บทที่ 3

การเคลือบเงินและการผลิตกระจกเงา

3.1 วิวัฒนาการของกระจกเงา

3.1.1 ย้อนหลังไปตั้งแต่ศตวรรษที่ 16 เริ่มมีการประดิษฐ์กระจกเงาโดยใช้แผ่นกระจกผ่านกระบวนการเคลือบปรอท โดยมีการเคลือบดีบุกก่อนแล้วจึงเคลือบปรอท

3.1.2 ในปี ค.ศ.1835 เริ่มมีการผลิตกระจกเงาโดยผ่านกระบวนการเคลือบเงินโดย ศ. VON LIE BIG

3.1.3 ในปี ค.ศ.1876 มีการปรับปรุงกระบวนการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงา โดยค้นพบการทำให้ผิวกระจกมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของเงินซึ่งจะทำให้เงินเคลือบติดกับผิวกระจกดีขึ้น (Sensitization) อย่างไรก็ตามการผลิตกระจกเงาก็ยังผลิตได้ช้าตั้งแต่การทำให้น้ำบริสุทธิ์โดยการกลั่น ทำให้กำลังการผลิตกระจกเงาถูกจำกัดโดยปริมาณน้ำบริสุทธิ์ที่ผลิตได้

3.1.4 ในปี ค.ศ.1948 มีการค้นพบการแลกเปลี่ยนอิออนของเม็ดเรซิน ซึ่งเป็นการปฏิวัติการผลิตน้ำบริสุทธิ์อย่างไร้ขีดจำกัด ซึ่งนำไปสู่การผลิตกระจกเงาอย่างเต็มประสิทธิภาพในปัจจุบัน

3.2 ส่วนประกอบกระจกเงา

รูปที่ 3.1 ภาพแสดงส่วนประกอบของกระจกเงา

3.2.1 กระจกโฟลตใส (Float Glass)

ทำหน้าที่เป็น body ของกระจกเงา โดยใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพชั้นหนึ่ง คือเป็นกระจกที่ใหม่เสมอในการผลิตกระจกเงา ไม่มีตำหนิในเนื้อกระจก ไม่มีความบิดเบี้ยว ซึ่งจะทำให้เกิดภาพบิดเบือนไปจากความจริง

3.2.2 ดีบุก (Sensitizer)

ส่วนสำคัญที่ทำให้เงินยึดเกาะกับผิวกระจกได้ดียิ่งขึ้น

3.2.3 เงิน (Silver)

ทำหน้าที่สะท้อนภาพที่เหมือนจริงทุกมุมมองเมื่อเคลือบบนกระจกใส โดยใช้สารละลายเงินที่มีความบริสุทธิ์

3.2.4 ทองแดง (Copper)

ทำหน้าที่ปกป้องฟิล์มเงินให้มีอายุยืนนาน ในกรณีที่ฟิล์มสีถูกทำลายถึงเนื้อโลหะทองแดงจะละลายตัวแทนเงิน ถ้าไม่มีทองแดงเคลือบทับไว้ เงินจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเป็นเงินออกไซด์สีดำ รวมทั้งยังช่วยป้องกันไม่ให้ฟิล์มสีที่หดตัวระหว่างการอบไปดึงฟิล์มเงินให้หลุดไปด้วย และยังเป็นตัวประสานระหว่างฟิล์มเงินและสี

3.2.5 สี (Paint)

ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อากาศไปทำปฏิกิริยากับฟิล์มทองแดงและเงิน เพราะเป็นสีที่มีความทนทานต่อความชื้น , สารเคมีและการขูดขีด

3.3 กระบวนการผลิตกระจกเงา

3.3.1 Loading Section

พนักงานจะนำกระจกป้อนเข้าสายการผลิต โดยให้ด้าน Atmosphere หรือด้าน Sore ของกระจกอยู่ด้านบน

3.3.2 Pre - Cleaning Section

กระจกจะถูกล้างด้วยน้ำและแปรงลูกกลิ้ง (Cylindrical brush) เพื่อชำระสิ่งสกปรกบนผิวหน้าที่อาจมีออกไป

3.3.3 Scrubbing Section

กระจกที่ถูกล้างผิวแล้วจะผ่านเข้าไปขัดผิวด้วยสารขัดผิวคือ Cerium Oxide ด้วยแปรงกลม (Cup brush) เพื่อขัดผิวกระจกชั้นนอกสุดออกจากกระจกทำให้มีผิวที่สะอาดมาก

3.3.4 Glass Washing Section

กระจกจะถูกล้างครั้งสุดท้ายเพื่อล้างสารขัดผิว (Cerium Oxide) ออกจนหมดเหลือแต่ผิวกระจกที่บริสุทธิ์พร้อมที่จะได้รับการเคลือบผิว

3.3.5 Sensitizing (Tinning) Section

กระจกจะถูกพ่นด้วยสารละลาย Sensitizer หรือ tin เพื่อทำให้ผิวกระจกมีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของเงินและทำให้เงินเคลือบติดกับผิวกระจกได้ดี

3.3.6 Silvering Section

กระจกที่ผ่านการเคลือบ tin หรือ Sensitizer มาแล้วจะมีผิวไวต่อการปฏิกิริยาเคมีเมื่อพ่นสารละลายของเงินและสารทำปฏิกิริยา (Reducer) ทำให้เกิดฟิล์มของเงินเคลือบติดแน่นบนแผ่นกระจก

3.3.7 Silver Rinse – off Section

เป็นการพ่นน้ำล้างสารละลายเงินและ Reducer ที่มากเกินออกไป

3.3.8 Coppering Section

กระจกที่ผ่านการเคลือบเงินจะถูกพ่นด้วยสารละลายของทองแดงลงไปทำปฏิกิริยากับสาร Activator ในสารละลายแอมโมเนียทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้แผ่นฟิล์มของทองแดงทับและติดสนิทกับฟิล์มเงิน

3.3.9 Copper Rinse Section

เป็นการพ่นน้ำล้างสารละลาย Copper และ Activator ที่มากเกินพอออกไป

3.3.10 Blow – off Section

เป็นการเป่าไล่น้ำที่เกาะบนผิว Copper

3.3.11 Pre – heat Section

อบกระจกให้อุ่นและแห้งสนิทเพื่อให้เหมาะกับการเคลือบสี

3.3.12 Paint Coating Section

กระจกที่มีอุณหภูมิผิวร้อนได้ที่แล้วจะถูกป้อนผ่านม่านสีเพื่อเคลือบสี

3.3.13 Oven Section

กระจกที่ถูกเคลือบสีจะถูกอบให้แห้งในเตาอบด้วยแสงอินฟราเรด

3.3.14 Cooling Section

กระจกเงาที่ผ่านการการเคลือบเงิน ทองแดง และสีมาแล้วจะถูกลดอุณหภูมิลง

3.3.15 Acid Face Printing Section

กระจกจะถูกล้างผิวกระจกเงาด้านล่างด้วยกรด Ferric Sulfate เพื่อขจัดคราบเงินหรือทองแดงที่อาจติดมาด้านล่างออกให้หมด

3.3.16 Final Wash Section

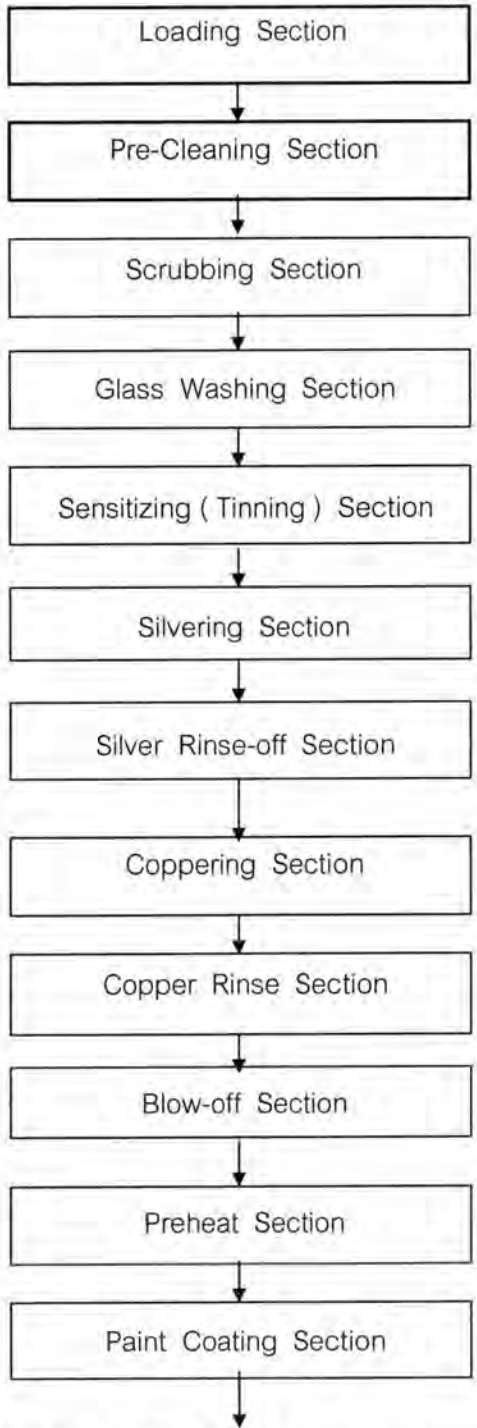
กระจกที่ผ่านการล้างด้วยกรด Ferric Sulfate แล้วจะถูกล้างด้วยน้ำสะอาดทั้งผิวด้านบนและด้านล่างให้สะอาดอีกครั้ง

3.3.17 Drying Section

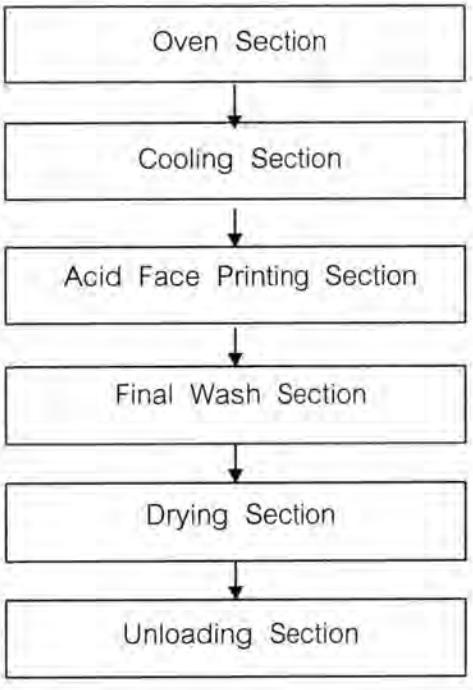
กระจกที่ผ่านการล้างจะถูกเป่าให้แห้ง

3.3.17 Unloading Section

พนักงานจะตรวจสอบสภาพกระจกเงาทั้งด้านหน้าและด้านหลังก่อนทำการบรรจุ



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตกระจกเงา



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตกระจกเงา (ต่อ)

3.4 ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน (Silver Plating Efficiency)

$$\% \text{ Efficiency} = \frac{\text{ปริมาณโลหะเงินที่เคลือบบนกระจกจริง (mg silver plated per ft}^2\text{) x 100}}{\text{ปริมาณโลหะเงินที่พ่นลงไปทั้งหมด (mg silver per ft}^2\text{)}}$$

$$\text{หรือ} = \frac{\text{ผลไตเตรต (titration , mg/ft}^2\text{) x ระยะพ่น x ความเร็ว line (line speed) x 100}}{\text{144 x อัตราการปั๊มของสารละลาย x ปริมาณโลหะเงินในสารละลาย silver nitrate}}$$

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพ

ระยะพ่นเงิน	=	102 inch
ความเร็ว line (line speed)	=	118 inch/min
อัตราการปั๊มของสารละลาย (Silver Pumping Rate)	=	43 cc/min
ปริมาณโลหะเงินในสารละลาย Silver Nitrate (Amount of Silver)	=	158.75 mg/cc

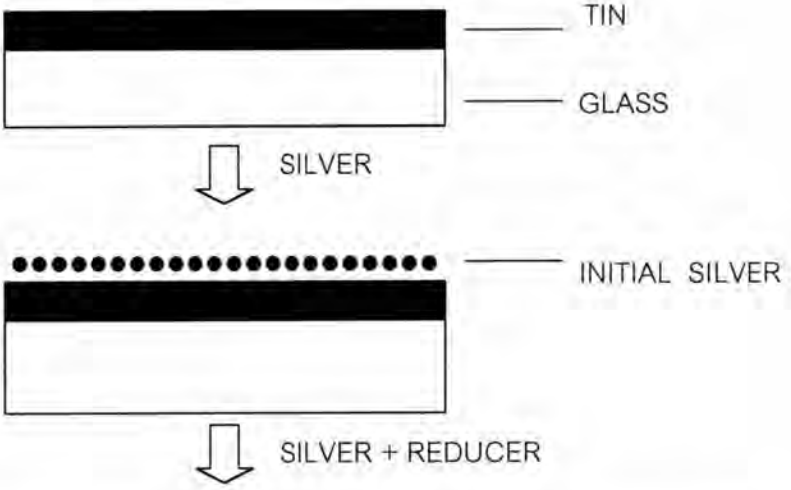
ผลการไตเตรต = 67 mg/ft^2

$\therefore$ (%) Silver Efficiency = $\frac{67 \times 102 \times 118 \times 100}{144 \times 43 \times 158.75}$

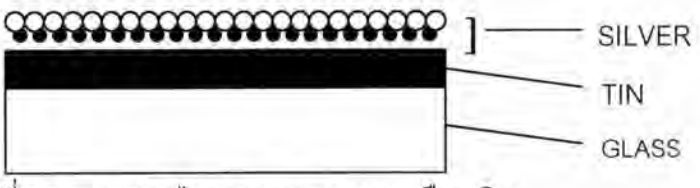
= 82%

3.5 การไตเตรตเงิน (Silver Titration)

การทดสอบหาปริมาณเงินที่เคลือบบนผิวกระจกด้วยการไตเตรตชั่น (การไตเตรตชั่นเป็นการหาความเข้มข้นของกรดหรือเบสที่ไม่ทราบค่า โดยการเติมสารละลายกรดหรือเบสที่ทราบความเข้มข้นเพื่อทำให้กรดหรือเบสที่ต้องการหาความเข้มข้นเกิดการสะเทิน $H^+ + OH^- = H_2O$ โดยเติมอินดิเคเตอร์ลงไปเล็กน้อยเพื่อให้สังเกตจุดเปลี่ยน pH ได้ชัดเจน)



$Ag(NH_3)_2(NO_3) + NaOH + R - COOH \longrightarrow Ag(s) + Ag_2O + R - COONa + H_2O + NH_4NO_3$



รูปที่ 3.4 แสดงกลไกของกระบวนการเคลือบเงิน