนขั้นตอนในหัวข้อ 5.1.1 มาศึกษาเพิ่มเติมทั้งหลอดในหลอดชนิด 36 วัตต์ก่อน เพื่อหาอิทธิพลของสารรองพื้นมีผลมากน้อยต่อสารฟลูออเรสเซ็นต์หรือไม่ ถ้าสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่มีคุณภาพดีจริงๆ สารรองพื้นจะมีอิทธิพลการส่องสว่างน้อยมากที่น้ำหนักต่างๆ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้ (ใช้สารรองพื้น/ไม่ใช้สารรองพื้น)มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเพิ่มเติมในหลอดชนิด 18 วัตต์

พบว่ามีคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2 รายเท่านั้นที่สามารถผลิตสารฟลูออเรสเซ็นต์ผ่านทุกเกณฑ์ตามมาตรฐานคือ รายที่ 1 และ รายที่ 2 ดังนั้นจะนำคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2 รายมาทดลองต่อไปดังนี้เนื่องจากว่าบริษัทผู้ผลิตบางรายได้กล่าวว่าสารฟลูออเรสเซ็นต์ของเขามีคุณภาพดีโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารรองพื้นเพื่อช่วยเพิ่มค่าความส่องสว่าง ดังนั้นตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการที่มีความสำคัญที่สนใจมี 3 ปัจจัย คือ คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2 ราย เป็นปัจจัยแบบมีค่าตายตัว(Fixed Effect) น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มี 4 ระดับเป็นแบบมีค่าตายตัว(Fixed Effect) และสารรองพื้นเป็นแบบมีค่าตายตัว(Fixed Effect) ดังตารางที่ 5.9 การทดลองนี้เป็นการออกแบบการทดลองแบบบล็อกการทำซ้ำ แต่ลำดับการทดลองร่วมปัจจัยในแต่ละบล็อกจะเป็นแบบสุ่ม

5.1.2.1 ผลการทดลองที่หลอดชนิด 36 วัตต์

ทำการเคลือบหลอดด้วยมือแล้วใส่หลอดในเครื่องเคลือบหลอด (Cassette Coating Machine: CCM) เพื่อผ่านกระบวนการทำให้สารฟลูออเรสเซ็นต์แห้ง ตามลำดับการทดลองร่วมปัจจัยแบบสุ่ม (Run order) ตามตารางที่ ง-4 ในภาคผนวก ง เนื่องจากจำนวนสารฟลูออเรสเซ็นต์

ตัวอย่างมีน้อยเกินกว่าจะใช้เครื่องเคลือบหลอดพ่นหลอดได้และการเทสารฟลูออเรสเซ็นต์ลงเคลือบหลอดด้วยมือก็ไม่ได้ให้ความแตกต่างกับการพ่นด้วยเครื่องเคลือบหลอดเพราะใช้กระบวนการทำให้สารฟลูออเรสเซ็นต์แห้งกระบวนการเดียวกัน จากนั้นนำหลอดที่แห้งตัวแล้วไปผ่านการทำหลอดไฟ จากนั้นนำหลอดสำเร็จรูปไปทำการวัดค่าการวัดแสงสว่างที่ 0 ชั่วโมง ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 ตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าและตัวแปรวัดในการทดลองอิทธิพลของสารรองพื้นในหลอด 36 วัตต์

ตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้า	
• คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่ได้มาตรฐาน จากหัวข้อ 5.1.1	
• ช่วงน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่ได้จากหัวข้อ 5.1.1	
• สารรองพื้น(มี/ไม่มี)	
ตัวแปรวัดผล	**ค่าวัด**
• ค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง • สีของแสง	> 2500 ลูเมน ต้องอยู่ในกราฟวงรีที่ 1, 2, 3
• คุณลักษณะภายนอก : - ความเรียบเนียนของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ - ความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวหลอด	 Particle มีขนาด < 1 มิลลิเมตร มีไม่เกิน 5 เม็ดใน 1 ฟุต ต้องมองไม่เห็นไส้หลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 ผลทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของหลอดชนิด 36 วัตต์ ของปัจจัยคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์และสารรองพื้น (ลูเมน)

		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์							
		รายที่ 1				รายที่ 2			
		สารรองพื้น		ไม่ใช้สารรองพื้น		สารรองพื้น		ไม่ใช้สารรองพื้น	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	2.20 ± 0.10	2537	2547	2504	2498	2583	2574	2526	2529
	2.60 ± 0.10	2602	2607	2570	2566	2649	2644	2612	2628

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นว่าค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง ที่น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2.20 กรัม ไม่ใช้สารรองพื้นให้ค่าความส่องสว่างน้อยกว่าใช้สารรองพื้น ดังนั้นทำการทดสอบอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1. ความเป็นปกติของข้อมูล (Normality plot) พบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบนอร์มอล (Normal distribution) ดูจาก P-Value ≥ 0.05 ดังรูปที่ ง-5 ในภาคผนวก ง

2. จากนั้นทำการประมวลผลการทดลองโดย Minitab ดังตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.8 ก่อนที่เราจะนำผลสรุปจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.8 ไปใช้นั้น จะต้องมีการนำข้อมูลในตารางที่ 5.10 ไปทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy) ทางสถิติเสียก่อนดังตารางที่ ง-4 และรูปที่ ง-6 ถึง ง-8 ในภาคแผนก ง และพบว่า

2.1) การพล็อตความเป็นปกติของส่วนตกค้างมีการแจกแจงเป็นปกติ

2.2) การพล็อตส่วนตกค้างตามลำดับการเก็บข้อมูลมีความอิสระของส่วนตกค้าง

2.3) การพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตมีการกระจายแบบอิสระทั้งสองข้างรอบศูนย์และไม่มีรูปแบบ

ดังนั้นเราสามารถนำข้อสรุปจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.11 วิเคราะห์ผลได้ดังนี้

- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงพบว่าคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 รายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(P-Value ≤ 0.05)

- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง พบว่าน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 ระดับแตกต่างกันอย่าง (P-Value $\leq$ 0.05) และพบว่าถ้าใช้สารรองพื้นสามารถให้ค่าความส่องสว่างสูงกว่าไม่ใช้สารรองพื้น ดังนั้นการทดลองในหลอดชนิด 18 วัตต์ ในหัวข้อ 5.1.2.2 จะใช้สารรองพื้นเนื่องจากว่าการใช้สารรองพื้นให้ค่าความส่องสว่างที่สูงกว่า
- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง อันตรกิริยาระหว่างคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 ระดับมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value $\leq$ 0.05)

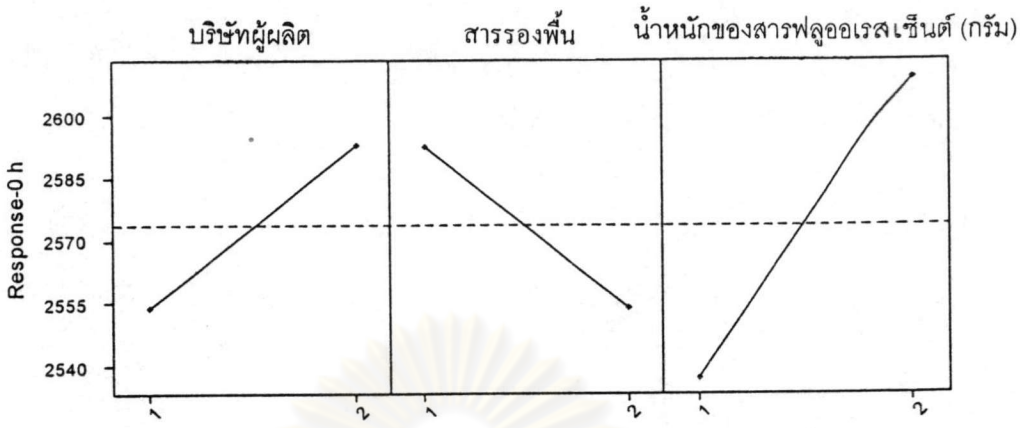
ตารางที่ 5.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3 ปัจจัยแบบบล็อกการทำซ้ำโดยโปรแกรม Minitab

General Linear Model: Response-0 hr versus C-Suppliers, Precoat, ...

```
Factor      Type Levels Values
C-Suppli    fixed      2 1 2
Precoat     fixed      2 1 2
Coating     fixed      2 1 2
Blocks      fixed      2 1 2

Analysis of Variance for Response, using Adjusted SS for Tests

Source                      DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS       F       P
C-Suppli                     1     6162.2     6162.3     6162.3  161.10   0.000
Precoat                      1     6006.2     6006.2     6006.2  157.03   0.000
Coating                      1    21025.0    21025.0    21025.0  549.67   0.000
C-Suppli*Precoat             1        0.0        0.0        0.0    0.00   1.000
C-Suppli*Coating             1      240.2      240.2      240.2    6.28   0.041
Precoat*Coating              1      210.2      210.2      210.2    5.50   0.052
C-Suppli*Precoat*Coating     1      100.0      100.0      100.0    2.61   0.150
Blocks                       1        6.3        6.3        6.3    0.16   0.698
Error                        7      267.8      267.8       38.3
Total                       15    34018.0
```

จากตารางที่ 5.10 สามารถนำไปแสดงอยู่ในรูปที่ 5.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเลข 1 คือ รายที่ 1 หมายเลข 2 คือ รายที่ 2

และหมายเลข 1 คือ น้ำหนักสาร 2.2 $\pm$ 0.10 กรัม หมายเลข 2 คือ น้ำหนักสาร 2.6 $\pm$ 0.10 กรัม

รูปที่ 5.8 ปัจจัยคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ และสารรองพื้นมีผลต่อค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง

5.1.2.2 ผลการทดลองที่หลอดชนิด 18 วัตต์

จากผลการทดลองในหัวข้อ 5.1.2.1 พบว่าใช้สารรองพื้นให้ค่าความส่องสว่างที่สูงกว่า ดังนั้นการทดลองนี้จะใช้สารรองพื้นในการศึกษาตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าที่สนใจมี 2 ปัจจัย คือ คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2 เจ้า เป็นปัจจัยแบบมีค่าตายตัว (Fixed Effect) และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์มี 4 ระดับเป็นแบบมีค่าตายตัว (Fixed Effect) ตามลำดับการทดลองร่วมปัจจัยแบบสุ่ม (Run order) ตามตารางที่ ง-5 ในภาคผนวก ง จากนั้นทำหลอดแล้ววัดค่าความแสงสว่างที่ 0 ชั่วโมง ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.12 ตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าและตัวแปรวัดผลของการทดลองที่หลอดชนิด 18 วัตต์

ตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้า	
• คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่ได้มาตรฐาน จากหัวข้อ 5.1.1	
• น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์	
• ใช้สารรองพื้นเนื่องจากให้ค่าความส่องสว่างสูงกว่า	
ตัวแปรวัดผล	**ค่าวัด**
• ค่าความส่องสว่าง	> 1040 ลูเมน
• ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่าง - จาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมง - จาก 100 ชั่วโมง ถึง 2000 ชั่วโมง	 ลดลง ≤ 5 % ≥ 90 %
• สีของแสง	ต้องอยู่ในกราฟวงรีที่1, 2, 3
• คุณลักษณะภายนอก : - ความเรียบเนียนของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ - ความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวหลอด	 Particle มีขนาด < 1 มิลลิเมตร มีไม่เกิน 5 เม็ดใน 1 ฟุต ต้องมองไม่เห็นไส้หลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.13 ผลการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของหลอดชนิด 18 วัตต์ ของปัจจัยคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ (ลูเมน)

		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์			
		รายที่ 1		รายที่ 2	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	1.15 ± 0.10	1071	1065	1086	1073
	1.35 ± 0.10	1097	1101	1109	1105
	1.55 ± 0.10	1112	1117	1142	1132
	1.75 ± 0.10	1114	1110	1140	1145

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง ของหลอดชนิด 18 วัตต์ ของปัจจัยคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์

จากตารางที่ 5.13 จะเห็นว่าค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ทั้งรายที่ 1 และรายที่ 2 ที่น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ 1.15 กรัม ให้ค่าความส่องสว่างมากกว่าค่ามาตรฐานคือ 1040 ลูเมนทุกค่า และเมื่อทำการทดสอบอื่นๆได้ผลดังนี้

1. ความเป็นปกติของข้อมูล (Normality plot) พบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบนอร์มอล (Normal distribution) ดูจาก P-Value ≥ 0.05 ดังรูปที่ ง-9 ในภาคแผนก ง

2. จากนั้นทำการประมวลผลการทดลองโดย Minitab ดังตารางที่ 5.14 ก่อนที่เราจะนำข้อสรุปจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.14 ไปใช้นั้น จะต้องมีการนำข้อมูลในตารางที่ 5.13 ไปทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy) ทางสถิติก่อนเสียก่อนดังตารางที่ ง-5 และรูปที่ ง-10 ถึง ง-12 ในภาคผนวก ง และพบว่า

2.1) การพล็อตความเป็นปกติของส่วนตกค้างมีการแจกแจงเป็นปกติ

2.2) การพล็อตส่วนตกค้างตามลำดับการเก็บข้อมูลมีความอิสระของส่วนตกค้าง

2.3) การพล็อตส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิตมีการกระจายแบบอิสระทั้งสองข้างรอบศูนย์และไม่มีรูปแบบ

ดังนั้นเราสามารถนำข้อสรุปจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.14 มาวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงพบว่าคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 รายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value $\leq$ 0.05)
- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง พบว่าน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 ระดับแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value $\leq$ 0.05)
- ด้วยข้อมูลจากการทดลองของค่าการส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง อันตรกิริยาระหว่างคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อย่างน้อย 1 ระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P-Value $\leq$ 0.05)

ตารางที่ 5.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัยแบบบล็อกการทำซ้ำโดยโปรแกรม Minitab

General Linear Model: Response-0hr versus C-Suppliers, Coating weight, ...

```
Factor      Type Levels Values
C-Suppli    fixed      2 1 2
Coating     fixed      4 1 2 3 4
Blocks      fixed      2 1 2

Analysis of Variance for Response, using Adjusted SS for Tests

Source              DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS       F      P
C-Suppli             1     1314.1     1314.1     1314.1   54.61  0.000
Coating              3     7529.7     7529.7     2509.9  104.31  0.000
C-Suppli*Coating     3      318.7      318.7      106.2    4.41  0.048
Blocks               1       33.1       33.1       33.1    1.37  0.279
Error                7      168.4      168.4       24.1
Total               15     9363.9
```

ประสิทธิภาพของความส่องสว่างจาก 0 ชั่วโมงไป 100 ชั่วโมง และจาก 100 ชั่วโมงถึง 2,000

ค่าประสิทธิภาพของความส่องสว่างจาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมงที่ลดลงน้อยกว่า 5 % ดังตารางที่ 5.15 และค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างที่ 100 ชั่วโมง ถึง 2,000 ชั่วโมงต้องไม่ต่ำกว่า 90 %จาก 100 ชั่วโมงดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.15 ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างที่ลดลงจาก 0 ชั่วโมง ถึง 100 ชั่วโมง (%)

น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์			
		รายที่ 1		รายที่ 2	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
	1.15 ± 0.10	2.90	2.81	3.66	3.55
	1.35 ± 0.10	3.01	2.88	3.84	3.84
	1.55 ± 0.10	3.03	3.44	3.86	3.51
	1.75 ± 0.10	3.59	3.40	3.90	3.99

ตารางที่ 5.16 ค่าประสิทธิภาพความส่องสว่างที่ลดลงจาก 100 ชั่วโมง ถึง 2000 ชั่วโมง (%)

น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์			
		รายที่ 1		รายที่ 2	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
	1.15 ± 0.10	93.98	91.92	91.32	93.32
	1.35 ± 0.10	93.34	92.91	92.61	93.15
	1.55 ± 0.10	92.59	93.15	92.26	91.17
	1.75 ± 0.10	93.39	93.69	92.22	92.22

พบว่าทั้งค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างที่ 100 ชั่วโมง และ 2,000 ชั่วโมง ดังตารางที่ 5.15 และ 5.16 ตามลำดับให้ค่าได้ตามมาตรฐาน

สีของแสงในหลอดชนิด 18 วัตต์อยู่ในกราฟวงที่ 1, 2 และ 3

พบว่าการทดลองร่วมปัจจัยของบริษัทผู้ผลิตและน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ให้ค่าสีของแสงดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ข้อมูลสีของแสงของการทดลองร่วมปัจจัยของคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์

		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์							
		รายที่ 1				รายที่ 2			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
		X^*_{1000}	Y^*_{1000}	X^*_{1000}	Y^*_{1000}	X^*_{1000}	Y^*_{1000}	X^*_{1000}	Y^*_{1000}
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	1.15 ± 0.10	318	344	317	344	316	344	316	344
	1.35 ± 0.10	318	344	318	344	317	344	317	344
	1.55 ± 0.10	318	344	318	345	317	344	317	344
	1.75 ± 0.10	318	344	318	345	317	345	317	344

จากข้อมูลค่าสีของแสงที่ได้จากตารางที่ 5.17 เมื่อเช็คจากกราฟการควบคุมค่าสีของแสงในรูปที่ 5.5 แล้วพบว่าทั้งสองรายให้ค่าสีของแสงอยู่ในวงที่ 1, 2 และ 3

ความเรียบเนียนของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์

- ความหยาบของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์

พบว่าความหยาบของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ในบริษัทผู้ผลิต 2 รายคือ รายที่ 1 และ รายที่ 2 ผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 5.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.18 ข้อมูลความหยาบของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ในหลอดชนิด 18 วัตต์

		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์			
		รายที่ 1		รายที่ 2	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	1.15 ± 0.10	P	P	P	P
	1.35 ± 0.10	P	P	P	P
	1.55 ± 0.10	P	P	P	P
	1.75 ± 0.10	P	P	P	P

F = ไม่ผ่าน

P = ผ่าน

- ความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัว

พบว่าความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวที่น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ 1.15 กรัมในคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ 2 รายไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ข้อมูลความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวที่หลอดชนิด 18 วัตต์

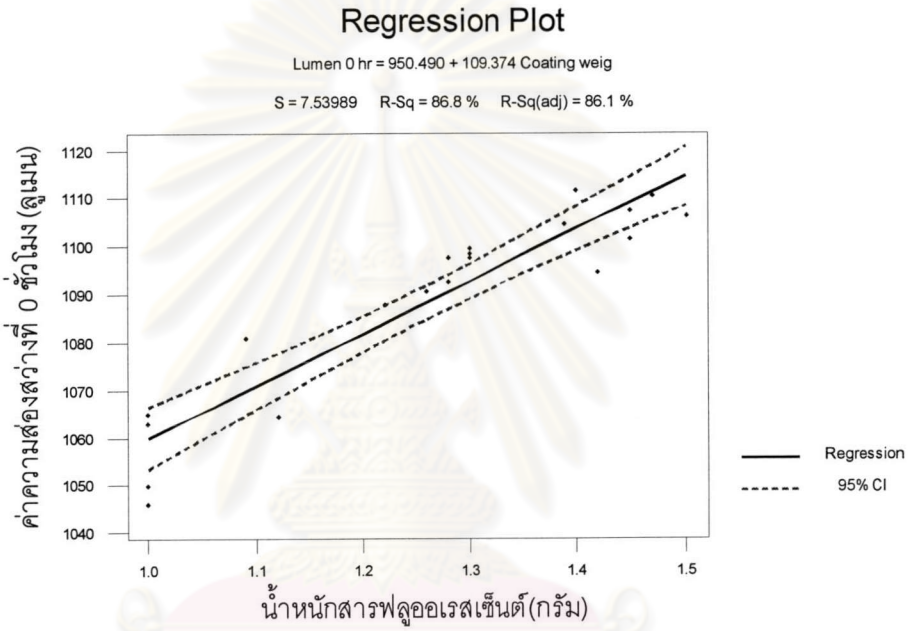
		คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์			
		รายที่ 1		รายที่ 2	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์(กรัม)	1.15 ± 0.10	F	F	F	F
	1.35 ± 0.10	P	P	P	P
	1.55 ± 0.10	P	P	P	P
	1.75 ± 0.10	P	P	P	P

F = ไม่ผ่าน

P =ผ่าน

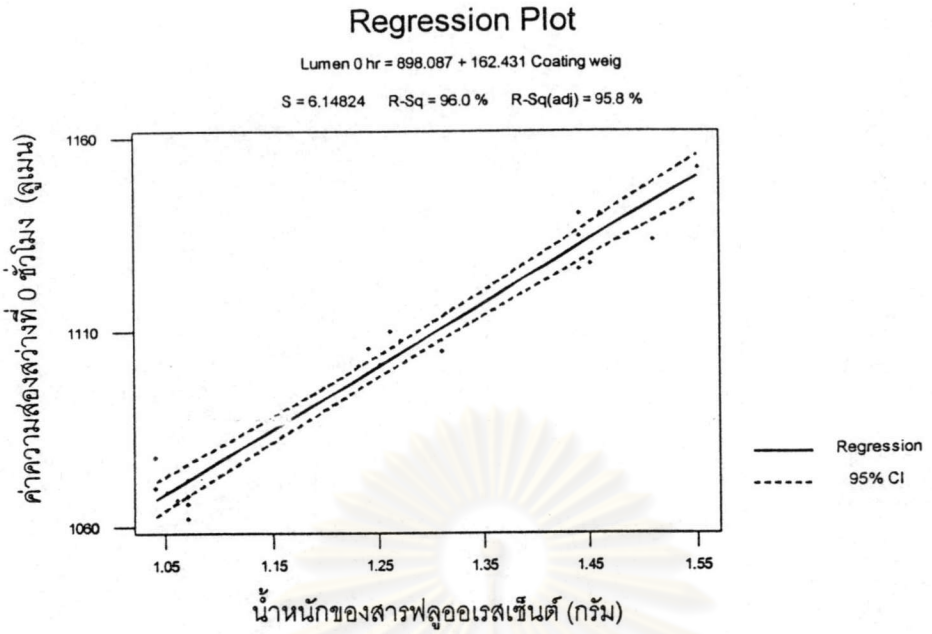
ความบางของเนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวที่น้ำหนัก 1.15 กรัมเป็นระดับต่ำสุดที่เนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์เริ่มบางด้านหัวหลอด ดังนั้นต้องพิจารณาน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่สูงกว่า 1.15 กรัมขึ้นไปเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน ดังนั้นเราเลือกน้ำหนักในช่วง 1.15 - 1.55 กรัม มาทำการทดสอบต่อว่าที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นเท่าใดจึงไม่ทำให้เนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์ด้านหัวบางและค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง ยังคงได้ตามมาตรฐานตามรูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 ดังนี้

เซ็คความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์กับค่าความส่องสว่างของหลอดชนิด 18 วัตต์



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในช่วง 1.15 –1.55 กรัมกับค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง ของคุณสมบัติสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในช่วง 1.15 –1.55 กรัมกับค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมง ของคุณสมบัติสารฟลูออเรสเซ็นต์รายที่ 2

พบว่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในช่วง 1.15-1.55 กรัม กับค่าความส่องสว่างมีลักษณะค่อนข้างเป็นเส้นตรงเหมือนกันทั้งสองรายโดยมีค่า R-Sq = 86.8 % และ R-Sq = 96.0 % แสดงว่าข้อมูลนี้ 86.8.0 %และ 96.0 % สามารถอธิบายด้วยสมการเส้นตรงทั้ง 2 เส้นได้ตามลำดับ ดังนั้นน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่อยู่ในช่วง 1.15-1.55 กรัม สามารถนำไปใช้ได้หมดขึ้นอยู่กับว่าสารฟลูออเรสบริษัทผู้ผลิตรายใดให้ราคาต่ำสุด และพบว่าน้ำหนักที่ 1.25 กรัมขึ้นไปของบริษัทผู้ผลิตทั้ง 2 รายเป็นน้ำหนักที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เนื้อสารฟลูออเรสเซ็นต์บริเวณหัวหลอดไม่บาง ดังนั้นทางทีมวิเคราะห์แล้วว่าปลอดภัยที่สุดให้น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์อยู่ที่ 1.35 $\pm$ 0.10 กรัม

5.2 ผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนการควบคุม

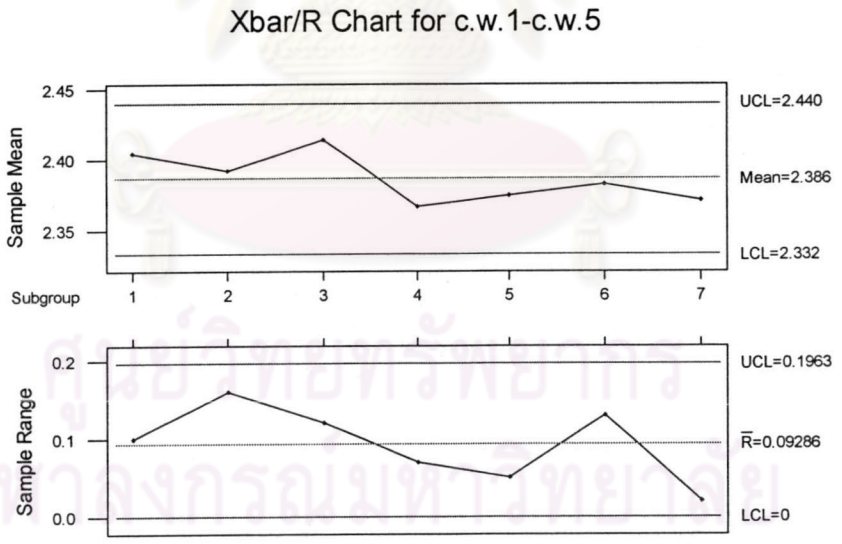
เป็นขั้นตอนของการควบคุมตัวแปรวัดปัจจัยป้อนเข้าที่มีผลต่อตัวแปรวัดผล

จากการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลพบว่าปัจจัยที่ต้องควบคุมมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ คุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ของรายที่ 1 และน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตที่หลอดชนิด 36 วัตต์เท่ากับ 2.40 $\pm$ 0.10 กรัม และชนิด 18 วัตต์ท่ากับ 1.35 $\pm$ 0.10 กรัม ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจว่าคุณสมบัติของสารฟลูออเรสเซ็นต์ในรายที่เราเลือก

กับน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ที่เราเลือกนั้นมีประสิทธิภาพได้ตามมาตรฐาน จึงมีการทดลองนำสารฟลูออเรสเซ็นต์ของ รายที่ 1 ไปใช้ในสายการผลิตที่น้ำหนัก 2.40 $\pm$ 0.10 กรัม สำหรับชนิด 36 วัตต์ และ 1.35 $\pm$ 0.10 กรัมสำหรับชนิด 18 วัตต์ ทำการพ่นสารฟลูออเรสเซ็นต์เคลือบหลอดตามปกติในเครื่อง Cassette Coating Machine (CCM) ที่หลอดชนิด 36 วัตต์ เป็นเวลา 1 กะ(8 ชั่วโมง) และที่หลอดชนิด 18 วัตต์เป็นเวลา 1 กะ(8 ชั่วโมง) จากนั้นทำการเก็บข้อมูลน้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์โดยใช้ $X - \bar{R}$ chart ซึ่งเป็นการใช้สถิติควบคุมกระบวนการผลิตดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 ซึ่งพบว่าอยู่ในช่วงของการควบคุมสำหรับชนิด 36 วัตต์ และชนิด 18 วัตต์ ส่วนค่าความส่องสว่างสามารถแสดงผลการทดลองใช้ในสายการผลิตดังตารางที่ 5.20 และ 5.21

ตารางที่ 5.20 ค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของหลอด ชนิด 36 วัตต์

หลอดที่สุ่มจากสายการผลิตใน 1 กะ (35 หลอด)	ผลของค่าความส่องสว่างที่ได้เทียบกับมาตรฐาน (2500 ลูเมน)
ค่าความส่องสว่างที่ได้จากหลอดสุ่ม	ผ่านทุกหลอด

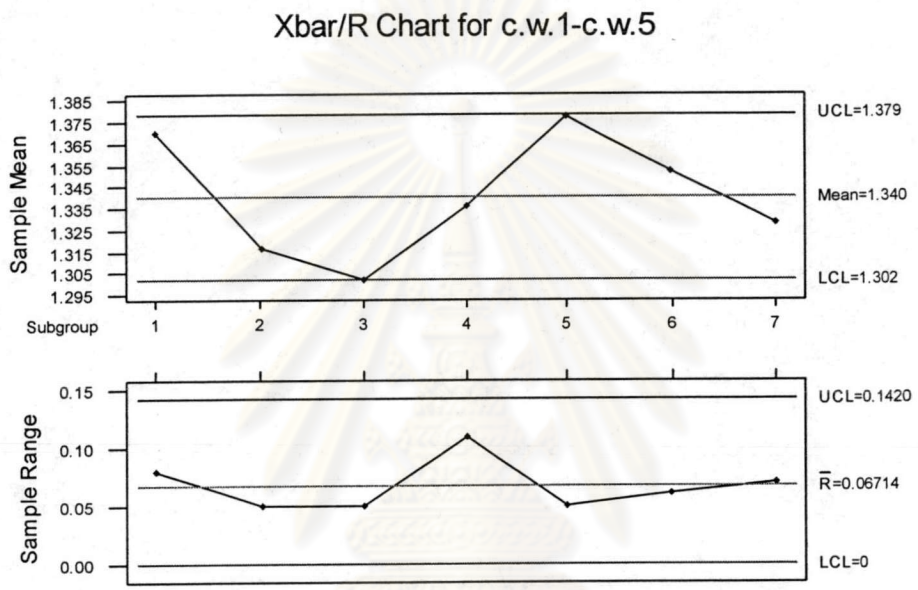


รูปที่ 5.11 น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในหลอด ชนิด 36 วัตต์

จากรูปที่ 5.11 พบว่าข้อมูลน้ำหนักมีการกระจายอยู่ในช่วงน้ำหนักที่เลือก

ตารางที่ 5.21 ค่าความส่องสว่างที่ 0 ชั่วโมงของหลอดชนิด 18 วัตต์

หลอดที่สุ่มจากสายการผลิตใน 1 กะ (35 หลอด)	ผลของค่าความส่องสว่างที่ได้เทียบกับมาตรฐาน (2500 ลูเมน)
ค่าความส่องสว่างที่ได้จากหลอดสุ่ม	ผ่านทุกหลอด



รูปที่ 5.12 น้ำหนักสารฟลูออเรสเซ็นต์ในหลอดชนิด 18 วัตต์

จากรูปที่ 5.12 พบว่าข้อมูลน้ำหนักมีการกระจายอยู่ในช่วงน้ำหนักที่เลือก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย