หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและการสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับสี

การใช้สีของมนุษย์ คงจะมีมานานตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์หรือสมัยที่มนุษย์อาศัยอยู่ในถ้ำ นับเป็นเวลาร่วมแสนปี เป็นการใช้สีในการวาดภาพตามผนังถ้ำ สำหรับการบันทึกตามประวัติศาสตร์เรื่องใช้สีนั้น เริ่มที่สมัยอียิปต์โบราณประมาณ 2000 ปี ก่อนพุทธกาล ชาวอียิปต์รู้จักการขุดแร่ที่ได้จากธรรมชาติหรือพวกดินสีชนิดต่าง ๆ นำมาผสมกับน้ำโดยไม่ผ่านกระบวนการคัดแปลงใด ๆ หรืออาจจะเป็นการคัดแปลงผสมสีกันอย่างง่าย ๆ และนำไปใช้งานได้เลย ไม่ว่าจะเป็นการทาสีบ้าน, ผนังปราสาท, การวาดรูปและการทาสีรูปปั้นต่าง ๆ สีที่ได้อาจจะไม่มีความสวยงามและคงทนเหมือนปัจจุบัน

หลังจากนั้นมนุษย์ก็มีวิวัฒนาการเกี่ยวกับเรื่องสีเรื่อยมา จนกระทั่งปัจจุบันมีการปรับปรุงคุณภาพสีวิธีการใช้งานต่าง ๆ และขอบเขตของการใช้สีขยายออกไปเรื่อย ๆ จากเดิมที่เคยจำกัดอยู่แต่การทาสีอาคารและงานศิลปะ ก็ขยายมาในวงอุตสาหกรรม รูปแบบและวัตถุประสงค์การใช้งานก็แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ดีประโยชน์ของสีที่เป็นอมตะก็คือการให้ความสวยงามต่อชิ้นงานที่ถูกทาสี

ในบทความนี้จะประกอบด้วยหัวข้อหลัก 4 ส่วน คือ

- สี (Colour)
- สีทาวัตถุ (Paint)
- สีฝุ่น (Powder Paint)
- การสำรวจงานวิจัย (Literature Survey)

2.1 สี (Colour)

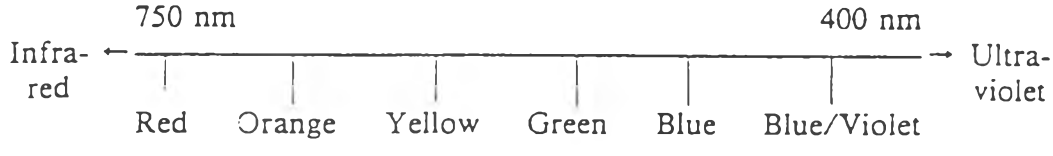
ในเรื่องของสีมีทฤษฎีและเนื้อหาที่กล่าวถึงอยู่มากมาย ในบทนี้จะคัดเอาเฉพาะประเด็นสำคัญที่เกี่ยวกับสีขึ้นมาอธิบายโดยสังเขป เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับเนื้อหาของบทถัดไป สามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

- สีของวัตถุ
- การมองเห็นสีของมนุษย์
- การวัดสี

ความหมายของสีในเชิงวิทยาศาสตร์

คำจำกัดความของสีหรือความหมายของสีในเชิงวิทยาศาสตร์ (Edward,1990) คือ เป็นผลจากการรับรู้จากการกระตุ้นที่เรตินาซึ่งเป็นอวัยวะในลูกตา โดยปรากฏการณ์ทางการสั่นของคลื่นในทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแยกไปตามความยาวคลื่น และตาของมนุษย์จะตอบสนองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง 400-750 n.m. ที่ 400 n.m. จะให้การรับรู้เป็นสีคราม ส่วนที่ 750 n.m. จะให้การรับรู้เป็นสีแดง ตามรูปกราฟที่ 2.1 ด้านล่าง

Relationship between colour and wavelength



(One nanometre (nm) = 10^{-6} mm)

รูปที่ 2.1 กราฟแสดงความยาวคลื่นและการรับรู้สีของมนุษย์

2.1.1 สีของวัตถุ

เป็นที่ทราบกันดีว่าในแสงธรรมชาตินั้นประกอบด้วยคลื่นความยาวต่าง ๆ ผสมกัน ออกมาเป็นแสงสีขาว ถ้าสามารถแยกคลื่นความยาวต่าง ๆ ออกมาจะเห็นเป็นสีต่าง ๆ นอกจากนี้ในธรรมชาติจะพบว่ายังมีเรื่องของความเข้มและความสว่างเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยคือ

(1) ถ้าวัตถุนั้นสะท้อนแสงหรือกระจายแสงที่ตกกระทบได้ดี จะเห็นเป็นสีขาว

(2) ถ้าวัตถุนั้นดูดกลืนแสงเป็นส่วนใหญ่ จะเห็นเป็นสีดำ

(3) ถ้ามีการดูดกลืนแสงและสะท้อนกลับบางส่วน จะปรากฏเป็นสีต่าง ๆ

ปกติปรากฏการณ์ที่ (3) มักจะเกิดควบคู่กับ (1) และ (2) เสมอ ถ้าเกิดควบคู่กับ (1) สีที่ปรากฏจะสว่างขึ้น ขณะเดียวกันถ้าเกิดควบคู่กับ (2) สีที่ปรากฏจะคล้ำลง

นักวิทยาศาสตร์พบว่าสีเกิดจาก แม่สี 3 สี คือ แดง, เขียว, น้ำเงินผสมกัน ในสัดส่วนต่าง ๆ ตามความสามารถดูดกลืนและสะท้อน เช่นวัตถุสีแดงเกิดจากวัตถุนั้นเมื่อมีแสงสีขาวตกกระทบจะดูดกลืนสีน้ำเงินและสีเขียวเอาไว้โดยจะสะท้อนแสงสีแดงออกมา สีเขียวเกิดจากวัตถุนั้นเมื่อมีแสงสีขาวตกกระทบจะดูดกลืนสีน้ำเงินและสีแดงเอาไว้โดยจะสะท้อนแสงสีเขียวออกมา แต่ในความเป็นจริงวัตถุจะดูดกลืนและสะท้อนแสงออกมาในลักษณะกล้ำกึ่งกัน ทำให้เราเห็นวัตถุเป็นสีต่าง ๆ ในตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถอธิบายได้ในหัวข้อการผสมสีกันของรงควัตถุ

<u>การผสมสีของรงควัตถุ</u>

ถ้านำรงควัตถุ*สีเหลืองมาผสมกับรงควัตถุสีน้ำเงินจะได้สีเขียว ซึ่งเป็นผลจากการดูดกลืนและสะท้อนที่ผสมผสานกัน แต่ถ้านำรงควัตถุสีเขียวและรงควัตถุสีน้ำเงินมาผสมกัน จะไม่ได้สีเหลืองซึ่งผิดกับการผสมกันของแสงสีเขียวและแสงน้ำเงินจะได้สีเหลือง สาเหตุเนื่องจากการดูดกลืนสีบางส่วนและสะท้อนสีบางส่วนของรงควัตถุดังกล่าว (ซึ่งมิใช่เป็นการผสมกันของแสงสีต่าง ๆ โดยตรงตามทฤษฎี) ปรากฏการณ์ดังกล่าวอธิบายด้วยทฤษฎีของ Subtractive ด้วยทฤษฎีดังกล่าวเราสามารถแบ่งแม่สีของรงควัตถุ ได้เป็น 3 สี คือ เหลือง ม่วงแดงและฟ้า

2.1.2 การมองเห็นสีของตามนุษย์

เมื่อแสงผ่านเลนส์ตา และถูกโฟกัสไปยังจุดรับภาพด้านหลังของลูกตา บริเวณนี้จะมีประสาทรับรู้ทางภาพอยู่เรียกว่า “เรตินา” ซึ่งแต่ละความยาวของคลื่นแสงจะถูกแปรออกมาเป็นสัญญาณคลื่นเพื่อจะส่งไปยังสมองที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้เรื่องสี ในอัตราของสัญญาณคลื่นที่แตกต่างกันตามชนิดของสีที่เห็น

* รงควัตถุคือ วัตถุที่มีสีที่ปรากฏนั้น ๆ ตามธรรมชาติ โดยมิได้เกิดจากการผสมสีของวัตถุชนิดอื่นปนเข้ามา

ที่ปลายประสาทรับภาพจะมี เซลล์ 2 ชนิด คือ Rod เซลล์ กับ Cone เซลล์ โดย

- Rod เซลล์ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพเกี่ยวกับระดับความเข้มของแสง นั่นคือจะให้ภาพที่ได้รู้สึกว่ามืดหรือสว่าง

- Cone เซลล์ ทำหน้าที่ทางสีโดยตรง แต่จะไม่ไวต่อสภาวะที่แสงน้อย ๆ และยังเชื่อต่อไปว่า Cone เซลล์ยังแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ รับรู้แสงสีแดง, รับรู้แสงสีน้ำเงิน และรับรู้แสงสีเขียว

อาการตาบอดสี

อาการตาบอดสีจะเกิดจาก Cone เซลล์ไม่ตอบสนองต่อแสงสีหนึ่งแต่จะตอบสนองต่อแสงสีที่เหลือ เช่นตาบอดสีแดงจะเกิดจาก Cone เซลล์สีเขียวกับน้ำเงินทำงานแต่ Cone เซลล์สีแดงจะไม่ตอบสนองต่อสีแดง โดยมากคนตาบอดสีจะเกิดกับสีแดง สีเขียวเกิดน้อยมาก และสีน้ำเงินจะน้อยที่สุดและกรณีที่เกิดน้อยที่สุดคือทั้ง 3 Cone เซลล์ไม่ทำงาน จะทำให้ไม่สามารถเห็นสีของวัตถุตามธรรมชาติแต่จะเห็นเป็นภาพขาวดำเท่านั้น

2.1.3 การวัดสี

การวัดสีที่นิยมกันอยู่ในปัจจุบันมีวิธีการอยู่ 2 วิธี คือ

- Colorimeters
- Spectophotometers

2.1.3.1 Colorimeters

หลักการวัดสีของ Colorimeters ประกอบด้วย 2 วิธี วิธีแรกประมาณค่าของผิวหน้าของสีที่เกี่ยวเนื่องกับสีมาตรฐานโดยการให้สีหลักของแสงทั้ง 3 รวมเข้าด้วยกัน หรือวิธีที่ 2 โดยการวัดการสะท้อนของสีหลักของแสงทั้ง 3 จากผิวหน้าโดยใช้วิธีทาง Photoelectric วิธีการแรกนี้จะทำให้เกิดการเห็นเป็นรูปร่างใน Colorimeter ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ปัจจุบันนี้ถูกแทนที่โดยเครื่องมือ ทาง Photoelectic ซึ่งจะลดความผิดพลาดของมนุษย์ลง

Photoelectric Colorimeters

เครื่องมือวัดสีชนิดนี้ใช้หลักการ 2 อย่างคือ

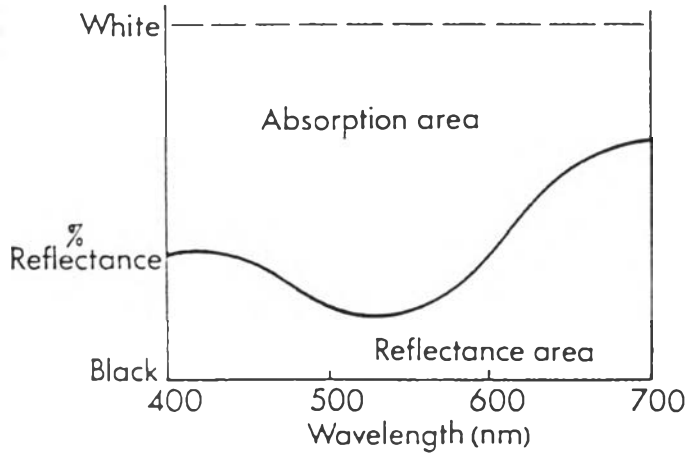
- ผิวหน้าวัตถุถูกทำให้สว่างโดยการใช้สีหลักของแสงทั้ง 3 และความเข้มของแสง

ที่สะท้อนกลับ จะถูกวัดโดย Photoelectric เซลล์และ Galvanometer โดยมีวัตถุสีขาวทึบแสงมาเป็นตัวอ้างอิง

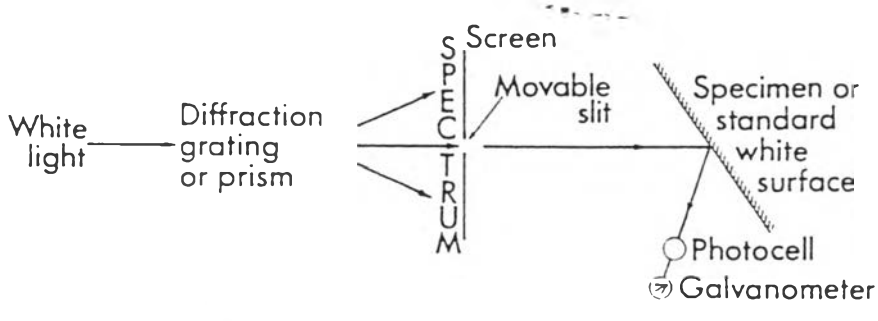
- ผิวหน้าของวัตถุจะถูกทำให้สว่างโดยแหล่งกำเนิดแสง และแสงสะท้อนจะถูกผ่านไปยังตัวกรองแสงสีแดง, เขียว, น้ำเงิน ความเข้มของแสงที่สะท้อนออกไปนี้จะถูกวัดออกมา

2.1.3.2 Spectophotometers

แทนที่จะวัดแสงสะท้อนจากค่าของแม่สีทั้ง 3 ในช่วงแคบ ๆ แบบวิธี Colorimeters จึงได้เปลี่ยนมาเป็นวิธีการใหม่ คือให้แหล่งกำเนิดเป็นแสงสีขาวผ่านช่องปริซึ่มออกมาเป็นสเปคตรั่มต่าง ๆ และตกลงไปยังฉาก ที่ฉากนี้จะประกอบกับสลิทที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งจะสามารถบังคับให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการ เพื่อทำให้วัตถุหรือผิวหน้ามาตราฐานซึ่งเป็นสีขาวสว่างได้ เพื่อทำการวัดความเข้มของแสงที่สะท้อนออกมา และความเข้มของแสงสะท้อนจะถูกวัดโดย Photocell และ Galvanometer ชนิดพิเศษจากนั้นทำการพลอตระหว่าง % ที่สะท้อนกับความยาวคลื่น ดังรูปที่ 2.2 ส่วนรูปที่ 2.3 แสดงหลักการของ Spectophotometers ค่าที่วัดได้จากเครื่องนี้จะออกมาในรูปของ ΔE



รูปที่ 2.2 แสดงการพลอตระหว่าง % สะท้อนกับความยาวคลื่น



รูปที่ 2.3 แสดงหลักการของ Spectophotometers

2.2 สีทาวัตถุ (Paint)

จากทฤษฎีของแสงและสีที่กล่าวมา คงจะเป็นพื้นฐานในส่วนที่จะอธิบายต่อไปของเรื่องสีทาวัตถุ (Paint) ซึ่งใช้สำหรับทาหรือเคลือบผิวหน้าวัสดุใด ๆ กล่าวโดยทั่วไปแล้วในกระบวนการเคลือบผิวหน้าวัสดุ อาจจะมีได้หลายแบบ คือ ติดวอลเปเปอร์, หุ้มพลาสติก, หุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมหรือชุบโครเมี่ยม แต่วิธีที่สะดวกที่สุดคือการใช้สี ซึ่งสามารถใช้ได้กับผิวหน้าวัสดุหลายชนิด, หลายประเภทและรูปร่างแบบต่าง ๆ สีทาวัตถุโดยทั่วไปแล้วมีหลายประเภท นอกจากจะใช้วิธีการทาแล้วยังใช้วิธีการพ่น การเคลือบด้วยระบบไฟฟ้า (Electrolysis) ซึ่งอยู่ในสภาวะของเหลว และการเคลือบโดยอาศัยแรงของไฟฟ้า ในสภาพของแข็ง (Electrostatic) หน้าที่ของสีในการเคลือบผิวหน้าวัสดุใด ๆ ก็เพื่อ

- ป้องกันผิววัสดุนั้น ๆ
- เพื่อให้เกิดความสวยงาม
- เพื่อใช้เป็นสัญลักษณ์ให้เกิดความแตกต่าง

ในเรื่องของสีทาวัตถุจะกล่าวถึงหัวข้อที่สำคัญ 3 ข้อดังนี้

- องค์ประกอบหลักของสีทาวัตถุ
- คุณสมบัติของสารปรุงแต่ง (Additives) ในสีทาวัตถุ
- คุณสมบัติที่ดีของสีเมื่อแห้งตัว

2.2.1 องค์ประกอบหลักของสีทาวัตถุ (Tunel และ Anthony, 1967)

ก. เม็ดสี (Pigment) ทำหน้าที่ให้เกิดสีสรรความสวยงามและเป็นตัวปกป้อง ผิววัสดุตัวมันเองโดยแท้จริงแล้วส่วนใหญ่ไม่สามารถยึดเกาะผิวหน้าวัสดุได้ ต้องอาศัยสารตัวอื่นช่วยและทำให้มันกระจายตัวไปทั่วผิวหน้าวัสดุที่มันเคลือบอยู่ คุณลักษณะของเม็ดสีที่ดีควรเป็นดังนี้

- ให้สีหรือการเกิดสีของเนื้อสี
- ปิดบังสีก่อนหน้าได้ดี
- เพิ่มความแข็งแรงให้แก่ฟิล์มสี
- เพิ่มการยึดเกาะให้แก่ฟิล์มสี
- เพิ่มคุณสมบัติความทนทานและการกัดกร่อน

- ลดการสะท้อนแสง
- แก้ไขคุณสมบัติความไหลคล่องในการใช้งาน

ชนิดของเม็ดสี (Pigment Type) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือเม็ดสีธรรมชาติกับเม็ดสีสังเคราะห์ (Natural and Synthetic Pigments) เม็ดสีธรรมชาติได้จากแร่ต่าง ๆ บนผิวโลก นำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นก่อนใช้งาน ส่วนเม็ดสีสังเคราะห์ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมีมีทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์

ข. เรซิน (Resin) หรือ โพลิเมอร์ หรือ Binder หรือ Film Former หน้าที่ของสารตัวนี้ก็เพื่อ จะยึดอนุภาคของเม็ดสีเข้าด้วยกันและคงสภาพนั้นไว้ที่ผิวหน้าของวัสดุ อย่างไรก็ดีเรซินเป็นโพลิเมอร์ที่เป็นของแข็ง และในภาวะปกติมันไม่สามารถยึดรวมตัวและเกาะเม็ดสีได้ ต้องมีตัวทำละลายให้อยู่ในสภาพของเหลวซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้สะดวก

ปกติสีทาวัตถุในปัจจุบันส่วนใหญ่ต้องผสมกับตัวทำละลาย ได้มีการพัฒนาที่จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเรซินทุกชนิดสามารถเปลี่ยนโครงสร้างให้สามารถละลายน้ำได้ โดยแต้มกลุ่ม Carboxyl เข้าไปแล้วทำให้เป็นกลางด้วย Base Ammonia หรือ Amine จะได้เกลือโพลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะมีประจุ + ถ้าชิ้นงานต่อเข้าประจุ - ประจุ + ของโพลิเมอร์ที่เกาะกับเม็ดสีจะเข้าไปรับอิเลคตรอนแล้วกลายเป็นกลางต่อกันเป็นลูกโซ่ของโพลิเมอร์คลุมไว้แต่ผิวมักจะไม่พรุนและเป็นฉนวนดังนั้นเมื่อปิดผิวหน้าวัตถุหมดจะไม่เกิดปฏิกริยาต่อ เช่นกันอาจจะทำให้เรซินเป็นเกลือประจุ - ได้ โดยทำปฏิกริยากับกลุ่ม Amine แล้วทำให้เป็นกลางด้วยกรด Acetic หรือ Lactic นอกจากนี้อาจจะเติมโพลิเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำลงไปร่วมกับโพลิเมอร์หลักก็ได้ ข้อเสียของ Water Soluble Resin คือ มันจะไม่คงทนอาจจะละลายน้ำกลับมาอีก

ค. ตัวทำละลาย (Solvent) หรือของเหลวที่ใช้ผสมกับเรซินและเม็ดสี เป็นตัวทำละลายเรซินให้เป็นสารละลาย เพื่อให้เกิดคุณสมบัติยึดเกาะและเข้ากับเม็ดสีได้ดีและยังช่วยให้สะดวกในการใช้งาน สารละลายที่ไม่มีเม็ดสีเรียกว่า วานิช (Varnish) วานิชที่มีเม็ดสีอาจจะเรียกว่า Enamel สารอีกตัวที่น่าสนใจคือ แลคเกอร์ (Lacquer) จะเป็นสารละลายสีใส ๆ ที่เซ็ทตัวด้วยความร้อน (Thermoplastic) อาจจะถือว่าเป็นวานิชได้เช่นกันส่วน Enamel ที่เซ็ทตัวด้วยความร้อน ซึ่งภายหลังจากการเซ็ทตัวจะแข็ง ผิวหน้าจะมัน ๆ คล้ายแก้ว ตัวทำละลายที่นิยมใช้ได้แก่

- กลุ่ม Aliphatic Hydrocabon Moistures : Chiefly Paraffins

กลุ่มนี้มีตัวทำละลายที่ใช้กันมากตัวหนึ่งคือ White Spirit หรือ Thinner

- กลุ่ม Terpenes

เดิมในอดีตใช้กันมาก ปัจจุบันหันมาใช้ Thinner แทน พวกนี้รู้จักกันในนามของน้ำมันสนโดยเฉพาะ Terpentane ได้มาจากยางไม้จากต้นสน

นอกจากนี้ยังมีตัวทำละลายอื่น ๆ ที่ใช้ในวงการสีตามชื่อตัวทำละลายที่เป็นหลัก ๆ ในกลุ่มนั้น ๆ อีกได้แก่

- กลุ่ม Aromatic Hydrocabons
- กลุ่ม Alcohols
- กลุ่ม Ethers
- กลุ่ม Ketones
- กลุ่ม Ethers and Ether Alcohols
- กลุ่ม Nitroparaffins ไม่คอยนิยมใช้โดยเฉพาะ Chloroparaffins เป็นพิษ และ Nitroparaffins มีราคาแพง
- กลุ่ม Cholroparaffins

คุณสมบัติที่สำคัญของตัวทำละลายที่ต้องคำนึงถึงได้แก่

<u>ความสามารถในการทำละลาย</u> (Solvency)

สำหรับตัวโพลิเมอร์หรือเรซินเอง ได้มีจัดทำเป็นตารางความสามารถในการทำละลาย (จากหนังสือ Introduction to Paint Chemistry หน้า 112-115) โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามกลุ่มของตัวทำละลายซึ่งจะกำหนดค่าเป็นช่วง (Parameter Range) ถ้าตัวเลขพารามิเตอร์ของตัวทำละลายตกอยู่ในช่วงดังกล่าวแสดงว่าสามารถละลายโพลิเมอร์นั้นได้ (กรณีตัวทำละลาย 2 ตัว หรือมากกว่าจะใช้หลักการสัดส่วนหาค่าพารามิเตอร์ของตัวทำละลายผสมนั้นออกมา) ซึ่งสะดวกในการดูว่าตัวทำละลายชนิดนั้นใช้กับโพลิเมอร์หรือเรซินชนิดใดได้บ้าง

<u>ความหนืด</u> (Viscosity)

เป็นคุณสมบัติของของเหลวอย่างหนึ่ง อาจจะวัดโดย

- จับเวลาการไหลออกจากถ้วยผ่านช่องเล็ก ๆ (Capillary Sebolt)
- วัดเวลาที่ถูกเหล็กตกจากผิวหน้าของเหลวสู่ก้นของเหลว

เมื่อโพลิเมอร์ละลายลงไปในตัวทำละลายมากเท่าใด ความหนืดจะเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น พวกสีชนิด Emulsion หรือสีที่เป็น Colloid ของโพลิเมอร์ ปกติจะไม่ละลายแต่จะแขวนลอยในตัวทำละลาย จริง ๆ แล้วสีพวกนี้จะไม่มีกระทบต่อความหนืดของตัวทำละลาย แต่ถ้าปริมาณโพลิเมอร์ที่แขวนลอยมากถึงจุดหนึ่งจะเกิดความหนืดมากได้เช่นกัน ในตัวทำละลายชนิดเดียวกันปริมาณเท่ากัน ถ้าละลายโพลิเมอร์ที่น้ำหนักเท่ากัน โพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะให้ความหนืดสูงกว่า

ค่าความหนืดจะเป็นสัดส่วนกับชนิดของตัวทำละลาย เช่น 12% Polystyrene ใน Methyl Ethyl Ketone (0.004 Poises) - 0.4 Poises , ใน Ethyl Benzene (0.007 Poises) - 1.6 Poises, ใน o-Dichlarobenzene (0.013 Poises) - 3.3 Poises

<u>จุดเดือดและอัตราการระเหย</u> (Boiling Point and Evaporation Rate)

ปกติจุดเดือดไม่ว่าจะเป็นของตัวทำละลายเดียวหรือหลาย ๆ ตัวทำละลายสามารถวัดได้ อย่างไรก็ดีการระเหยของสาร เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่บอกว่าสีที่ทานั้นแห้งได้ช้าหรือเร็ว ปกติอัตราการระเหยจะสัมพันธ์กับจุดเดือดของสารกล่าวคือ ถ้าตัวสารมีจุดเดือดต่ำสารนั้นจะระเหยได้เร็วกว่าสารที่มีจุดเดือดสูง

ฉะนั้นตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำจะเหมาะสมกับงานสีสเปรย์ ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูงจะเหมาะสมกับงานที่ต้องการให้สีสามารถไหลรินได้ดีเป็นระยะเวลานาน ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดปานกลางจะเหมาะสมกับงานที่ต้องการไหลที่ดีในระยะแรก และต่อมาสีจะต้องการแห้งตัวเร็วนอกจากนี้ยังอาจจะใช้กับการสเปรย์ได้

<u>จุดวาบไฟ</u> (Flash Point)

จุดวาบไฟเป็นตัววัดว่าตัวทำละลาย จะเสี่ยงต่อการติดไฟมากน้อยเท่าใด เนื่องจากตัวทำละลายส่วนใหญ่เป็นสารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocabon;H-C) ซึ่งสามารถติดไฟได้ง่าย การวัดจะเทียบเอาอุณหภูมิซึ่งตัวทำละลาย ระเหยเองเป็นไอมากพอที่จะลุกไหม้ด้วยประกายไฟหรือเปลวไฟได้ ซึ่งการใช้งานจะต้องควบคุมให้ดี

<u>สิ่งสำคัญของสารตัวทำละลาย</u>

คือต้องไม่ทำปฏิกริยาใด ๆ กับส่วนประกอบของสีก่อนใช้งานหรือผสมเพื่อใช้งาน มิ

ฉะนั้นจะทำให้เกิดผลเสียได้

ความเป็นพิษและกลิ่น (Toxicity and Smell)

ปกติตัวทำละลายหลายตัวที่เป็นอันตรายทั้งการสัมผัสและการสูดหายใจเข้า สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้ทั้ง 2 กรณี แต่การสูดหายใจเข้าจะสามารถหลีกเลี่ยงได้ลำบากกว่าการสัมผัส ดังนั้นในการกำหนดความเข้มข้นจากอันตรายของตัวทำละลาย จึงจำเป็นเพื่อจะเตรียมการทำงานได้ถูกต้องและปลอดภัย

2.2.2 คุณสมบัติของสารปรุงแต่ง (Additives) ในสีทาวัตถุ

สารปรุงแต่งคือสารที่เติมลงไปเล็กน้อยเพื่อทำให้คุณสมบัติของสีดีขึ้น เช่นทำให้สีแห้งไวขึ้น ป้องกันรังสีอุลตราไวโอเลต กันเชื้อราและอื่น ๆ ซึ่งส่วนนี้อาจจะเป็นความลับขึ้นอยู่กับผู้ผลิตสีเอง ในการทาสีของผิววัสดุอาจจะใช้ แปรง, ลูกกลิ้ง (Roller), พ่น และจุ่มลงในสี ซึ่งต้องปรับความหนืดให้เหมาะสมโดยการเติมตัวทำละลาย ลงไปปรับความหนืดให้ได้ตามความต้องการ ในส่วนต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดได้จากการเติมสารปรุงแต่งสี ซึ่งในการเติมสารปรุงแต่งสีจะ จำกัดไว้ที่ 0.001 - 5% โดยน้ำหนัก

สารปรุงแต่งที่มีอิทธิพลต่อความหนืด (Additives Affecting Viscosity)

การเติมสารปรุงแต่งสีลงไปอาจจะทำให้เกิด ภาวะที่ทำให้ค่าความหนืดของสีเปลี่ยนแปลง ซึ่งโดยมากอาจจะทำให้สีมีความหนืดขึ้น ขณะสียังไม่ถูกกวนแต่ละหนืดลดลงเมื่อถูกกวน (จริง ๆ สารที่เป็นของเหลวจะมีความหนืดค่าเดียว) ทั้งนี้เนื่องจากผลของโมเลกุลของสารปรุงแต่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกกวน ซึ่งส่วนนี้อาจจะเป็นผลดีในการใช้งานสี เช่น การทา, การพ่น ไม่ทำให้สีเกิดการไหลเป็นทางเพราะสีเริ่มหนืดและอยู่ตัว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า Non-Newtonian Movement ซึ่งอาจจะเกิดจาก

(1) มีปริมาณ Pigment มากเกินไปในสี

(2) สารพวก Silica & Siligate (พวกนี้ดูดซับสีไว้ใน Layer มาก ๆ)

(3) พวก Resineous Thickener

สารปรุงแต่งที่มีอิทธิพลต่อผิวหน้าและแรงดึงผิวภายใน (Additive Affacting Surface and Internal Tensions)

ผลที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของสารปรุงแต่งเกิด 2 ชนิด คือ

(1) Popping คือ ปรากฏการณ์เป็นหลุมเล็ก ๆ ที่เกิดบนฟิล์มที่แห้งแล้ว มีสาเหตุจากการใช้ตัวทำละลายไม่เหมาะสมคือ ตัวทำละลายระเหยได้ไม่ดีพอ ณ อุณหภูมิห้องก่อนเข้าเตาเผา จะทำให้ตัวทำละลายระเหยออกจากผิวเร็วขณะได้รับความร้อนภายในเตาจะเกิดเป็นรูเล็ก ๆ หรือเกิดจากสารเคมีในเนื้อสีทำปฏิกริยาเกิดเป็นฟองอากาศเอง หรือการเคลือบรองพื้นด้านล่างผิดวิธี เช่นรองพื้นสีขาวบนผิวหน้าไม่เรียบ หรือผิวหน้าสีที่ไม่มีความมัน (เนื่องจากมี Pigment มาก) หรือเนื่องจากมีการกลั่นตัวของน้ำและรวมกับเนื้อสี เมื่อน้ำระเหยออกจะเกิดรูพรุน

(2) Cissing เกิดจากอนุภาคคกลงบนผิวฟิล์มของสี น้ำหนักของอนุภาคจะกดให้เนื้อสียุบตัวลงเนื่องจากผิวฟิล์มมีแรงดึงผิวสูง และอนุภาคไม่ละลายลงเนื้อสีดังนั้นเมื่อสีแห้งตัวจะเกิดปรากฏการณ์นี้ อาจจะแก้ไขโดยเติมสารปรุงแต่งบางตัว เช่น ตัวมีผิว Polar + หรือ Non-Polar เพื่อลดแรงดึงผิวลงทำให้อนุภาคจมตัวลงในสีได้ง่าย และยังดึงดูดอนุภาคทั้งมีขั้วและไม่มีขั้วที่ผิวหน้าเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

<u>สารปรุงแต่งที่มีอิทธิพลต่อความเงา</u> (Additive Affecting Gloss)

ผิวฟิล์มถ้ามีอนุภาคบางชนิดรบกวนอาจจะลดความเงาลงได้ หรืออาจจะเกิดเฉพาะกับสีที่มีเม็ดสี เช่นเติมเม็ดสีมากเกินไป หรืออาจจะเกิดจากการขัดผิวหน้าก็ได้กรณีพวกวานิช อาจจะลดความเงาได้โดยเติม

- ซิลิก้า แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากอาจจะไปลอยที่ผิวฟิล์มได้
- แวกซ์บางตัวที่มีน้ำหนักของโมเลกุลสูง

<u>สารปรุงแต่งที่มีผลกระทบต่อปฏิกริยาเคมี</u> (Additive Affecting Chemical Reaction)

ผลกระทบของสารปรุงแต่งที่มีต่อปฏิกริยาเคมีอาจจะเป็น 2 แบบ คือ

- เพิ่มความเร็วหรือเป็นตัวเริ่มให้เกิดปฏิกริยาของการแห้งตัวของฟิล์ม นั่นคือตัวสารปรุงแต่ง จะแตกตัวให้อีเลคตรอนอิสระที่ทำให้เกิดปฏิกริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่น (Polymerization)
- การลดปฏิกริยาการแห้งตัวของฟิล์ม กล่าวคือสารปรุงแต่งทำให้อีเลคตรอนอิสระไม่สามารถทำให้เกิดปฏิกริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่น
- เป็นตัวหน่วงปฏิกริยา (Retarder) คือ ทำให้ปฏิกริยาเกิดช้าลง

2.2.3 คุณสมบัติที่ดีของสีเมื่อแห้งตัว

การแห้งตัวของสี

ก. การแห้งตัวของสีโดยไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกริยาเคมี (Drying Without Chemical Reaction) กระบวนการนี้เกิดโดยตัวทำละลาย ที่ละลายสีระเหยออกไปจนหมดทำให้เหลือโพลิเมอร์ซึ่งเซ็ทตัวอยู่และยึดเม็ดสีและผิวหน้าของวัสดุไว้ ขณะแห้งจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี หลังจากที่ตัวทำละลายระเหยออกไปหมด ผิวหน้าสีจะแข็งและไม่มีความเหนียวอยู่อีกต่อไปสีส่วนใหญ่ได้แก่ Nitrocellulose และ Lacquers จะแห้งด้วยกระบวนการนี้

ข. การแห้งตัวของสีโดยขบวนการเคมี (Drying by Chemical Reaction) พวกนี้จะใช้กับพวกโพลิเมอร์แบบ Cross-Link ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลาย แบ่งได้ 2 แบบ

- การแห้งตัวของสีโดยปฏิกริยาเคมีระหว่างสีกับอากาศ (Drying by Chemical Reaction between Paint and Air)

สีพวกนี้จะต้องไม่ให้สัมผัสอากาศก่อนใช้งาน แรกเริ่มโมเลกุลของสีอาจจะเป็น Linear หรือมีกิ่งสั้น ๆ และละลายในตัวทำละลาย เมื่อตัวทำละลายระเหยโมเลกุลเหล่านี้จะทำปฏิกริยากับอากาศแข็งตัวขึ้นเกาะกันเป็น Cross-Link กลายเป็นโพลิเมอร์ซึ่งไม่ละลายในตัวทำละลาย สีจะแข็งตัวไวถ้าน้ำหนักโมเลกุลของโพลิเมอร์สูง การทำปฏิกริยากับอากาศนี้จะค่อย ๆ ดำเนินไปซึ่งคุณสมบัติของฟิล์มจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปจนแห้งสนิท

- การแห้งตัวของสีโดยปฏิกริยาเคมีระหว่างสารผสมในเนื้อสี (Drying by Chemical Reaction Between Ingredient in the Paint)

สีจะต้องไม่ทำปฏิกริยาจนกระทั่งถูกใช้งาน ดังนั้นจึงอาจจะแยกสีออกเป็น 2 ส่วน หรือมากกว่า แล้วผสมกันก่อนใช้งานหรืออาจจะเลือกใช้ สีจะเกิดปฏิกริยาเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น หรือถูกแสงแดดพวกที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ไม่ค่อยนิยมเนื่องจากต้องวัดสัดส่วนการผสม และผสมแล้วจะมีระยะเวลาใช้จำกัด ดังนั้นในการใช้งานจริงอาจจะมีการเลี่ยงมาใช้แบบเติมตัวทำละลายมากกว่า

คุณสมบัติที่ดีของฟิล์มที่แข็งตัวแล้วคือ

- สามารถรักษาคุณสมบัติของความสวยงาม,ป้องกันผิวหน้าได้เป็นระยะเวลาหนึ่ง
- สามารถซ่อมแซมได้ง่าย

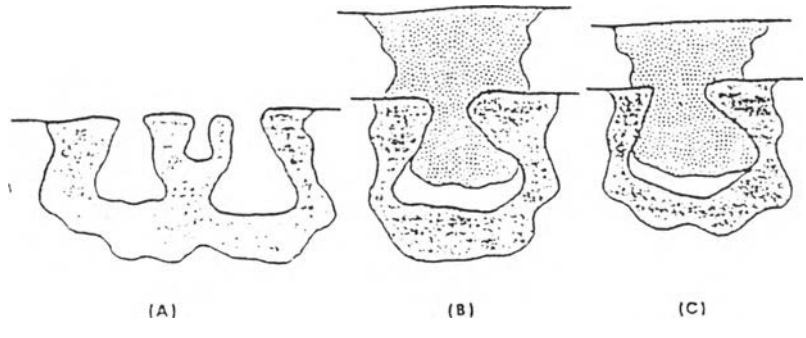
- มีความแข็งแรงและยืดหยุ่นได้ดี

ในส่วนของคุณสมบัติที่ดีของสีเมื่อแห้งตัว จะสามารถอธิบายรายละเอียดโดยแบ่งเป็นหัวข้อย่อได้ 5 หัวข้อคือ

- การยึดเกาะ (Adhesion)
- ความแข็งแรง,ทนทาน (Hardness and durability)
- ความยืดหยุ่น (Flexibility)
- การสูญเสียความสวยงามของสภาพอากาศ (Lost of Decorative Properties Due to Weathering)
- ง่ายต่อการซ่อมแซมแก้ไขและทนต่อตัวทำละลาย (Ease of Repair and Surface Renovation)

2.2.3.1 การยึดเกาะ (Adhesion)

การยึดเกาะเป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลในส่วนของ Binder แรกเริ่มสีที่เป็นของเหลวจะต้อง ไปแทนอากาศ และโมเลกุลของ Binder จะยึดเกาะเม็ดสีและสารตัวอื่น ๆ ให้เกาะติดกับผิววัสดุ เมื่อสีทำปฏิกริยาไม่ว่าจะเป็นการระเหยของตัวทำละลาย หรือเกิดออกซิเดชั่น สีจะแห้งและจะเกิดเป็นแผ่นฟิล์มขึ้น นอกจากนี้พวกฝุ่นสิ่งสกปรกก็ทำให้การยึดเกาะลดลง เพราะตัวมันจะยึดสีเอาไว้แทนผิวหน้าวัสดุ คุณสมบัติยึดเกาะผิววัสดุของสีจะลดลง เหตุผลที่สีสามารถเกาะกับผิววัสดุได้เนื่องมาจาก เมื่อทาสีลงบนผิวหน้าวัสดุเนื้อสีจะแทนที่อากาศและแทรกไปบนผิวหน้า และเกาะกับร่องเล็ก ๆ บนผิวหน้าของวัสดุนั้น ตั้งแต่ระดับผิวหน้าไปจนถึงระดับการยึดเหนี่ยวกันในระดับโมเลกุล เมื่อแห้งตัวจะทำให้เกิดการล๊อคตัวกับผิวหน้าดังรูป ที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการยึดเกาะของโพลีเมอร์กับผิวหน้าวัสดุ

a) คือผิวหน้าที่ดีสามารถเปียกได้ง่าย

b) กระบวนการยึดเกาะเมื่อเนื้อสีสัมผัสกับผิวหน้าวัสดุ

c) เมื่อแห้ง

2.2.3.2 ความแข็งแรงและทนทาน (Hardness and Durability)

สามารถอธิบายเรื่องความแข็งแรงทนทานของชั้นฟิล์มได้ คือ ความแข็งแรงและทนทานของฟิล์มเกิดจากโพลิเมอร์ทำปฏิกริยาเคมีโดยเกิดการยึดเกาะกัน โดยเฉพาะพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ จะยึดเกาะได้ดีพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ๆ จะเกิดปฏิกริยาโพลิเมอร์แบบ Linear ซึ่งมีความแข็งแรงทนทานน้อยกว่า ในทางกลับกันพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ๆ จะเกิดโพลิเมอร์แบบ Cross - Link ซึ่งจะมีทำให้เกิดความแข็งแรงทนทานสูงกว่า

2.2.3.3 ความยืดหยุ่น (Flexibility)

โดยปกติความแข็งมักคู่กับความเปราะ การแตกร้าวของสีที่แห้งตัวแล้วเกิดจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และเกิดจากการยึดเกาะที่ไม่ดีระหว่างเนื้อสีด้วยกันเองและระหว่างเนื้อสีกับวัสดุ พวก Cross - Link จะยืดหยุ่นได้ดีถ้าช่วงห่างระหว่างโมเลกุลที่เกิดปฏิกริยา Cross-link มาก ส่วนพวก Linear จะแก้ปัญหานี้โดยจะเติมสารพิเศษเข้าไปช่วยแยกสลายโพลิเมอร์ออก เพื่อลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของโพลิเมอร์ลงทำให้คุณสมบัติยืดหยุ่นดีขึ้น ตัวเติมนี้เรียกว่า Plasticizer

2.2.3.4 การสูญเสียความสวยงามจากสภาพอากาศ (Lost of Decorative Properties Due to Weathering)

ความเงาอาจจะลดลงหรือสีอาจจะจาง, เข้มขึ้น เนื่องจากรังสีอุลด้าไวโอเล็ต ซึ่งจะไปทำลายโพลิเมอร์ให้แตกตัวลง ทำให้โพลิเมอร์ที่ชั้นผิวหน้าไม่สามารถยึดเม็ดสีไว้ได้ เม็ดสีจะหลุดร่วงทำให้สีจางลง หรือเม็ดสีทำปฏิกริยากับอากาศได้สารประกอบตัวใหม่ทำให้สีเข้มขึ้นไปจากเดิม ดังนั้นผิวหน้าจะลดคุณสมบัติที่ดีลง การขัดสีใหม่เพื่อเป็นการไล่ชั้นผิวหน้าเก่าออกอาจจะช่วยแก้ปัญหาได้แต่อาจจะแก้ไขได้โดยเลือกโพลิเมอร์ที่ดี สามารถทนต่อสภาพอากาศและรังสีอุลตราไวโอเลตและเลือกใช้เม็ดสีที่มีคุณสมบัติดี

2.2.3.5 การง่ายต่อการซ่อมแซมแก้ไขและทนต่อตัวทำละลาย (Ease of Repair and Surface Renovation)

คุณสมบัติข้อนี้มีไว้ใช้ซ่อมแซม คือ ผิวหน้าฟิล์มอาจจะถูกขัดถูเบา ๆ เพื่อรองรับการ

ซ่อมแซมได้ดีซึ่งจะดีในพวก Linear เนื่องจากปฏิกริยาโพลิเมอร์ที่เกิดใหม่สามารถที่จะเกาะกับชั้นสีเดิมได้ดี ส่วนพวก Cross - Link จะทำได้ยากเนื่องจากมีความแข็งแรงสูง การจะทำให้เกิดปฏิกริยาแบบ Cross-Link กับชั้นสีเก่าเป็นไปได้ยากมากพวก Cross-link นี้การซ่อมแซมอาจจะใช้วิธีปะ (Patch) พวก Linear การซ่อมจะง่ายมากสามารถใช้พ่นทับรอยสีเดิมได้เลย หรือสามารถใช้ตัวทำละลายขัดผิวเดิมโดยไม่ต้องใช้กระดาษทรายขัดแล้วพ่นสีทับชั้นสีเดิม พวก Cross-Link การปะจะต้องขัดสีเก่าออกทั้งหมดและทำสีใหม่เข้าไปแทนที่ แต่อาจจะเกิดปัญหาที่รอยต่อระหว่างสีเก่ากับใหม่ได้ (Cross-Link ทนทานต่อตัวทำละลายมากดังนั้นจึงยากที่จะใช้ตัวทำละลาย ละลายผิวหน้าสีเก่าออก)

เนื้อหาที่กล่าวมาแล้วส่วนใหญ่จะเป็นคุณสมบัติของสีประเภทที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลาย ซึ่งมักจะได้สีในสภาพของเหลว จริง ๆ แล้วในการใช้งานยังมีสีอีกหลายประเภท ที่ไม่ใช้ตัวทำละลาย และวิธีการนำสีเคลือบมาลงบนชิ้นงานก็ผิดแปลกจากที่กล่าวแล้วมา ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสีที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมดังนั้น ถ้าแบ่งประเภทสีตามกรรมวิธีเคลือบสีลงวัสดุจะแบ่งได้ 2 แบบ คือ

- สีเคลือบโดยวิธีทางกล ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ตัวทำละลายเป็นหลัก วิธีการเคลือบก็อาจจะใช้การทา, พ่น, ลูกกลิ้ง และจุ่มเคลือบชิ้นงาน ซึ่งสีประเภทนี้ได้อธิบายไปข้างต้นแล้ว
- สีเคลือบโดยวิธีทางไฟฟ้า อาจจะแบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

ก. สีที่ทำเป็นสารละลายนำไฟฟ้า (Electrolyte) สีประเภทนี้ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ เพื่อเป็นการเคลือบผิวรองพื้นจะได้ความหนา, ความสม่ำเสมอดี และความรวดเร็ว สามารถเข้าได้ทุกซอกทุกมุมของชิ้นงาน หลักการก็คือ เนื้อสีต้องสามารถละลายน้ำได้ และจะต้องสามารถแตกตัวและนำไฟฟ้าได้ดี นอกจากชิ้นงานที่จะเคลือบจะต่ออยู่กับขั้วบวก หรือ ขั้วลบ (ปัจจุบันสีที่เกาะมีทั้งให้ประจุลบ และ ประจุบวก) แล้วผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย อนุภาคของสีที่มีประจุจะวิ่งเข้าหาชิ้นงานรับหรือคลายอิเลคตรอน และเกาะที่ชิ้นงานนั้น เป็นเช่นนี้เรื่อย ๆ จนกว่าชิ้นงานจะกลายเป็นฉนวนในที่สุดจะหยุดการถ่ายเทประจุ เป็นอันจบขั้นตอนของการเคลือบสี ข้อเสียของสีประเภทนี้คือ เนื้อสีอาจจะละลายกลับลงในน้ำอีกได้

ข. สีฝุ่นในลักษณะที่แห้ง (Powder Paint) และใช้หลักการไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคของสีไปเกาะกับชิ้นงาน จากนั้นจะต้องมีการอบชิ้นงานให้เนื้อสีหลอมเป็น

เนื้อเดียวกัน สีประเภทนี้เป็นสีที่จะทำการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะได้กล่าวรายละเอียดต่อไปดังนี้

2.3 สีฝุ่น (Powder Paint)

รายละเอียดในส่วนนี้จะประกอบด้วย

- ประวัติความเป็นมา
- หลักการเคลือบสีด้วยระบบอีเลคโตรสแตติค
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสีฝุ่น

2.3.1 ประวัติความเป็นมา

กระบวนการเคลือบสีลงบนแผ่นเหล็กหรือโลหะต่าง ๆ นั้น มิใช่ของใหม่แต่อย่างใด ได้มีผู้คิดค้นทดลองในเรื่องนี้มานานแล้ว (วัชรชัย ภูมรินทร์ , 2520) จากเมื่อ 25 ปีก่อนในประเทศเยอรมัน ได้มีการทดลองการเคลือบสีโดยกรรมวิธีจุ่มโลหะที่ถูกอบร้อนมาแล้วที่อุณหภูมิหนึ่งลงในผงพลาสติค ซึ่งพลาสติคจะละลายเคลือบติดกับผิวโลหะได้ และต่อมาได้เกิดเป็นกระบวนการผลิตทางการค้าไป แต่เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตดังกล่าวจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูง เพราะมีข้อจำกัดทางคุณสมบัติของพลาสติคเองเป็นหลัก กรรมวิธีดังกล่าวนี้จึงไม่แพร่หลายเท่าที่ควร

ต่อมาในปี พ.ศ. 2503 ได้มีการค้นพบสีผงซึ่งสามารถรับประจุไฟฟ้าได้เมื่อพ่นออกไป จึงได้มีการนำมาพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการเคลือบสีซึ่งเรียกระบบนี้ว่า อิเล็กโตรสแตติค (Electro Static Process) วัสดุสีผงที่นิยมนำมาใช้แรกทีเดียว จะได้แก่พวก พีวีซี (PVC), โพลีเอทธีลีน (Polyethetene) และไนล่อน (Nylon) กระบวนการเคลือบจะไม่คล้ายกับวิธีจุ่มโลหะร้อนลงในผงพลาสติค ต่างกันที่วิธีใหม่นี้จะพ่นผงพลาสติคให้เกาะติดผิวของโลหะได้ ข้อสังเกตอันหนึ่งจะพบว่าผงพลาสติครุ่นแรก ๆ เหล่านี้จะเป็นพลาสติคประเภท เทอร์โมพลาสติค (Thermo Plastic) ทั้งสิ้น กระทั่งปี พ.ศ. 2505 ได้มีการค้นคว้าและพัฒนาผงพลาสติคประเภทรับประจุไฟฟ้าได้มากขึ้น เพื่อลดกรรมวิธีการอบชิ้นงาน (Pre-heat) ก่อนการพ่นสีผง อีก 2 ปีต่อมาได้มีการพัฒนาสีผงที่มีสูตรและขนาดของเม็ดสีเหมาะสมกับการพ่นมากขึ้น และได้ผลิตเป็นอุตสาหกรรมขึ้นในปี พ.ศ. 2507 ซึ่งในระยะหลังจากนั้น พลาสติคที่ใช้ผลิตสีผงจะมาจากอีพอกซี (Epoxy) ซึ่งเป็นพลาสติคประเภทเทอร์โมเซทติ้ง (Thermo Setting) ทั้งสิ้น

สาเหตุที่เทอร์โมพลาสติคไม่ได้รับการพัฒนา เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสีผงในระยะหลัง ก็เนื่องจากว่ากระบวนการใช้งานยังต้องเป็นระบบจุ่ม ซึ่งต้องอบชิ้นงานมาก่อนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายพลังงานมาก และมีปัญหาในเรื่องการควบคุมความหนา เพราะการควบคุมกระบวนการจะควบคุมได้เฉพาะระยะเวลาในการจุ่มเท่านั้น ซึ่งไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงรวมทั้งปัญหาในกรรมวิธีการบดเม็ดพลาสติคขนาดเล็กมาก ๆ กระทำไม่ได้ เนื่องจากพลาสติคประเภทนี้จะเกิดการอ่อนตัวและละลายติดกันได้ง่ายในอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ ขนาดของเม็ดพลาสติคจึงมีขนาดใหญ่ ดังนั้นในการเคลือบผิวโลหะที่มีความหนาของสีต่ำกว่า 100 ไมครอน จึงกระทำได้ยาก

การพัฒนาอย่างต่อเนื่องของการเคลือบด้วยสีฝุ่น ในช่วงไม่กี่ปีมานี้ได้ก่อให้เกิด ความรุดหน้าทางด้านกระบวนการตระเตรียมชิ้นงานในอุตสาหกรรม เทคโนโลยีที่ได้ถูกดัดแปลงไปใช้งานอื่น ๆ อย่างง่ายดาย ซึ่งการเคลือบด้วยสีฝุ่นให้ข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น ในด้านการเตรียมการ , ส่วนที่เห็น, คุณภาพ , ความทนทาน, ความประหยัดและปกป้องสิ่งแวดล้อม การใช้สีฝุ่นในปัจจุบันมีอัตราการเติบโตประมาณ 10-15% ต่อปี และมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมแขนงอื่นอย่างแพร่หลาย

- อุตสาหกรรมชิ้นส่วนรถยนต์ ใช้สีฝุ่น เพราะทนต่อการกัดกร่อนได้ดี เช่นพวก ล้อ, ระบบรับแรงสั่นสะเทือน, และชิ้นส่วนของการบังคับเลี้ยว, ที่นั่ง ฯลฯ
- พวกของใช้ในบ้าน ขนาดใหญ่ เช่น ตู้เย็น , เครื่องซักผ้า , ขนาดเล็ก เช่น เครื่องดูดฝุ่น
- อุตสาหกรรมที่ใช้กันมากได้แก่ อุตสาหกรรมที่ใช้ Thermoplastic เคลือบ ซึ่งคือพวกตกแต่งภายใน เช่น พวกเฟอร์นิเจอร์เหล็กเคลือบสี เนื่องจากมีความประหยัดสี และมีคุณภาพที่ปรากฏออกมาดีและสม่ำเสมอ ปัจจุบันมีการนำพวกโพลีเยสเตอร์ (Polyester) เข้ามาในอุตสาหกรรมสีฝุ่น ซึ่งจะทนต่อสภาพอากาศได้ดีและทนต่อรังสีอุตราไวโอเลต (UV)

2.3.2 หลักการเคลือบสีด้วยระบบอีเลคโตสแตติค

ในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้

- หลักการเคลือบสี
- ชนิดของสีผง

- จุดเด่นของกระบวนการพ่นสีฝุ่น

2.3.2.1 หลักการเคลือบสี

ระบบการเคลือบสีด้วยระบบอิเล็กโตสแตติค อาศัยการสร้างประจุไฟฟ้าระหว่างวัตถุ 2 ชนิดให้เกิดความแตกต่างของประจุ ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าซึ่งกันและกัน ซึ่งหลักการสร้างประจุไฟฟ้าในปัจจุบัน จะอยู่บนพื้นฐานของหลักการ 2 อย่างคือ

ก. หลักการสร้างประจุไฟฟ้าโดยการขัดสี (Frictional Electricity)

หลักการนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้าอย่างง่าย ๆ โดยอาศัยการขัดสีของผงวัสดุสีในกล่องสร้างประจุอันหนึ่ง การแยกประจุจะเกิดขึ้นโดยอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้าช่วย ทำให้ผงวัสดุสีที่ขาดอิเล็กตรอน จะมีประจุเป็นบวก (+) และผงวัสดุสีที่ได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มมีประจุเป็นลบ (-) ด้วย ผงสีที่มีประจุจะเคลื่อนที่ตามแนวของแรงเหนี่ยวนำ ระหว่างปืนพ่นสีกับชิ้นงาน ลักษณะของผงสีที่ผ่านออกมาจะมีลักษณะเป็นฝุ่นฟุ้งปกคลุมไปที่ชิ้นงาน และจะจัดเรียงตัวกันบนผิวของชิ้นงานคล้ายกับผงแม่เหล็กที่ถูกดูดด้วยแม่เหล็ก และเนื่องจากสิ่งเจือปนต่าง ๆ ที่ปนมากับลมไม่ถูกเปลี่ยนประจุ ดังนั้นจึงทำให้การเรียงตัวของผงสีเรียบสม่ำเสมอ หลักการนี้สามารถนำไปใช้กับผงวัสดุที่มีองค์ประกอบหลักของ Epoxy, Polyurethane, Acrylic, Polyamide, Rilsam, Levasint เป็นต้น

ข. หลักการสร้างประจุไฟฟ้าโดยการแตกตัวของประจุไฟฟ้าด้วยความต่างศักดิ์กำลังสูง (High Tension Ionisation)

หลักการนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางไฟฟ้า โดยอาศัยการเหนี่ยวนำประจุแรงสูงบริเวณหัวพ่น ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (High Tension Potential) ขึ้น แนวแรงจากผลของสนามไฟฟ้าจากความต่างศักย์นี้ทำให้เกิดทางเดิน (Paths) ซึ่งสะสมประจุลบของอากาศ เพื่อนำผงสีไปสู่ผิวของชิ้นงานได้ ผงสีจะจัดเรียงตัวมันเองโดยจะตั้งแกนตามยาวขึ้นและเรียงตัวไปตามยาวของผิวชิ้นงาน วิธีการนี้จำเป็นสำหรับผงสีจำพวก Polyester, Epoxy-Polyester, PVC, Teflon และวัสดุอื่น

2.3.2.2 ชนิดของสีผง

สีผงที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปในปัจจุบัน จะเป็นสีผงที่มีเนื้อสีล้วนไม่มีน้ำมันผสมสี

วัตถุดิบที่ใช้ทำสีผงจะแตกต่างกันออกไป ตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งานแต่ละประเภท ผงพลาสติคหลักที่ใช้มาก มีอยู่ 3 ประเภทคือ

ก. สีผงพลาสติคประเภทอีพอกซี (Epoxy)

สีชนิดนี้จะมีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานทั่วไป ทั้งด้านการตกแต่ง เพื่อความสวยงาม และป้องกันการสึกกร่อนของผิวโลหะไม่ให้ถูกทำลายได้ง่าย มีความแข็งแรงของผิวสีสูง ทนต่อสภาพทางเคมีได้ดี จึงสามารถใช้กับงานต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง แต่อย่างไรก็ดีสีประเภทนี้หากนำไปใช้กับงานภายนอกความเงางามจะลดลงไม่สวย เนื่องจากเนื้อสีจะถูกทำลายโดยแสงอุลตร้าไวโอเลตเมื่อสัมผัสกับแสงเป็นระยะเวลานาน ๆ ด้วยเหตุนี้สีผงประเภทนี้ จึงไม่นิยมนำไปใช้กับงานที่ต้องใช้กลางแจ้งตลอดเวลา

ข. สีผงพลาสติคประเภทอีพอกซี่และโพลีเอสเตอร์ (Epoxy & Polyester)

เป็นสีผงอีพอกซี่ที่ได้รับการพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้สามารถนำไปใช้กับงานกลางแจ้งได้ดีขึ้น รวมทั้งคุณสมบัติเด่นอื่น ๆ เพิ่มขึ้นด้วยอาทิเช่น พ่นได้ง่ายขึ้น สีไม่เพี้ยนง่าย ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของเตาอบควบคุมได้ไม่ดีพอก็ตาม และยังทนต่อการแช่น้ำได้ดีด้วย ถึงแม้ว่าสีประเภทนี้จะยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานกลางแจ้งได้อย่างสมบูรณ์ แต่ก็มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานต่าง ๆ ได้มากขึ้น

ค. สีผงพลาสติคประเภทโพลีเอสเตอร์ (Polyester)

เป็นสีผงที่ได้รับการพัฒนาให้ทนต่อแสงอุลตร้าไวโอเลตได้อย่างดีเลิศ จึงเหมาะกับงานที่ต้องตากแดดอยู่กลางแจ้ง หรือตากฝนเป็นเวลานาน ๆ

จากสีหลักทั้ง 3 ชนิดนี้ ได้มีการพัฒนาแยกออกไปเป็นสีพิเศษประเภทอื่น ๆ โดยเน้นที่คุณสมบัติการใช้งานเฉพาะอย่างออกไปอาทิเช่น เน้นที่การพ่นง่ายขึ้น ความมันของผิวมากขึ้น จากด้านสนิท กึ่งด้าน ไปจนถึงเงา 100% ตามความต้องการ

2.3.2.3 จุดเด่นของกระบวนการพ่นสีฝุ่น

กระบวนการพ่นสีฝุ่นเท่าที่ได้มีการรวบรวมไว้และได้ให้รายละเอียดต่าง ๆ คือมีการใช้วัสดุในการเคลือบได้เกือบ 100% เนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นจึงใช้เพียงปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับการใช้สีน้ำมัน

จุดเด่นในการพ่นสี

- พ่นสีได้ง่ายและสีเกาะเนื้อชิ้นงานได้สม่ำเสมอ
- เข้าจุดแคบ ๆ ได้ดีรวมทั้งมุมอับต่าง ๆ
- สีฝุ่นไม่เกิดการหยด (ชั้นฟิล์มจะปรับหรือควบคุมตัวเอง) ทำให้บังคับปืนพ่นสีได้ง่าย

ภายหลังการอบสีระยะพอสมควรสีฝุ่นจะเกิดปฏิกริยา Cross-Link ซึ่งจะส่งผลให้เกิดชั้นฟิล์มที่มีสภาพทนทาน ทั้งด้านการขีดข่วน, การกัดกร่อน, ทนสารเคมี และความเสียหายทั่ว ๆ ไป

จุดเด่นในเรื่องของความประหยัดจากการใช้สีฝุ่น

- สามารถนำส่วนที่เกินกลับมาใช้ได้
- ไม่ต้องมี Prime Coats หรือทาสีรองพื้น
- สีฝุ่นจะเตรียมสำเร็จจากผู้ผลิตไม่จำเป็นต้องมาผสมเองให้เกิดความยุ่งยาก ทำให้สีไม่ค่อยแปรเปลี่ยน
- ประหยัดการใช้อากาศช่วยเนื่องจากอากาศที่ใช้แล้วจะถูกกรองและทำกลับมาใช้อีก
- ประหยัดในเรื่องของตัวทำละลาย

ข้อดีของกระบวนการพ่นสีฝุ่นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการพ่นสีน้ำมัน (ซึ่งจะส่งผลให้คืนทุนได้เร็ว)

- เพิ่มผลผลิตในขบวนการผลิตขนาดใหญ่
- สามารถปรับเปลี่ยนเป็นระบบออโตเมติคได้ง่าย
- ลดปริมาณสีที่เคลือบต่อหน่วยลง
- ลดการทำการรองพื้นขั้นแรก
- ลดการซ่อมสีภายหลังการพ่น
- ขจัดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวเนื่องกับการใช้ ตัวทำละลายและเกิดความปลอดภัยในการใช้งาน
- ขจัดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์เตรียมลมและประหยัดพลังงาน
- คุณภาพของงานที่ได้ดีกว่า

ข้อจำกัดบางของกระบวนการพ่นสีฝุ่น

ถึงแม้สีฝุ่นจะใช้ได้กับผลิตภัณฑ์เกือบทุกชนิดก็ตาม แต่ข้อจำกัดของการใช้สีฝุ่นก็คือ สีฝุ่นต้องใช้ความร้อนในการทำให้เนื้อของผงสีหรือเรซินหลอมตัวเกิดโพลิเมอร์ไรเซชั่นในระยะเวลาหนึ่งหรือเรียกว่า การเคียวริ่ง (Curing) ของเนื้อสีซึ่งอาจจะเกิดข้อจำกัด คือ

- วัตถุอาจจะใหญ่เกินที่จะเข้าเตา
- วัตถุนั้นจะต้องทนความร้อนขณะเคลือบริ่งได้
- เนื่องจากสีฝุ่นจะเกาะกับวัตถุได้ต้องอาศัยแรงดึงดูดของไฟฟ้า ขบวนการพ่นสีฝุ่นนี้อาจจะไม่เหมาะกับวัตถุที่ไม่เป็นตัวนำหรือไม่สามารถสร้างการนำไฟฟ้าได้
- การเปลี่ยนแปลงสีหนึ่งไปอีกสีหนึ่ง หรือการพ่นสีหลายสีในชิ้นงานเดียวกันอาจจะทำได้ยากหรือทำไม่ได้เลย

รายละเอียดของการทดสอบคุณสมบัติของสีฝุ่นสามารถศึกษาได้ในบทที่ 4 หัวข้อ 4.2

2.3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสีฝุ่น

อุปกรณ์หลัก ๆ ที่ใช้ในกระบวนการพ่นสีฝุ่นประกอบด้วย

- ปืนพ่นสี (Spray Gun)
- ห้องพ่นสี (Booth)
- ถังเก็บและจ่ายสีอัตโนมัติ (Automatic Powder Hopper)
- ตู้ควบคุม (Control Cabinet)
- โซ่ลำเลียง (Chain Excavator)
- เตาอบ (Oven)

2.3.3.1 ปืนพ่นสี (Spray Gun)

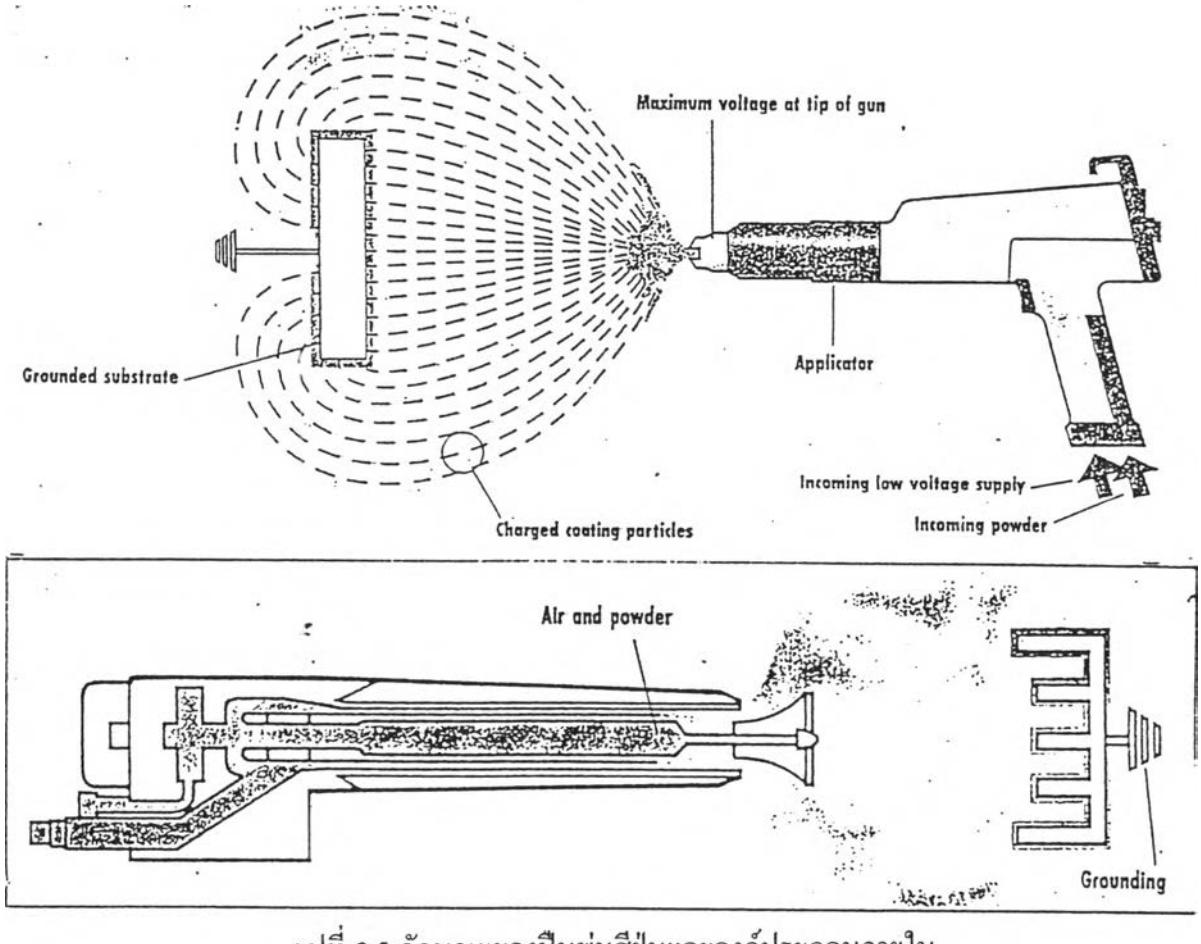
ปืนพ่นสีฝุ่นนั้นแท้จริงแล้วเปรียบเสมือนกาพ่นสีของกระบวนการพ่นสีน้ำมัน หลักการเกือบจะเหมือนกันคือการพ่นสีน้ำมันจะใช้อากาศที่ถูกอัดตัว ช่วยพาสีและกระจายสีให้เป็นละอองเล็ก ๆ ส่วนสีจะอยู่ในสภาพของเหลว ขณะที่ปืนพ่นสีจะใช้อากาศที่ถูกอัดตัวเช่นกัน แต่อากาศที่ถูกอัดตัวจะช่วยทำให้ผงสีเกิดสภาพ Fluidization และปรับความเข้มข้นของผงสีกับอากาศ แต่สิ่งหนึ่งที่แตกต่างอย่างชัดเจนคือ ภายในปืนพ่นสีจะมีอีเลคโทรดเพื่อจ่ายประจุให้ผงสี

<u>หลักการทำงานของปืนพ่นสี</u> (คู่มือสีฝุ่น, 2537) คือ

ในส่วนของสีฝุ่นก่อนจะถูกส่งออกมา จะต้องถูกทำให้อยู่ในสภาพ Fluidization ก่อน โดยการผ่านอากาศที่ถูกอัดตัวเข้าไปผสมกับสีฝุ่น ซึ่งจะทำให้สีฝุ่นประพฤติตัวเหมือนกับของไหล สามารถส่งผ่านไปตามท่อได้ และไหลต่อไปยังปืนพ่นมีลักษณะตามรูปที่ 2.5

ส่วนของปืนพ่นสีเมื่อสีฝุ่นในสภาพ Fluidization ผ่านเข้ามาก่อนที่จะออกจากปลายกระบอกปืนจะมีอีเลคโทรดต่ออยู่ซึ่งจะเป็นอีเลคโทรดความต่างศักย์สูง (High Voltage Electrode) = 100 KV (ช่วงใช้งานอยู่ระหว่าง 20-100 KV) และชิ้นงานหรือพื้นผิวที่จะถูกพ่นจะต่อกับกราวด์ หลักการเหมือนกับให้อนุภาคของสีฝุ่นนำไฟฟ้าจากอีเลคโทรดความต่างศักย์สูง ไปยังกราวด์ซึ่งต่อกับชิ้นงานเมื่ออนุภาคสีฝุ่นวิ่งผ่านอีเลคโทรด ซึ่งเป็นอีเลคโทรดความต่างศักย์สูงจะคายประจุไปยังผิวอนุภาคสีฝุ่น ซึ่งจะค่อย ๆ ลอยไปตามแรงดันของ Fluidization เมื่อพ้นปากกระบอกปืนพ่นสีจะถูกสนามไฟฟ้าดูดเข้าไปยังชิ้นงานที่ต่อกับกราวด์ ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจรพอดี เมื่ออนุภาคเกาะกับชิ้นงานแล้วจะคายประจุและติดอยู่ที่ผิวของชิ้นงาน อนุภาคต่อมาก็จะมาเกาะเรื่อย ๆ จนกระทั่งเป็นฉนวนมากพอที่จะไม่ทำให้สนามไฟฟ้าผ่านออกไปได้ จึงทำให้สีไม่สามารถเกาะที่ผิวได้อีก

ดังนั้นถ้าให้ความต่างศักย์ระหว่างปากกระบอกปืนกับชิ้นงาน (กราวด์) มาก ๆ เม็ดสีฝุ่นก็จะเกาะหนาแต่ถ้าความต่างศักย์น้อยอนุภาคสีฝุ่นก็จะเกาะเป็นชั้นบาง ๆ



รูปที่ 2.5 ลักษณะของปืนพ่นสีฝุ่นและองค์ประกอบภายใน

ข้อห้ามขณะพ่นสีฝุ่นคือ ห้ามนำกระบอกปืนเข้าใกล้ชิ้นงานที่ต่อกราวด์มากเกินไป เพราะแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงจะเหนี่ยวทำให้ อากาศแตกตัวและเกิดการสปาร์คได้ แทนที่จะเหนี่ยวนำอนุภาคสีฝุ่น และอาจจะก่อให้เกิดประกายไฟและลุกไหม้ได้ การนำไฟฟ้าในลักษณะนี้ของระบบแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูง จะกินกระแสเพียงเล็กน้อย ในหน่วยไมโครแอมป์ซึ่งจะไม่เป็นอันตรายต่อการทำงาน ยกเว้นอย่าให้เกิดการสปาร์คหรืออากาศแตกตัวเกิดประกายได้

ส่วนอนุภาคสีฝุ่นที่ไม่สามารถเกาะกับผิวงานได้ จะตกลงสู่พื้นและถูกดูดผ่านกรองเพื่อกรองสีฝุ่นเอาไว้ให้เฉพาะอากาศไหลผ่านได้ จากนั้นสีฝุ่นจะถูกนำกลับไปใช้ใหม่ ก่อนจะนำไปใช้งานจะต้องผ่านตระแกรงกรองเนื่องจากช่วงนี้เม็ดอนุภาคสีอาจจะเกาะเป็นก้อน เพื่อกรองเอาเม็ดอนุภาคที่ใหญ่ออก และนำไปผสมกับสีฝุ่นของใหม่ ผ่านเข้าไปทำให้เป็น Fluidization เพื่อป้อนเข้าสู่ขบวนการเป็นวงจรวนเวียนเช่นนี้เรื่อย ๆ ไป

<u>การเกิดเป็นละออง</u> (Atomization)

ขบวนการ 3 ขบวนการนี้ทำให้เกิดการเป็นละอองได้ดี หรือการแบ่งชนิดของปืนพ่นสีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (Sames,1991) ได้แก่ (Atomization คือการที่ผงสีเกิดการกระจายตัวก่อนที่จะเข้าไปเกาะกับผิวชิ้นงาน)

<u>การเกิดเป็นละอองโดยแรงลม</u> (Pneumatic Atomization)

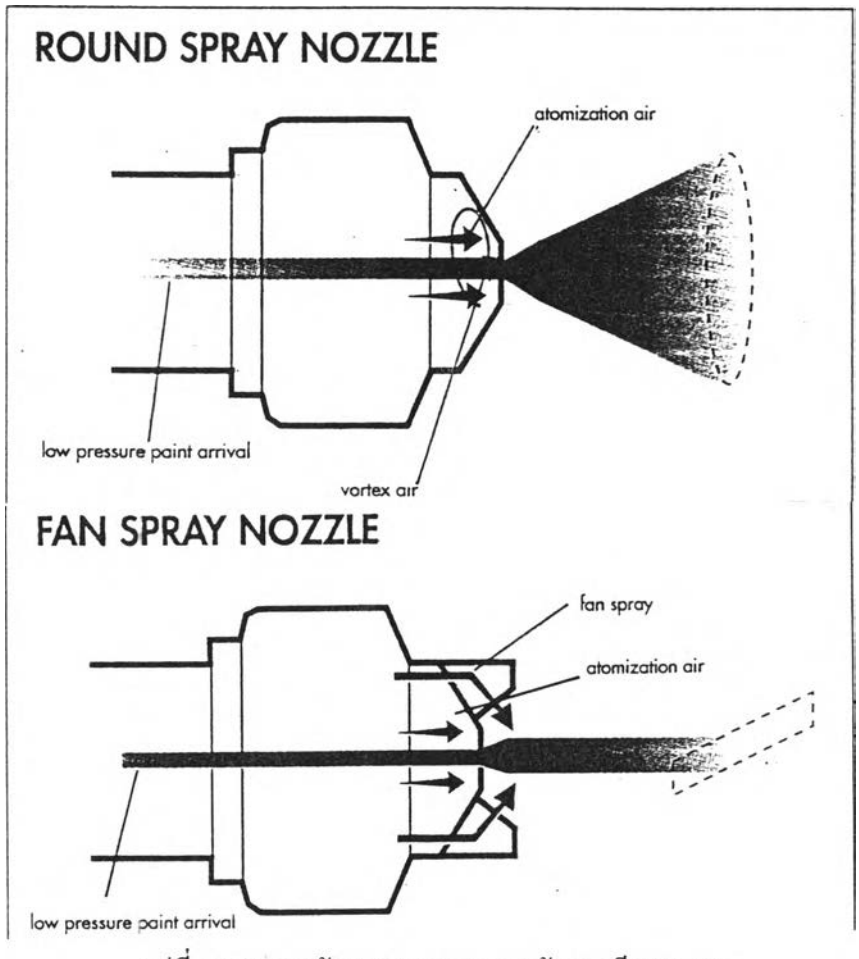
การเกิดละอองเป็นผลมาจาก ผงสีแรงดันต่ำปะทะเข้ากับ อากาศที่ถูกอัดตัว ความเร็วสูง หลักการคือ Nozzle รูปกลม Vortex ปล่อยให้อากาศที่ถูกอัดตัวไหลผ่าน และเกิดการหมุนวนตัวรอบแกนการไหลของสีทำให้เกิดละออง ซึ่งจะทำให้เกิด Wrap - Around Effect ได้ดี

ส่วน Fan Spray Nozzle นั้นอาศัยอากาศที่ถูกอัดตัวที่เป็น Fan ร่วมกับ สเปรย์ที่ถูกออกแบบ เป็น Geometry จะทำให้เกิด Flat ดังรูปที่ 2.6

<u>การเกิดเป็นละอองโดยแรงหนีศูนย์กลาง</u> (Centrifugal Atomization)

โดยอาศัยแรงเหวี่ยง (ที่รอบมากกว่า 30,000 รอบ/นาที) จากการหมุนทำให้เกิดกลุ่มละออง ผลของละอองสีจะติดยังชิ้นงานโดยอาศัยแรงไฟฟ้า และจานบังคับกลุ่มสีไปที่เป้าหมายหรือชิ้นงานหรือโดยอาศัยอากาศที่ถูกอัดตัว เพื่อบังคับรูปแบบให้เป็นลักษณะต่าง ๆ เช่น ลักษณะระฆัง เป็นต้น

กระบวนการและแรงไฟฟ้านี้ใช้ได้กับสีประเภท High-Solid, Water Borne หรือผสมกัน หลักการโดยอาศัยการปรับความเร็วของการหมุนและศักย์ไฟฟ้า ฝุ่นสีจะถูกทำเป็นละอองขึ้นอยู่กับ ความหนืด, ความด้านทาน และ % ของของแข็ง โดยไม่เกี่ยวกับอัตราการไหล ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสีแบบ Flat

การเกิดเป็นละอองแบบแรงดันสูง (High Pressure Atomization)

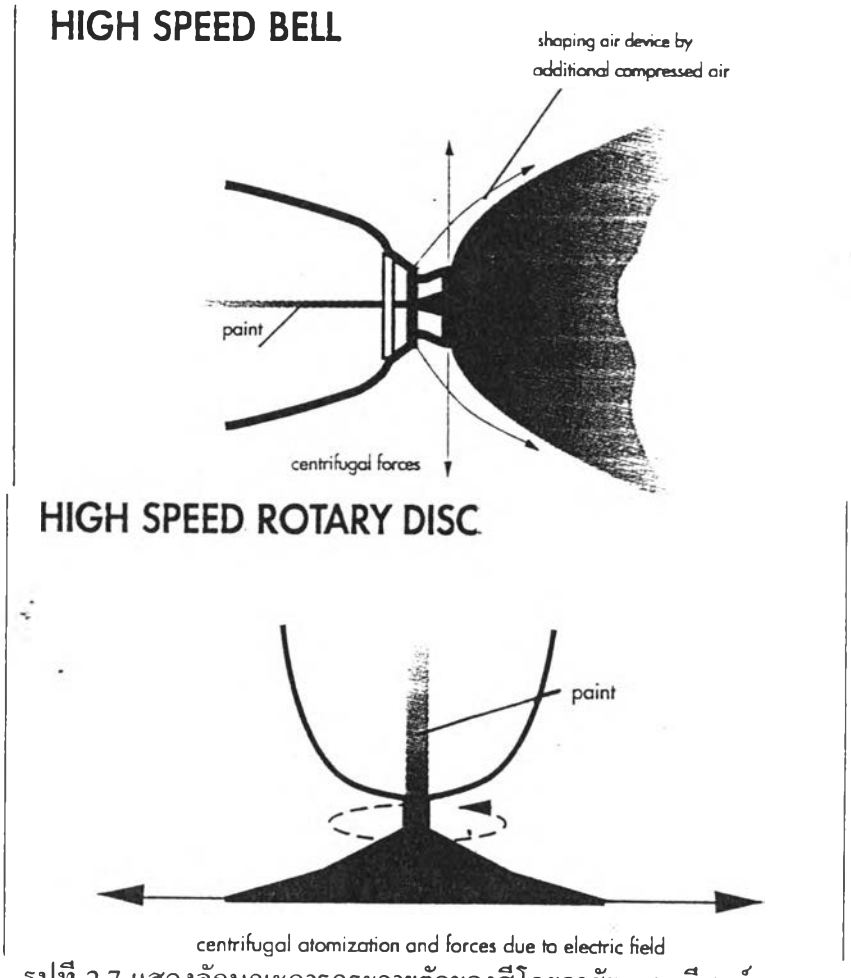
หลักการคือ การเกิดละอองได้มาจากการผ่านของเหลวด้วยความดันสูง (150-180 บาร์) ผ่านช่องแคบที่ Cabil-ated แล้วหรือรู้จักกันในชื่อของ Hydrostatic ซึ่งมีแรงผ่านทะลุสูงมาก ตามรูปที่ 2.8

การหาจำนวนของปืนพ่นสี

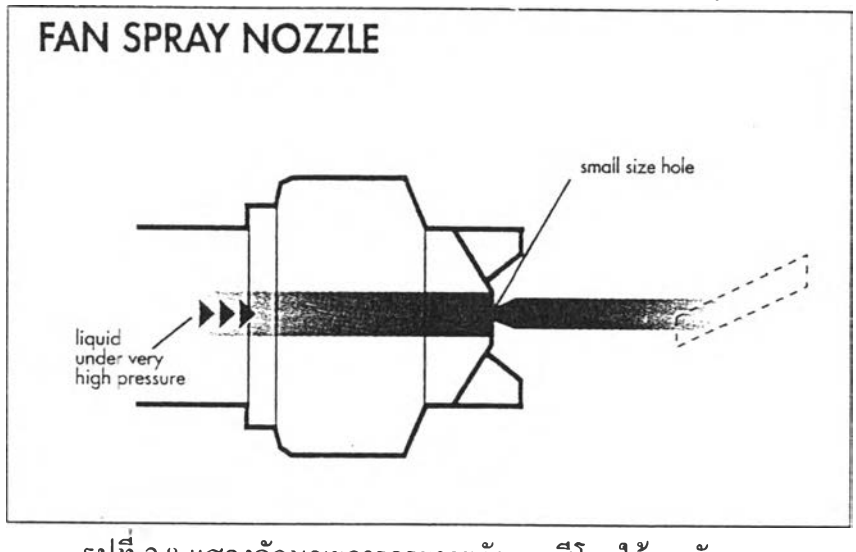
เนื่องจากไม่มีมาตรฐานตายตัวของจำนวนปืนพ่นสี ดังนั้นจำนวนปืนขึ้นอยู่กับ

- ผลิตภัณฑ์
- ความต้องการที่มีต่อผลิตภัณฑ์

สิ่งที่ต้องระลึกไว้เสมอคือว่าประสิทธิภาพการพ่นสีรอบแรกจะสวนทางกลับสัดส่วนของสีที่ถูกปล่อยออกไปจากปืนพ่นสีดังนั้นการเพิ่มจำนวนปืนจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ และจะคืนทุนในเวลาอันสั้น



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสีโดยอาศัยแรงหนีศูนย์กลาง



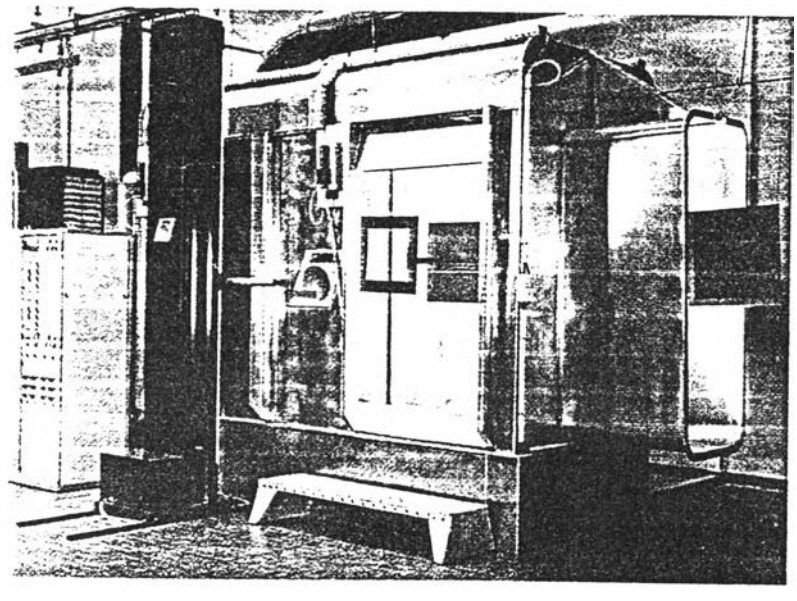
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะการกระจายตัวของสีโดยใช้แรงดันสูง

2.3.3.2 ห้องพ่นสี (Booth)

ห้องพ่นสี (Sames,1994) นับว่าเป็นหัวใจที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการพ่นสีฝุ่น ห้องพ่นสีจะทำหน้าที่คล้ายกับห้องพ่นสีน้ำมัน แต่ห้องพ่นสีฝุ่นนั้นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ ดักสี เพื่อนำสีกลับมาใช้ใหม่ และต้องป้องกันฝุ่นละอองในอากาศที่อาจจะเล็ดลอดเข้ามาติดกับชิ้นงาน สีฝุ่นจะกระจายอยู่ภายในห้องนี้เท่านั้น ชนิดของห้องพ่นสีแบ่งได้เป็น

ห้องพ่นสีมาตรฐานทั่วไป (Standard Booth)

เหมาะกับงานทั่วไปที่มีการเปลี่ยนสีบ่อย และรูปร่างของชิ้นงานแตกต่างกันตัวชุดห้องพ่นสี จะแยกจากระบบรีไซเคิล พัดลมระบายอากาศจะให้ผลดีเมื่อติดตั้งในแนวดิ่ง ตัวผงสีจะถูกรับคืนมาโดยการใช้ไซโคลนฟิลเตอร์ ตัวไซโคลนจะถูกทำความสะอาดทุกครั้งที่เปลี่ยนสี 95-98 % ของผงสีส่วนเกินจะถูกดูดกลับและรีไซเคิลในแท้งค์ของไซโคลน พวกผงละเอียดมาก ๆ จะถูกกรองและจะไม่สามารถรีไซเคิลได้อีก ดังรูปที่ 2.9



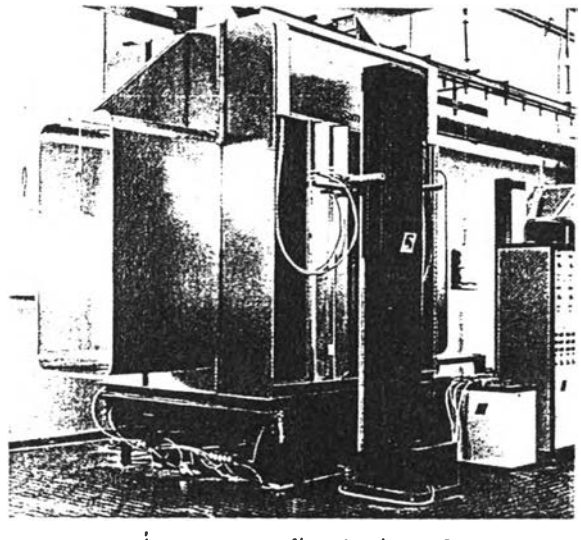
รูปที่ 2.9 แสดงห้องพ่นสีแบบธรรมดา

ห้องพ่นสีโมดูคลาท (Moducart Booth)

ชุดนี้จะมีเฟรมด้านบน (Upper Frame) และกล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกิน (Cartridge) ประกอบอยู่ที่ด้านล่าง ซึ่งจะเป็นที่เก็บของชุดกรองสีฝุ่น การระบายอากาศจะให้ผลดีในแนวดิ่ง ข้อดีคือ

- ประหยัดเนื้อที่ในการติดตั้ง
- เหมาะกับการติดตั้งขนาดกลางที่ไม่ต้องการมีชุดเฟรมที่จะติดตั้งปืนในระบบพ่นสีอัตโนมัติ (Reinforcement)

ลักษณะห้องพ่นสีแบบโมดูคลาท จะเป็นตามรูปที่ 2.10



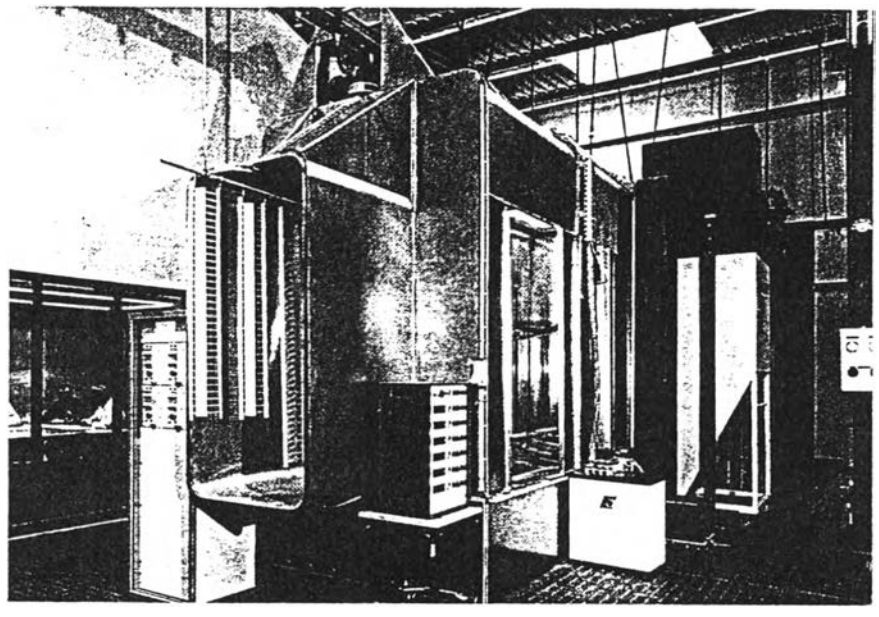
รูปที่ 2.10 แสดงห้องพ่นสีแบบโมดูคลาท

ห้องพ่นสีแบบ MVH (Maintain Ventilation in Horizontal Booth)

เป็นห้องพ่นสีที่ทันสมัยที่สุด และมีช่วงการใช้งานได้กว้างมากที่สุด เหมาะกับเพลิ้นพ่นสีขนาดใหญ่, มีการพ่นสีหลายสี และมีการเปลี่ยนสีบ่อย ใช้ทำเป็นออโตเมติค หรือ เฟรมที่ใช้พ่นสีด้วยมือ (Manual Reinforcement) ได้

การระบายอากาศกระทำในแนวนอน ชุดรับอากาศส่วนเกินและสีส่วนเกินย้อนกลับ จะตั้งอยู่ตรงข้ามกับการสเปย์ มีให้เลือก 2 แบบ ด้วยกัน

- ห้องพ่นที่มีฟิวเตอร์ติดอยู่ที่ผนังของห้องพ่น (ประกอบด้วยชุดระบายอากาศและกล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกิน) จะมีกล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกินสำหรับแต่ละสีในกรณีที่มีการเปลี่ยนสีบ่อย วิธีการเปลี่ยนสีก็เพียงทำความสะอาดห้องพ่น และเปลี่ยนกล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกินใหม่ เหมาะกับการใช้งานที่มีการเปลี่ยนสี 2 - 3 สีบ่อย ๆ ดังแสดงในรูป 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงห้องพ่นสีแบบ MVH

- ห้องพ่นสีที่มีชุดไซโคลนเก็บสีหลายตัว (Multi Cyclone)ในแนวนอน (เพื่อช่วยระบายอากาศแนวนอนและเป็นผลดีกับตัวไซโคลน) เทียบกับระบบกรองสี ไซโคลนเก็บสีหลายตัวนี้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ และการเปลี่ยนสีทำได้โดย (ยกเว้นทำความสะอาดห้องพ่นสี) เป่าไล่สีออกจากตัวเก็บฝุ่นสีและตรวจดูว่าที่ตัวไซโคลนเก็บสีสะอาดดีหรือไม่ ระบบนี้เหมาะกับการเปลี่ยนสีบ่อยและไม่จำกัดจำนวน ผงสีจะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่จากส่วนล่างของตัวดักสี ไม่ว่าจะใช้ระบบสีส่วนเกินย้อนกลับแบบใด ห้องพ่นสี MVH สามารถติดตั้งตัวกวาดสี (Scraper) ได้ที่ด้านล่างคอยกวาดสีที่พื้นได้ขณะทำงาน

ลักษณะข้อดีในการออกแบบห้องพ่นสีแบบ MVH คือ

Coss - draft Ventilation

ในชุดพ่นสีจะอยู่รวมกับระบบระบายอากาศ โดยจะติดตั้งอยู่ตรงข้ามกันปืนพ่นสีซึ่งจะช่วยให้การพ่นสีออกมาเป็นเส้นตรงในแนวนอน ซึ่งจะส่งผลดีต่อการเกาะของสีบนชิ้นงาน

การเปลี่ยนสี (Colour - Change)

ห้องพ่นสี MVH จะช่วยให้เกิดความสะดวกในการเปลี่ยนสีแม้จะบ่อยก็ตาม สามารถแบ่งประเภทการเปลี่ยนสีได้ดังนี้

ก. เปลี่ยนสีบ่อย แต่จำนวนสีน้อย (สูงสุด = 3 สี)

แนะนำให้ติดตั้งฟิวเตอร์ที่กล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกิน (Cartridge - Filter) ต่อ 1 สี ที่บริเวณผนังซึ่งจะสามารถถอดเปลี่ยนด้วย กล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกินที่มีฟิวเตอร์อันใหม่ได้ง่าย ซึ่งจะสะดวกต่อการทำความสะอาดภายในห้องพ่นสี และการเก็บกลับจะไม่ทำให้คุณภาพสีเปลี่ยน เนื่องจากไม่มีการแยกผงสีละเอียดออก

ข. เปลี่ยนสีบ่อยและไม่จำกัดจำนวนสี

จะมีชุดของไซโคลนช่วยทำงานทำให้เกิด

- Coross - draft Ventilation
- ประสิทธิภาพสูงเนื่องไซโคลนแต่ละตัวมีประสิทธิภาพดี %สูญเสียผงสีน้อย
- สะดวกต่อการทำความสะอาด

ไซโคลนทั้งหมดจะติดตั้งในแนวนอน และชุดเก็บผงสีจะต่อรวมกันทั้งระบบ จะต่อกับกล่องบรรจุชุดเก็บสีส่วนเกินที่ท้ายสุด การวางไซโคลนในแนวนอนจะให้คุณภาพสูงสุด สามารถเก็บสีคืนได้ 95-99% และสะดวกต่อการทำความสะอาด

<u>ห้องพ่นสีพื้นด้านล่างราบ</u> (Flat Bottom Booth)

พื้นห้องพ่นสีจะยกระดับ 50 เซ็นติเมตรเพื่อให้สะดวกต่อการเข้าไปในพื้นห้องพ่นสี (ไม่สูงเกินไป) ได้ง่ายสามารถปรับปืนพ่นสี และสามารถติดตั้งตัวกวาดสีอัตโนมัติได้ ด้านล่างตัวกวาดสีนี้ขับด้วยแม่เหล็ก หรือระบบทางกลก็ได้ ถ้าเป็นระบบขับทางกลทำให้การเปลี่ยนสี กระทำได้ยากกว่าระบบแม่เหล็ก และการที่สีตกค้างด้านล่างมาก ๆ อาจจะก่อนให้เกิดไฟไหม้ได้ ตัวกวาดสีจะทำหน้าที่กวาดสีลงสู่ถังเก็บสีอีกด้านหนึ่งของห้องพ่นสี

2.3.3.3 ถังเก็บและจ่ายสีอัตโนมัติ (Automatic Powder Hopper)

หลักการทำงานของถังเก็บสี คือประกอบด้วยถังเก็บซึ่งจะทำให้ผงสีเกิด Fluidized ด้านล่างถังเก็บสีจะประกอบด้วยแผ่น Polyethylene ซึ่งเจาะเป็นรูพรุน จะทำให้เกิด Fluidization อากาศที่ทำให้เกิดการ Fluidization นี้ จะกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า และรักษาสภาพของการเป็นเนื้อเดียวของ Fluidization เอาไว้ ตัวนำผงสีออกคือ Plunger หรือ ลูกสูบ จะติดตั้งกับฝาปิดด้านบน ซึ่งตัวนำสีออกจะดูดสีในถังเก็บสีและส่งออกไปสู่ปืนพ่นสี ตัวลูกสูบนี้จะมีจุดต่อกับสายอากาศ 2 จุดซึ่งเกี่ยวเนื่องกัน หน้าที่ของสายอากาศทั้ง 2 คือ

- ท่อนำอากาศเข้าซึ่งจะทำการพาเอาผงสีออกไป

- ท่อเจือจางซึ่งจะเป็นการประกันและควบคุมผงสีขณะพ่นได้อย่างทั่วถึง อย่างมีประสิทธิภาพทุกค่าของอัตราการพ่นสี ขณะพ่นสีไปเรื่อย ๆ ผงสีจะถูกถ่ายออกไปพร้อมกับอากาศภายในถังซึ่งจะทำให้แรงดันภายในถังเก็บสีลดลง(แรงดันอากาศภายในถังเก็บสีทำให้เกิด Fluidization) ดังนั้นจะต้องมีระบบปรับลมอัตโนมัติ เข้ามาช่วยควบคุมสภาพแรงดันอากาศภายในถังเก็บสีให้คงที่ตลอดเวลา

ปกติแล้วชุดถังเก็บและระบบจ่ายสีอัตโนมัติมักจะติดตั้งควบคู่กับ ระบบส่งและระบบนำสีกลับมาใช้ใหม่ซึ่งคือ ระบบที่ทำการรับสีส่วนเกินที่ถูกพ่นและไม่เกาะกับชิ้นงาน สีส่วนนี้จะถูกดูดกลับและกรองสิ่งเจือปนออก

ระบบนี้ออกแบบมาเพื่อใช้งานในระบบหมุนเวียนที่คงที่ ผงสีจะถูกส่งไปด้วยลมจากถังเก็บไปยังจุดใช้งาน หรือจากชุดสีส่วนเกินย้อนกลับไปถังเก็บหรือจุดใช้งานเป็นต้น ชุดตะแกรงกรองจะกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปในระบบสีส่วนเกินย้อนกลับออก ซึ่งจะมีตะแกรง 2 แบบ คือ

- ตะแกรงแบบสั่นเหมาะกับอัตราการไหลสีน้อย ๆ

- ตะแกรงแบบหมุนเหมาะกับอัตราการไหลสีมาก ๆ

2.3.3.4 ตู้ควบคุม (Conrtol Cabinet)

ส่วนของตู้คอนโทรลนี้หน้าที่จะเหมือนกับ ตู้คอนโทรลที่ใช้ควบคุมเครื่องจักร หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ทั่วไปแต่ที่สำคัญจะกล่าวเพิ่มเติมคือ ถ้าระบบถูกเชื่อมกันเป็นลักษณะครบวงจร คือจากเริ่มต้นไปจนจุดสุดท้ายโดยใช้ระบบควบคุมส่วนกลาง (Central Control) ที่ตู้ควบคุมนี้จะทำให้การควบคุมระบบทำได้ง่ายและสัมพันธ์กันทั้งหมด แต่ในทางปฏิบัติอุปกรณ์แต่ละตัวสามารถจะแยกการควบคุมออกจากกันได้เป็นอิสระต่อกันแต่การหาสมดุลย์ของระบบจะยากมาก สิ่งที่ตู้ควบคุมสีฝุ่นต้องการคือ

- การควบคุมปืนพ่นสีแต่ละตัว (สำหรับชุดปืนพ่นสีอัตโนมัติที่ใช้หุ่นยนต์ควบคุมการพ่น) ส่วนนี้จะควบคุมความต่างศักย์ , อัตราการไหลของสีฝุ่น และรูปแบบการพ่นสี

- การควบคุมถังเก็บและจ่ายสีอัตโนมัติ เพื่อควบคุมการเป็น Fluidization ซึ่งจะส่งผลให้สีกระจายตัวได้ดีหรือเกาะรวมตัวกัน ทำให้ใช้งานลำบาก

- การควบคุมระบบรีไซเคิล ชุดนี้จะบังคับให้การดูดสีย้อนกลับมากหรือน้อย และกำจัดสีที่มีสิ่งปลอมปนออกไปเพื่อให้เนื้อสีสะอาดขึ้น

- การควบคุมความปลอดภัย ชุดนี้มีไว้เพื่อป้องกันอุบัติเหตุ และกันการผิดพลาดของระบบที่อาจจะเกิดขึ้นได้

2.3.3.5 โซ่ลำเลียง (Chain Excavator)

การลำเลียงชิ้นงานเข้าเตาอบสีโดยปกติจะใช้เป็นระบบต่อเนื่อง ซึ่งก็โดยอาศัยการใช้โซ่ลำเลียง โดยโซ่จะติดตั้งอยู่บนรางที่อยู่ระดับบน ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการแขวนชิ้นงานและให้โซ่ลำเลียงพาชิ้นงานเข้าเตาอบอีกทีอย่างไรก็ดี โซ่เส้นนี้จะเป็นเส้นต่อเนื่องกันที่จะพาชิ้นงานผ่านห้องพ่นสีด้วย การโหลดชิ้นงานขึ้นโซ่ลำเลียงก็กระทำโดยลักษณะแขวนชิ้นงานเข้ากับลวดแขวนและแขวนบนโซ่ลำเลียงอีกที สาเหตุที่ต้องให้คนแขวนเนื่องจากจะมีความยืดหยุ่นในการโหลดชิ้นงานหลากหลายรูปร่าง เช่นกันการนำชิ้นงานออกจากโซ่ก็จะอาศัยคนดำเนินการ

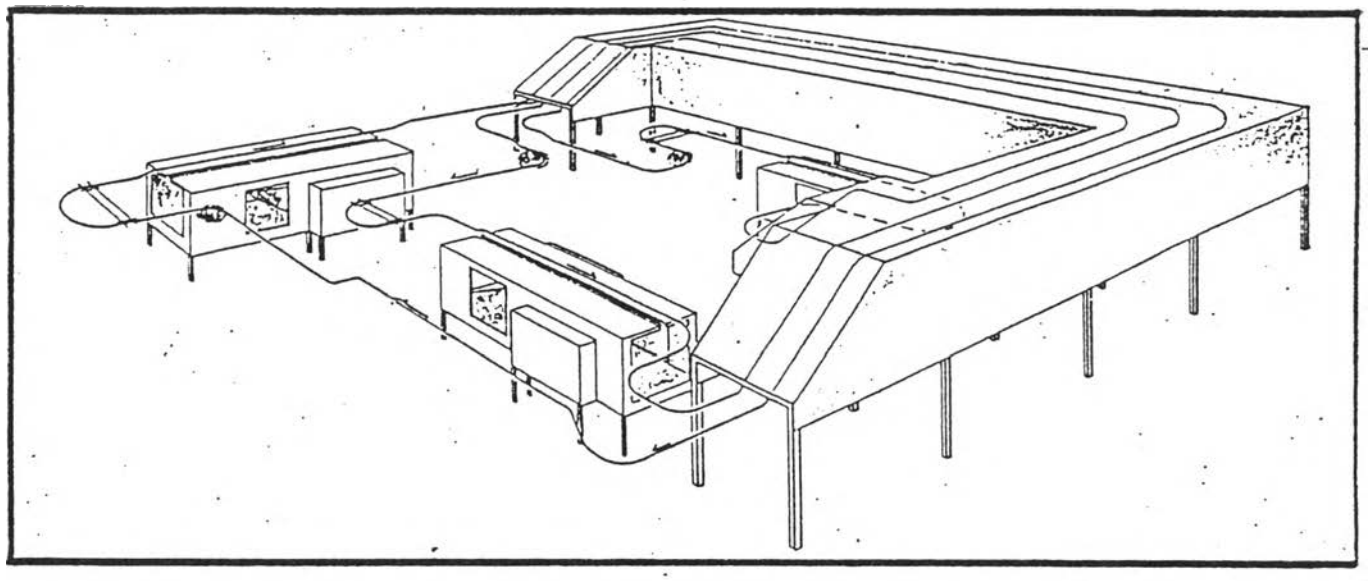
สิ่งหนึ่งที่ควรคำนึงในระบบโซ่ลำเลียงคือระยะทางภายหลังออกจากเตา ทั้งนี้เพื่อให้ชิ้นงานได้มีโอกาศระบายความร้อนออกสู่บรรยากาศ และเย็นตัวก่อนที่จะถูกเก็บออกจากโซ่ มิเช่นนั้นแล้วชิ้นงานอาจจะติดกันได้ถ้าอยู่ในภาวะร้อน และระยะการแขวนชิ้นงานบนโซ่ต้องให้ห่างกัน อย่าให้สัมผัสกันได้ก่อนและหลังเข้าเตามิเช่นนั้นชิ้นงานจะติดกัน ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ ลักษณะของโซ่ลำเลียงเป็นไปตามรูป 2.12 และอุปกรณ์ปรับความเร็วของโซ่ลำเลียงแสดงได้ด้วยรูป 2.13

การจัดวางผังของโซ่ลำเลียงอาจจะแปรเปลี่ยนไปตามพื้นที่ที่ใช้ติดตั้งระบบ หรือขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพของชิ้นงานและพื้นที่ติดตั้ง

2.3.3.6 เตาอบ (Oven)

สำหรับส่วนของเตาอบ ส่วนนี้จะแปรผันตามการใช้งาน หรือบางครั้งอาจจะปรับเปลี่ยนได้ขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานจริง ซึ่งจะขออธิบายรายละเอียดเพิ่มเติมในส่วนของบทที่ 3 ในสภาพความเป็นจริงแล้ว ถ้ามีเพล้นพ่นสีน้ำมันเดิมและมีเตาอบพร้อมทั้งโซ่ลำเลียงชิ้นงานเข้าเตาอบสามารถออกแบบหรือดัดแปลงของที่มีอยู่เดิม ให้ใช้งานกับระบบสีฝุ่นนี้ได้ แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับระบบเดิมว่าพร้อมเพียงใด

I 16891909



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะของโซ่ลำเลียง

รูปที่ 2.13 แสดงอุปกรณ์ปรับความเร็วของโซ่ลำเลียง

2.4 การสำรวจงานวิจัย (Literature Survey)

จากเนื้อหาของทฤษฎีและบทความที่เขียนไว้ของบทที่ 2 สามารถสรุปที่มาของงานสำรวจและวิจัยโดยแบ่งเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

สี

เกี่ยวกับเรื่องของสีในแง่ทฤษฎี มีงานเขียนของ Arnold Edward (1990) ได้เขียนเป็นหนังสือชื่อ Out Line of Paint Technology ได้กล่าวถึงสีของวัตถุ การมองเห็นสีของมนุษย์ การวัดสีในเชิงปริมาณ องค์ประกอบของสีที่สำคัญ ๆ และคุณสมบัติขององค์ประกอบของสี รายละเอียดของส่วนนี้ได้เรียบเรียงไว้ในหัวข้อที่ 2.1

สีทาวัตถุ

สีทาวัตถุมีหนังสือซึ่งเขียนโดย Erald Tunel และ Patrick Anthony (1967) เป็นหนังสือชื่อ Introduction to Paint Chemistry รายละเอียดของหนังสือเล่มนี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของสี องค์ประกอบของสีและสารเคมีที่สำคัญในสี รายละเอียดของเนื้อหาได้คัดย่อและเรียบเรียงไว้ในหัวข้อที่ 2.2

สีฝุ่น

ส่วนสุดท้ายเป็นงานเขียนที่เกี่ยวข้องกับสีฝุ่น เนื่องจากเอกสารภายในประเทศยังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับสีฝุ่นเท่าที่สามารถค้นคว้าได้ก็เป็นบทความซึ่งเขียนไว้กว้าง ๆ เกี่ยวกับสีฝุ่นในแง่ของประวัติความเป็นมา หลักการเคลือบสีด้วยระบบอีเลคโตรสแตติค และอุปกรณ์ที่ใช้ในการพ่นสีฝุ่น โดย วัชรชัย ภูมรินทร์ (2520) สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ในการพ่นสีฝุ่นซึ่งได้แก่ ปืนพ่นสีและห้องพ่นสี ส่วนใหญ่ได้มาจากแคตตาล็อกของผู้ขายอุปกรณ์พ่นสีฝุ่นเป็นหลัก จากบริษัท Sames จำกัด ส่วนของอุปกรณ์ที่เหลือคือโซ่ลำเลียงและเตาอบสีได้มากจากเอกสารประกอบการใช้งานของผู้ขาย รายละเอียดทั้งหมดจะอยู่ในหัวข้อ 2.3

ในแง่ของสีฝุ่นและคุณสมบัติของสีฝุ่น จะมีในเอกสารประกอบการทำงานของสีฝุ่นของบริษัท ITW (ประเทศไทย) จำกัด รายละเอียดของเอกสารดูได้ในภาคผนวก ค.