บทที่ 4

การศึกษาผลกระทบกับคุณภาพการพ่นสีและการวิเคราะห์ปัจจัยของหัวพ่นสีแบบระฆัง

จากการรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพฟิล์มสีขั้นสุดท้ายก่อนทำการส่งมอบให้ทางโรงงานประกอบขั้นสุดท้าย พบว่าลักษณะจุดบกพร่องของฟิล์มสีรถยนต์ที่ผ่านการพ่นสีจริงแล้วมีหลายลักษณะ และแต่ละแบบมีสาเหตุการเกิดที่ไม่เหมือนกันและไม่แน่นอน ในการวิเคราะห์ลักษณะจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการระดมผู้เชี่ยวชาญในการพ่นสีทำการวิเคราะห์ลักษณะของจุดบกพร่อง เพื่อทำการแก้ไขปัญหาให้รวดเร็ว ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะปัญหาแบบต่างๆ ในการพ่นสี รวมถึงลักษณะของปัญหาที่เกิดจากความบกพร่องของอุปกรณ์หัวพ่นสีในลักษณะต่างๆ ว่าทำให้จุดบกพร่องลักษณะใดบ้าง สุดท้ายคือวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการทำงานของหัวพ่นสี

4.1 ลักษณะจุดบกพร่องบนฟิล์มสีที่ตรวจสอบได้จากสายตาหลังทำการอบสี

ในการตรวจสอบคุณภาพฟิล์มสีที่ผ่านการอบสีแห้งแล้วของโรงงานพ่นสีรถยนต์ตัวอย่างจะทำการตรวจสอบในพื้นที่ที่มีแสงสว่างมากพอในการตรวจสอบจุดบกพร่องต่างๆ และใช้พนักงานตรวจสอบในชิ้นส่วนต่างๆ ทุกจุดเพื่อหาจุดบกพร่อง เมื่อพบจุดบกพร่องจะทำการรวบรวมข้อมูลไว้และเก็บเป็นสถิติเพื่อใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาและนำเสนอข้อมูลให้ผู้บริหารต่อไป โดยลักษณะของจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นและสามารถรวบรวมได้มีลักษณะดังนี้

4.1.1 ละอองสีเกาะที่ฟิล์มสี (Spit)

ลักษณะของปัญหาคือ เกิดเป็นละอองสะเก็ดของสีเล็กๆ อยู่บนฟิล์มสี โดยสะเก็ดของสีดังกล่าว จะมีขนาดเล็กมาก แต่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ปัญหาชนิดนี้จะเกิดเฉพาะในสีแบบ Metallic เท่านั้น และสาเหตุปัญหามาจากการที่ลมพ่นไม่สามารถกระจายให้สีให้แตกตัวเป็นละอองได้อย่างสม่ำเสมอ

4.1.2 รอยขีดข่วนบนฟิล์มสี (Scratch)

เกิดจากความผิดพลาดของพนักงานขณะทำการผลิตหรือตรวจสอบ เนื่องจากมีวัตถุที่มีความแข็งไปเสียดสีกับรถที่ทำการพ่นและอบสีเรียบร้อยแล้ว ทำให้เกิดริ้วรอยขึ้น

4.1.3 คราบยาแนวกันซึมติดบนฟิล์มสี

คือมียาแนวเกาะติดอยู่ใต้ฟิล์มสี เนื่องจากความผิดพลาดขณะทำการยาแนวกันรั่ว

4.1.4 สีไหล (Sagging)

เป็นลักษณะของสีทีทำการพ่นแล้วเกิดการรวมตัวกันและไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยจะสังเกตเห็นเป็นตุ่มหรือเม็ดขนาดใหญ่ ได้ชัดเจนบริเวณตามขอบชายประตูรถยนต์หรือฝากระโปรงของรถยนต์ที่เกิดปัญหา

4.1.5 สีบาง

เป็นลักษณะของปัญหาที่เห็นได้ชัดเจน เนื่องจากบริเวณที่สีบางจะเห็นสีรองพื้นอยู่ด้านล่างของฟิล์มสีชั้นบนกระจายอย่างสม่ำเสมอ

4.1.6 สีไม่สม่ำเสมอหรือมีลักษณะเป็นลาย (Mottle)

เป็นลักษณะของฟิล์มสีที่เห็นได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะสีแบบ Metallic คือฟิล์มสีจะมีความเข้มของสีไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการกระจายตัวของสีไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสาเหตุเกิดจากหลายๆ ส่วน ได้แก่ อัตราการไหลของสีไม่สม่ำเสมอ การเคลื่อนที่ของปืนพ่นไม่สม่ำเสมอ

4.1.7 พ่นสีไม่สม่ำเสมอ

ลักษณะของปัญหาคล้ายกับสีบาง แต่จะเห็นจุดบกพร่องเป็นลักษณะของแถบการเคลื่อนที่ของปืนพ่นสีเป็นแนวเส้น

4.1.8 สีหยด

ลักษณะของปัญหา คือเป็นหยดของสีคล้ายกับหยดน้ำ หยดลงบนชิ้นส่วนต่างๆ ของรถยนต์ขณะทำการพ่นสี และเมื่อทำการอบสีแล้วจึงเกิดเป็นลักษณะของหยดสีบนฟิล์มสี สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน

4.1.9 สีอื่นปนบนฟิล์มสี

เป็นลักษณะของปัญหาที่มีการปะปนของสีอื่นบนฟิล์มสี สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งเกิดจากความผิดพลาดของการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการไหลของสีเกิดการรั่วไหลทำให้ปะปนออกมาขณะทำการพ่นสี

4.1.10 ฟิล์มสีมีเม็ดฝุ่นผง (Dirty Dust*)*

เป็นลักษณะของปัญหาที่มีเม็ดฝุ่นผงสกปรกติดอยู่บนฟิล์มสีหลังจากทำการอบแห้งแล้ว โดยฝุ่นผงเหล่านี้ เกิดจากสภาพความสกปรกของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สภาพอากาศภายในห้องพ่นสีมีฝุ่นปะปนอยู่ในอากาศมาก สิ่งแปลกปลอม ปะปนเข้ามาในสีเอง หรือเกิดจากฝุ่นภายในเตาอบสีรถในขณะที่สีกำลังจะแห้งตัว โดยจะสังเกตเห็นได้จากเม็ดที่เกิดขึ้นจะมีสีที่แตกต่างจากสีที่ทำการพ่น

4.1.11 เม็ดสีเกาะอยู่บนฟิล์มสี (Dust Color)

ลักษณะของปัญหาคือ เกิดเป็นเม็ดของสีขนาดเล็กบนฟิล์มสีที่ทำการอบสีแล้ว ลักษณะของเม็ดสีที่เกิดขึ้น จะมีขนาดเล็กกลม แต่สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน และคล้ายกับปัญหาสะเก็ดสี (Spit) แต่ปัญหาสะเก็ดสีจะมีลักษณะรีและเกิดกับปืนพ่นสีอัตโนมัติแบบ REA เท่านั้น

4.1.12 สีเป็นหลุม (Crater)

ลักษณะของปัญหาคือเกิดการยุบตัวของสีเป็นหลุมบริเวณด้านบนของฟิล์มสี สามารถสังเกตเห็นได้ โดยทั่วไปสาเหตุของการเกิดหลุมมาจากการที่มีสิ่งปลอมปนที่ไม่ใช่สีปะปนอยู่ในสีที่จะใช้ทำการพ่น ได้แก่ ทินเนอร์ น้ำมัน และเมื่อละอองเหล่านี้ปะปนไปที่ฟิล์มสีจะเกิดการแยกตัว ไม่เกาะตัวรวมกัน

4.1.13 สีมีเส้นใยปะปน (Fiber)

ลักษณะของปัญหาคือสามารถสังเกตเห็นเส้นใยของเสื้อผ้า เกาะอยู่บนฟิล์มสี ซึ่งเส้นใยนี้มาจากการปะปนของเศษเส้นใยของวัสดุที่ใช้ในการกรองสี หรือเสื้อผ้าของพนักงานภายในโรงงานพ่นสีรถยนต์

4.1.14 สีไม่เรียบ (Orange peel)

ลักษณะของปัญหาของฟิล์มสีที่ผ่านการอบแล้วไม่เรียบสม่ำเสมอกัน คล้ายกับผิวของเปลือกส้มที่มีความขรุขระ

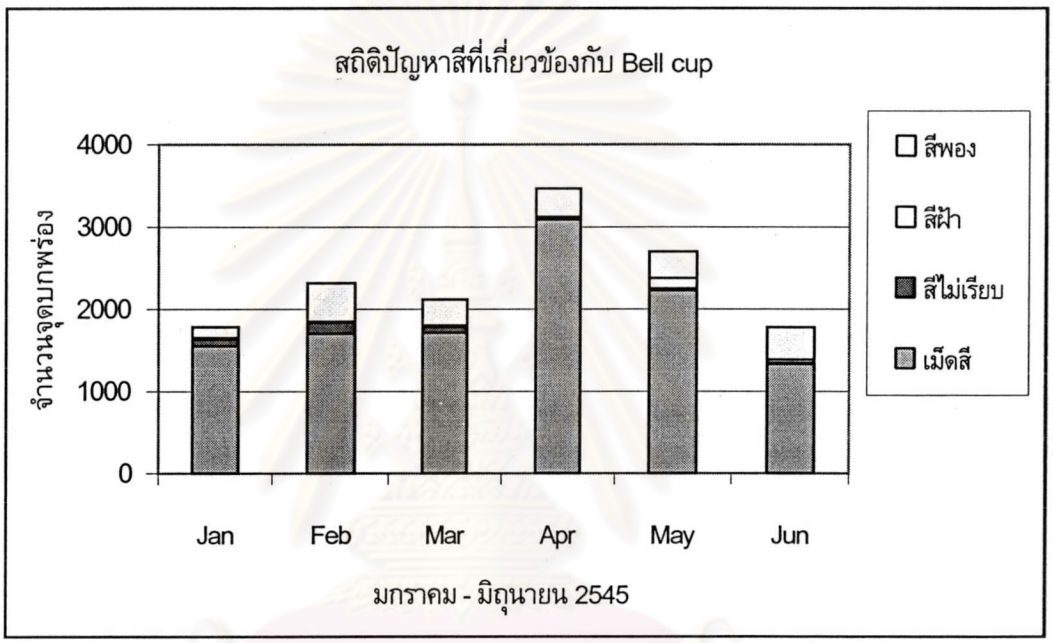
4.1.15 สีเป็นฝ้า (Hazy)

เป็นปัญหาที่สามารถสังเกตได้จากฟิล์มสีที่เกิดขึ้นไม่เกิดความเงาสะท้อนแสง เมื่อมีแสงตกกระทบที่ฟิล์มสี ทำให้ดูแล้วไม่เกิดความเงางาม

4.1.16 สีพอง (Poping)

เป็นลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นโดยมีลักษณะของสีที่เดือดขึ้นมาจากการอบเนื่องจากมีฟองอากาศแทรกตัวอยู่ภายใต้ฟิล์มสีก่อนที่จะทำการอบ และเมื่อทำการอบสีอากาศที่อยู่ภายใต้ชั้นฟิล์มสีจะเดือดขึ้นมาที่ผิว และเกิดเป็นลักษณะของฟองอากาศอยู่ที่ฟิล์มสี

จากลักษณะของปัญหาคุณภาพของสีที่เกิดขึ้นภายในโรงงานตัวอย่างในช่วงเดือนมกราคม ถึง มิถุนายน 2545 พบว่าปัญหาที่มีสาเหตุจากการชำรุดหรือไม่สมบูรณ์ของหัวพ่นสีเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ปัญหา เกิดเม็ดสีเกาะอยู่บนฟิล์มสี (Dust Color) สีไม่เรียบ (Orange Peel) สีพอง (Poping)และสีฝ้า (Hazy) เท่านั้น

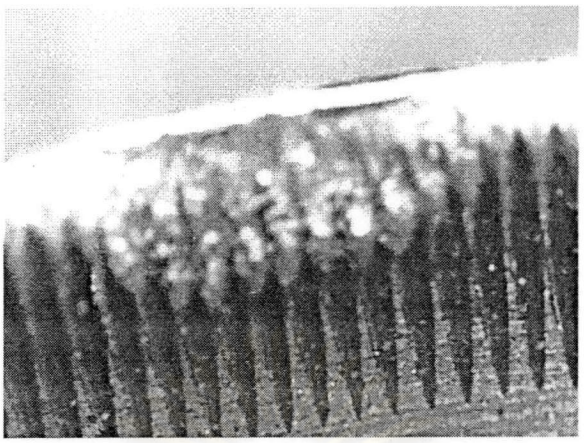


รูปที่ 4.1 *จำนวนปัญหาที่เกิดขึ้นจากหัวพ่นสีแบบระฆัง*

4.2 ลักษณะการชำรุดของหัวพ่นสีแบบระฆัง

เนื่องจากหัวพ่นสี เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อคุณภาพการพ่นสีของปืนพ่นสีอัตโนมัติ ดังนั้นเมื่อเกิดการชำรุดของหัวพ่นสี จะทำให้เกิดปัญหาในคุณภาพของฟิล์มสีทันทีจึงต้องทำการเปลี่ยนหัวพ่นสีใหม่ทันที เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาคุณภาพของฟิล์มสี จากสถิติการใช้งานของหัวพ่นสี ตั้งแต่ปี 2543 พบว่าอัตราการชำรุดค่อนข้างสูง และขาดแคลนมาตราการในการควบคุมการใช้งานและการป้องกันการชำรุดของที่ดี เพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์

4.2.1 เกิดการแหว่งที่บริเวณผิวของร่องรีดสี



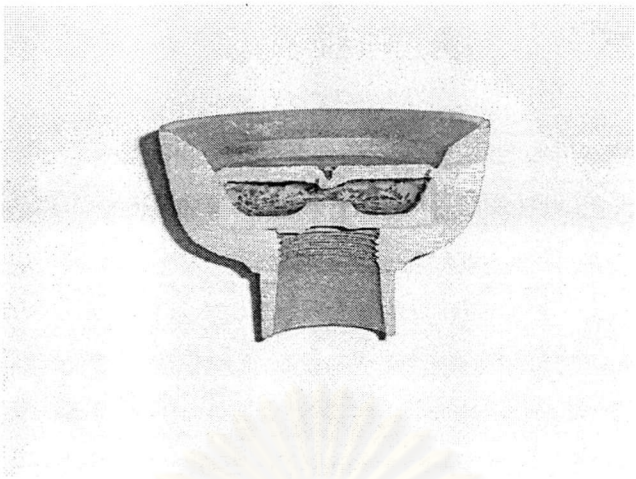
รูปที่ 4.2 ลักษณะชำรุดแบบเกิดรอยแหว่ง

ตามรูปที่ 4.2 เป็นลักษณะที่บริเวณขอบของหัวพ่นสี เกิดเป็นแผลและเกิดการสะสมของสีที่ทำการพ่น เมื่อการสะสมของสีมีอยู่มากขึ้น ทำให้เกิดเป็นเม็ดและกระเด็น และกระเด็นไปที่ตัวรถ สาเหตุของการชำรุดแบบนี้ส่วนใหญ่ จะเกิดจากการที่พนักงานใส่ประกอบและเกิดการร่วงหลุดมือของหัวพ่นสี ทำให้เกิดการกระแทก หรือเกิดจากการที่ใส่อุปกรณ์เข้ากับอุปกรณ์ Air Motor และไม่มีค่าควบคุมการขันแน่นที่ถูกต้อง หรือลืมทำการขันแน่น ทำให้เกิดการหลุดขณะทำการหมุนที่ความเร็วรอบสูง

4.2.2 เกิดคราบสีเกาะอยู่ภายในหัวพ่นสี

บริเวณด้านในของหัวพ่นสี จะมีแผ่นพลาสติกทำจาก Teflon เจาะรูบริเวณรอบๆ และตรงกลาง เพื่อส่งสีให้กระจายออกตามแรงเหวี่ยงของการหมุน เมื่อใช้งานเป็นเวลานานๆ จะมีคราบสีเข้ามาเกาะที่บริเวณแผ่น Teflon และบริเวณผิวด้านในของหัวพ่นสีอยู่เป็นจำนวนมาก ตามรูปที่ 4.3

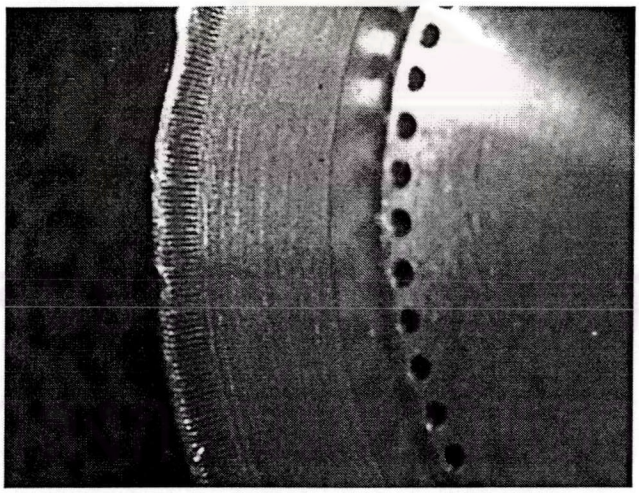
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ลักษณะการชำรุดแบบมีคราบสีเกาะภายใน

ถึงแม้ว่าการพ่นสีรถยนต์จะมีการล้างปืนแบบอัตโนมัติเวลาทำการเปลี่ยนสี หรือทำการล้างปืนช่วงก่อนและหลังทำการพ่นสีประจำวัน คราบสีเหล่านี้เมื่อเกิดการสะสมเป็นจำนวนมากจะเกิดการรวมตัวกันและเมื่อใช้งานพ่นสี จะมีคราบสีหลุดออกมาจากหัวพ่นสี ทำให้เกิดปัญหาเม็ดสีที่ฟิล์มสีบนตัวรถยนต์

4.2.3 ปัญหาเกิดเป็นริ้วรอยบนร่องรีดสี



รูปที่ 4.4 ลักษณะการชำรุดแบบเป็นริ้วรอย

ตามรูปที่4.4 เป็นลักษณะปัญหาที่เกิดจากช่วงการถอดประกอบของหัวพ่นสี และ Shaping Air Nozzle ของปืนพ่นสีอัตโนมัติ เนื่องจากการถอดประกอบไม่มีอุปกรณ์ช่วยป้องกันในการถอดประกอบ และวัสดุของอุปกรณ์ทั้ง 2 ชนิด ทำจากทองเหลืองและแมกนีเซียม

ซึ่งเกิดการชำรุดได้ง่ายเกิดการกระทบกัน ดังนั้น จะเห็นเป็นริ้วรอยการบุบของหัวพ่นสีจากการกระแทก

4.2.4 ปัญหาการสึกหรอของแถบร่องรีดสี

เกิดจากการเสียดสีของหัวพ่นสี ที่ใช้งานเป็นเวลานาน เนื่องจากการล้างหัวปืนจะใช้การฉีดทินเนอร์และลมความดันสูงเพื่อทำความสะอาดสีที่ติดค้างอยู่ภายใน การล้างหัวปืนสามารถทำให้หัวพ่นสี เกิดการสึกหรอบริเวณขอบของร่องรีดสีได้ และเมื่อนำไปใช้งานจะทำให้สีที่พ่นออกมาไม่แตกตัว และเกิดปัญหาสีพองเนื่องจากอากาศแทรกตัวอยู่ภายในฟิล์มสีขณะทำการพ่นได้

4.2.5 ปัญหาเกิดการกระแทกและบุบเสียรูปของหัวพ่นสี

เนื่องจากหัวพ่นสีเป็นอุปกรณ์ที่ทำจากวัสดุแมกนีเซียม ซึ่งบุบหรือเสียรูปทรงได้ง่าย ตามรูปที่ 4.5 และลักษณะการใช้งานจำเป็นจะต้องใช้การหมุนเพื่อให้เกิดแรงหนีศูนย์ ในการดีสีให้กระจายออกมาเพื่อทำการพ่น และลักษณะการหมุนของหัวพ่นสี จำเป็นจะต้องใช้การหมุนที่ความเร็วรอบที่สูงมาก ซึ่งเมื่อเกิดการบุบหรือเสียรูปทรงจะทำให้การหมุนไม่สมดุลย์ เกิดเหวี่ยงอย่างรุนแรง หรือเกิดเสียงดังระหว่างการพ่นสี

การบุบมักเกิดจากการที่ขันเกลียวของ Air motor อย่างไม่ระมัดระวัง ทำให้เกิดการคลายตัวขณะทำการพ่นสี

รูปที่ 4.5 *ลักษณะการชำรุดแบบบุบจากการกระแทก*

4.2.6 ปัญหาคราบสีเกาะที่บริเวณร่องฟันของหัวพ่นสี

ลักษณะของปัญหาคือ จะมีคราบสีมาเกาะอยู่บริเวณขอบของร่องฟันอยู่เป็นแถบ แม้ว่าขณะการทำงานจริงของปืนพ่นสีอัตโนมัติจะมีล้างหัวพ่นสี ในระบบอัตโนมัติอยู่แล้ว แต่บาง

ครั้งการล้างจะไม่สามารถทำความสะอาดได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากสภาพที่ไม่สมบูรณ์ของร่องฟัน เมื่อทำการส่องกล้อง จะเห็นเป็นรอยหยาบอยู่จำนวนมากตามร่องฟัน

4.3 การวิเคราะห์สาเหตุการชำรุดของหัวพ่นสีแบบระฆัง

จากการใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการชำรุดของหัวพ่นสี พบว่าสาเหตุต่างๆ ของการชำรุดตามรูปที่ 4.6 มีดังนี้

4.3.1 วัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ไม่แข็งแรง

หน้าที่ของหัวพ่นสี คือหมุนที่ความเร็วรอบประมาณ 30,000-40,000 รอบต่อนาทีเพื่อดีให้ละอองสีกระจายออกโดยผ่านทางร่องรีดสี และจะต้องเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้า เนื่องจากมีระบบไฟฟ้าสถิตย์ เพื่อช่วยให้สีวิ่งเข้าเกาะตัวรถได้ดี ดังนั้น จึงต้องใช้วัสดุที่เป็นโลหะและมีน้ำหนักเบา

จากการศึกษาพบว่า โลหะที่มีน้ำหนักเบาและสามารถนำไฟฟ้าได้ดีพบว่า ได้แก่ โลหะชนิดอลูมิเนียม หรือแมกนีเซียม โดยทั่วไปแล้วแมกนีเซียมเป็นโลหะที่เบาและมีความคงทนต่อการกระแทกได้ดีกว่าอลูมิเนียมเล็กน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงเหตุผลหลักในการเลือกวัสดุที่จะต้องใช้โลหะที่น้ำหนักเบา จึงเหมาะสมที่จะใช้แมกนีเซียมในการทำหัวพ่นสี แม้ว่าจะไม่ดีเท่าโลหะชนิด เช่น เหล็ก

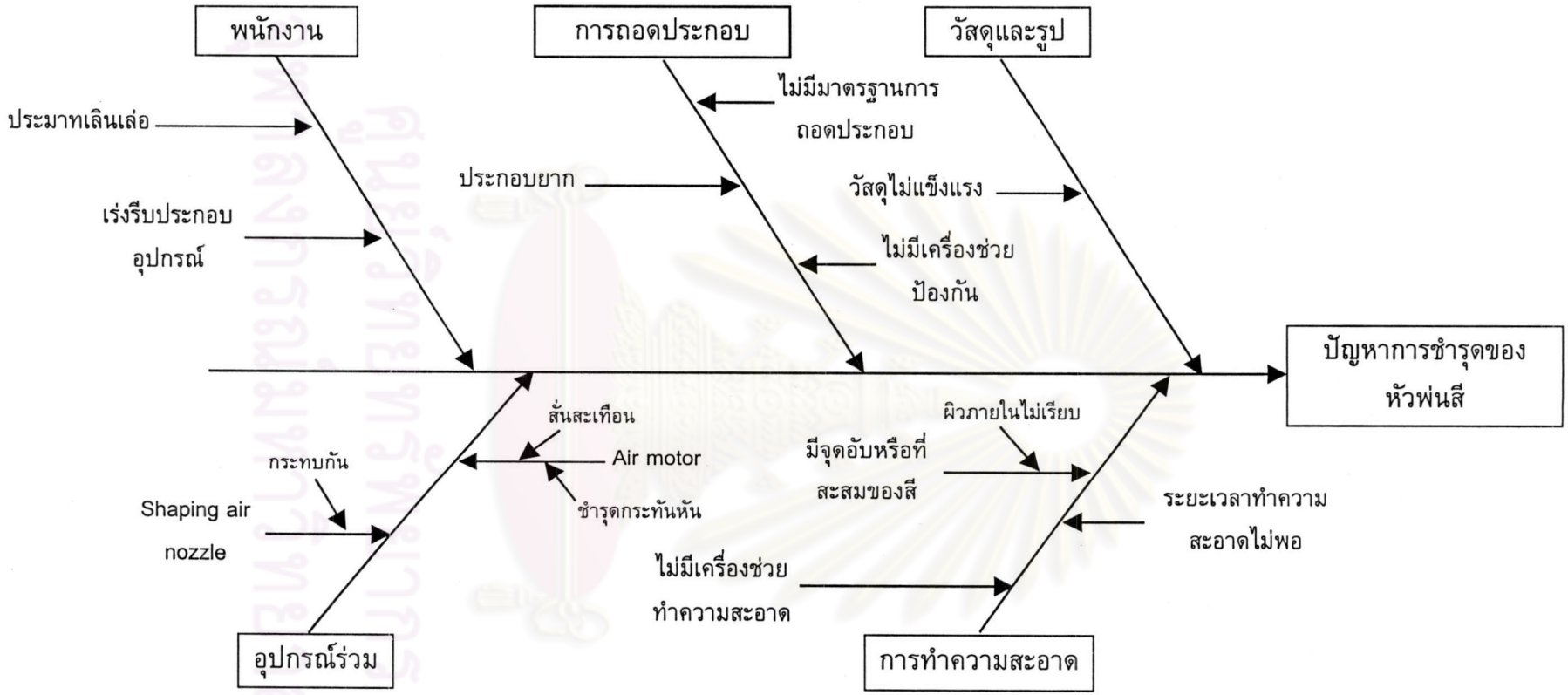
4.3.2 ไม่มีเครื่องช่วยป้องกันการกระทบของหัวพ่นสี

การทำงานกับอุปกรณ์ปืนพ่นสีอัตโนมัติ ซึ่งมีความสลับซับซ้อนสูง จำเป็นจะต้องมีการถอดประกอบหัวพ่นสีอยู่บ่อยๆ เนื่องจากลักษณะการออกแบบของเครื่อง จำเป็นที่จะต้องถอดหัวพ่นสีก่อนที่จะทำการซ่อมบำรุง หรือทำความสะอาดอุปกรณ์ภายใน ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องทำการถอดประกอบ

จากการศึกษาพบว่าภายหลังการถอดประกอบพนักงานมักจะขาดความระมัดระวังในการวางหรือจัดเก็บหัวพ่นสี ทำให้เกิดการกระแทกหรือตกหล่นขณะถือหรือวางบนภาชนะต่างๆ โดยปราศจากอุปกรณ์หรือภาชนะหีบห่อที่ช่วยในการป้องกันการตกหล่นหรือกระทบกับสิ่งอื่นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุของอาการชำรุดในลักษณะแหว่ง หรือเกิดริ้วรอยบนแถบร่องรีดสี

4.3.3 ไม่มีมาตรฐานในการถอดประกอบ

เนื่องจากพนักงานที่เข้าปฏิบัติงานกับปืนพ่นสีอัตโนมัติมีเป็นจำนวนมาก ทั้งในฝ่ายผลิตและฝ่ายซ่อมบำรุง ทักษะและความรู้ของพนักงานแต่ละคนไม่เท่าเทียมกันในการปฏิบัติงาน ดังนั้นลำดับขั้นตอนในการถอดประกอบจึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการชำรุดของอุปกรณ์



รูปที่ 4.6 แผนภูมิก้างปลาการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดการชำรุดของหัวพ่นสีแบบระฆัง

รวมถึงไม่มีค่ามาตรฐานในการถอดประกอบ หรือแรงทอร์คที่ใช้ในการขันหัวพ่นสี เข้ากับแกนโรเตอร์ของ Air Motor

4.3.4 การถอดประกอบยาก

บริเวณปลายปืนพ่นอัตโนมัติจะมีส่วนของ Shaping Air Nozzle และ Shaping Air Ring ซึ่งยึดอยู่กับหน้าจาน Corona Ring เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นจะต้องทำการถอดออกเวลาทำการซ่อมบำรุง หรือทำความสะอาด อุปกรณ์ 2 ชนิดนี้เวลาทำการประกอบเข้ากับปืนพ่นสีอัตโนมัติจำเป็นจะต้องขันแน่นเข้ากับโครงของปืนพ่นสี ซึ่งมักจะกระแทกกับหัวพ่นสีอยู่เป็นประจำ เนื่องจากพนักงานไม่สามารถเล็งให้ตำแหน่งการใส่ตรงศูนย์กับโครงปืนพ่นสีทุกครั้ง เป็นสาเหตุให้เกิดการกระแทกและเกิดริ้วรอยบริเวณร่องรีดสีเป็นประจำ หรือบางครั้งรุนแรงจนทำให้เกิดการแหว่งของขอบร่องรีดสี เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำ Shaping Air Nozzle เป็นทองเหลือง ซึ่งมีความแข็งผิวสูงกว่า

4.3.5 พนักงานประมาทเลินเล่อหรือเร่งรีบปฏิบัติงาน

บางครั้งพนักงานที่ปฏิบัติงาน ไม่ระมัดระวังหรือเร่งรีบในการถอดประกอบอุปกรณ์ของปืนพ่นสีอัตโนมัติมากเกินไป ทำให้ขาดความระมัดระวังในการประกอบอุปกรณ์ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการชำรุดของหัวพ่นสี หรือบางครั้งทำให้อุปกรณ์อื่นๆ เกิดการชำรุดเสียหายไปด้วย เช่น Shaping Air Nozzle Shaping Air Ring

4.3.6 ระยะเวลาทำความสะอาดไม่เพียงพอ

ในการพ่นสี เวลาจะทำการเปลี่ยนสีที่ต้องการพ่น ปืนพ่นสีอัตโนมัติจะทำการล้างปืนทุกครั้งโดยการฉีดทินเนอร์และลมสลับกัน เพื่อไล่ให้สีที่ตกค้างอยู่ภายในสายสีหรืออุปกรณ์ต่างๆ ภายในหัวปืนออกมาให้หมด ส่วนในวันที่ไม่มีการผลิต จะไม่มีการล้างหัวพ่นสี ซึ่งบางครั้งการล้างไม่สมบูรณ์ อาจทำให้เกิดสีตกค้างอยู่ภายในได้

จากการศึกษาพบว่าหลังจากทำการล้างหัวปืนด้วยระบบอัตโนมัติบางครั้ง ไม่สามารถทำให้คราบสีที่เกาะอยู่ภายในถูกล้างออกอย่างหมดจดเนื่องจาก

1. ความดันลมหรือทินเนอร์ต่ำเกินไป
2. เวลาในการล้างปืนน้อยเกินไป เนื่องจากเร่งรีบทำการพ่นสีรถยนต์
3. ในช่วงวันหยุดไม่มีการใช้สารละลายทินเนอร์ ช่วยในการชะล้างคราบสีภายในหัวพ่นสี ในระยะเวลาที่พอเพียง

4.3.7 มีจุดอับหรือที่สะสมของสี

บริเวณด้านในของหัวพ่นสี มักจะมีการสะสมของสีในส่วนด้านหลังแผ่นTeflon เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่ไม่โดนสารละลายทินเนอร์ฉีดโดยตรง ทำให้เกิดการสะสมของคราบสีได้ หรือในบริเวณรูปล่อยสีของหัวพ่นสี ก็สามารถเป็นจุดอับทำให้เกิดการสะสมของสีได้ทำให้เกิดจุดบกพร่องของฟิล์มสีในลักษณะเกิดสีเป็นเม็ดได้

จากการถอดชิ้นส่วนหัวพ่นสี มาทำการศึกษาชิ้นส่วนภายในพบว่าบางครั้งถ้าแผ่น Teflon ไม่มีความเรียบผิวเพียงพอ สามารถทำให้คราบสีมาเกาะที่ผิวได้ และไม่สามารถทำการล้างออกได้

4.3.8 ไม่มีเครื่องช่วยทำความสะอาด

ในช่วงวันที่ไม่มีการผลิต จะไม่มีการล้างทำความสะอาดทำให้คราบสีที่หลงเหลือจากการล้างด้วยระบบอัตโนมัติหลงเหลืออยู่ภายใน เมื่อสีตกค้างอยู่ภายในจะเกิดการแข็งตัวและตกค้าง ดังนั้น ถ้ามีการติดตั้งระบบที่ช่วยในการหมุนเวียนสารละลายทินเนอร์ล้างทำความสะอาดภายในหัวพ่นสีช่วยลดการสะสมของสีที่ตกค้างอยู่ภายใน

4.3.9 การชำรุดจากอุปกรณ์ร่วม

หัวพ่นสี เวลาใช้งานจะต้องติดตั้งบนโรเตอร์ของ Air Motor และถูกครอบด้วย Shaping Air Nozzle และ Shaping Air Ring ซึ่งการทำงานของ Air Motor จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูง ซึ่งบางครั้งเมื่ออุปกรณ์ร่วมเกิดการชำรุด ทำให้เกิดการชำรุดกับหัวพ่นสีได้

จากการศึกษาพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดการชำรุดของหัวพ่นสี มีสาเหตุดังต่อไปนี้

1. เกิดการสั่นสะเทือนเนื่องจากการสึกหรอของ Air Motor ทำให้เมื่อใช้งานเกิดการคลายตัวของหัวพ่นสี กับ Air Motor และเสียดสีกับขอบของ Shaping Air Nozzle
2. เกิดการหยุดหมุนกระทันหันของ Air Motor ทำให้หัวพ่นสี หลุดจากแกนโรเตอร์ทันที ซึ่งลักษณะการชำรุดแบบนี้ บางครั้งรุนแรงจนไม่สามารถซ่อมได้
3. เกิดการกระแทกกับ Shaping Air Nozzle ด้วยสาเหตุต่างๆ

4.4 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการพ่นสีของหัวพ่นสีแบบระฆัง

จากลักษณะการชำรุดของหัวพ่นสีที่เกิดขึ้นในโรงงานพ่นสีรถยนต์ตัวอย่าง ที่ได้ทำการรวบรวมข้อมูลมานั้น พบว่าจะส่งผลกระทบกับคุณภาพของการพ่นสี คือจะทำให้เกิดปัญหาจุดบกพร่องของฟิล์มสีในลักษณะต่างๆ ดังนั้น การดำเนินแก้ไขปรับปรุงหัวพ่นสีที่ชำรุดแล้วให้สามารถกลับมาใช้งานได้อีก จำเป็นจะต้องทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ของหัวพ่นสีที่มีอิทธิพล

ต่อการพ่นสีรถยนต์ โดยการรวบรวมข้อมูลของปัจจัยและตัวแปรต่างๆ ของหัวพ่นสีในการพ่นสี สามารถรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ดังนี้

1.ศึกษาคู่มือการใช้งานของปืนพ่นสีอัตโนมัติแบบ Bell Gun ถึงข้อกำหนดในการใช้งานที่เหมาะสมของหัวพ่นสี และการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม

2.สอบถามข้อมูลจากผู้ผลิตอุปกรณ์หัวพ่นสีและโรงงานอุตสาหกรรมรถยนต์ที่มีการใช้งานอุปกรณ์ปืนพ่นสีอัตโนมัติแบบ Bell Gun ถึงวิธีการดูแลรักษาและการซ่อมบำรุง

3.ศึกษาจากข้อมูลการซ่อมบำรุงของหน่วยงานซ่อมบำรุง (PM-2 Group) ในอดีต ว่าเมื่อเกิดปัญหาคุณภาพของฟิล์มสี ได้ทำการแก้ไขปัญหาอย่างไรเพื่อขจัดปัญหาคุณภาพของฟิล์มสี

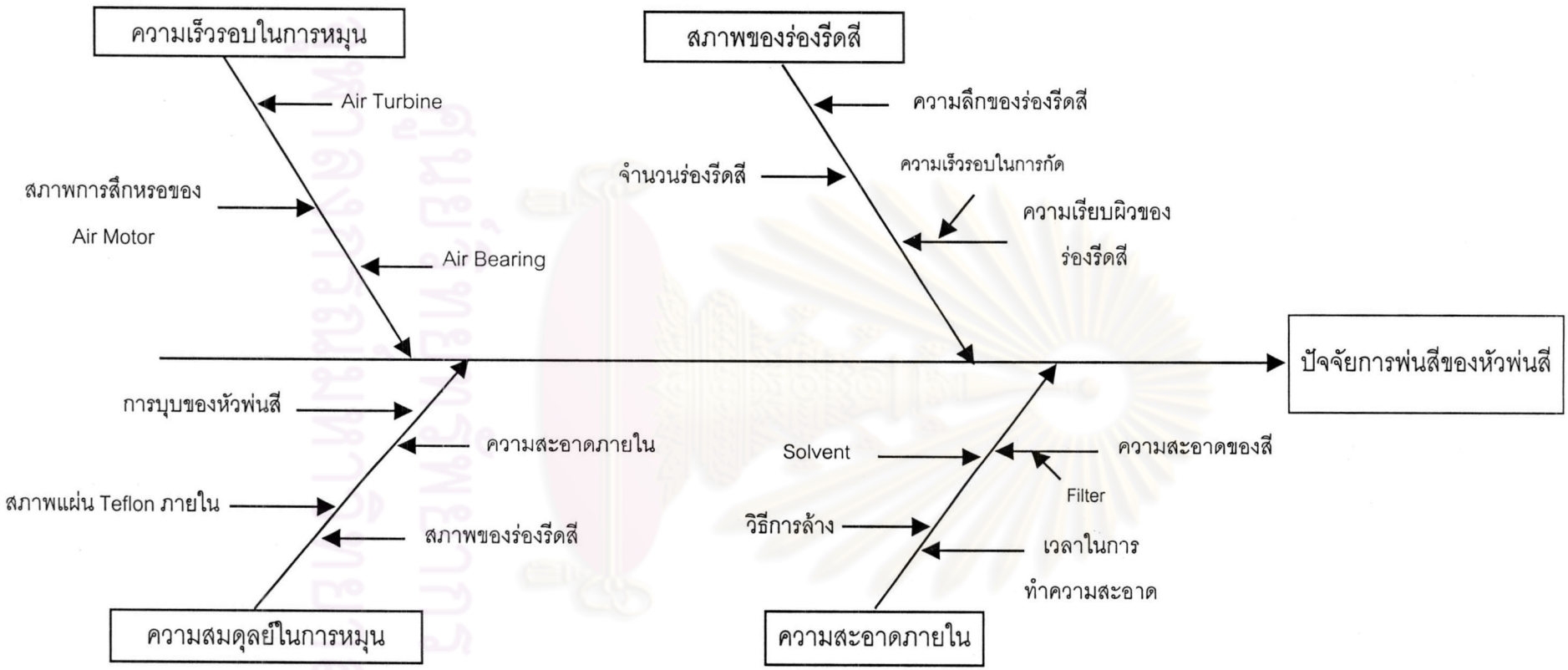
4.ทำการประชุมเพื่อระดมสมองจากหัวหน้าคนงาน พนักงาน วิศวกร และผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ ในการพ่นสีของโรงงานพ่นสีของหน่วยงานต่างๆ ได้แก่ แผนกผลิตโรงงานสี แผนกอำนวยความสะดวกการผลิตโรงงานสี แผนกวิศวกรรมสีตัวถัง และแผนกตรวจสอบคุณภาพฟิล์มสีขั้นสุดท้าย เพื่อรวบรวมปัจจัยและตัวแปรต่างๆ ที่คาดว่ามีผลต่อการพ่นสีของหัวพ่นสีบนปืนพ่นสีอัตโนมัติ

ภายหลังจากการรวบรวมข้อมูลต่างๆ สามารถสรุปปัจจัยหลักที่มีผลต่อการพ่นสีได้ดังนี้

- สภาพของร่องรีดสี
- ความเร็วรอบในการหมุนของหัวพ่นสีขณะทำการพ่นสี
- ความสมดุลย์ในการหมุนของหัวพ่นสี
- ความสะอาดภายในของหัวพ่นสี

และจากปัจจัยหลักเหล่านี้ นำมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยรองหรือปัจจัยอื่นๆ ของแต่ละปัจจัยหลัก เพื่อจัดทำแผนภูมิก้างปลาตามรูปที่ 4.7 เพื่อการกำหนดปัจจัยในการทดลอง เพื่อหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ในการปรับปรุงการซ่อมหัวพ่นสี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 แผนภูมิก้างปลาแสดงการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการพ่นสีของหัวพ่นสี

4.4.1 การกำหนดปัจจัยของการทำการทดลอง

จากลักษณะของปัจจัยหลักและปัจจัยรองที่ได้ทำการรวบรวมจากแผนภูมิก้างปลาตามรูปที่ 4.7 และทำการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ได้ซึ่งสามารถแยกตามปัจจัยหลักเป็นหัวข้อดังนี้

1. ความเร็วรอบในการหมุน คือ ความเร็วรอบในการหมุนของหัวพ่นสีซึ่งมีปัจจัยรองที่เป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนได้แก่ ขนาดของความดัน Air Turbine Air Bearing และสภาพการสึกหรอของ Air Motor จากปัจจัยรองทั้งหมด สามารถกำหนดความเร็วรอบการหมุนได้จากความดันลมของ Air Turbine เท่านั้น ส่วน Air Bearing และสภาพของ Air Motor เป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้สภาพการหมุนของ Air Motor อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ไม่มีการแกว่งหรือไม่สมดุลย์เท่านั้น และความเร็วรอบในการหมุนมีส่วนสำคัญในการทำให้สีแตกตัวเป็นละออง ดังนั้น ความเร็วรอบการหมุนจึงเป็นสามารถกำหนดให้เป็นปัจจัยหนึ่งในการทดลอง

2. สภาพของร่องรีดสี จากสภาพการชำรุดของหัวพ่นสีที่ทำการศึกษา พบว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของฟิล์มสี ดังนั้น ลักษณะทางด้านรูปร่างของร่องรีดสีจึงนับเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการพ่นสี และปัจจัยรองซึ่งเป็นลักษณะที่บอกขนาดทางด้านรูปร่าง ได้แก่

- จำนวนของร่องรีดสี ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการรีดให้สีออกเป็นละออง และสามารถกำหนดเป็นจำนวนได้จากการกำหนดการขึ้นรูปโดยจานแบ่งของหัวแบ่งบนเครื่องกัด
- ความลึกของร่องรีดสี เป็นปัจจัยรองที่ทำหน้าที่ในการกำหนดขนาดของละอองสีที่ทำการพ่นเข้าสู่ตัวถังรถ จากข้อมูลในอดีตพบว่าในกรณีที่ร่องรีดสีเกิดการสึกหรอ จะทำให้เกิดปัญหาสีพอง เนื่องจากละอองสีมีขนาดไม่เหมาะสมและมีฟองอากาศปะปนอยู่ในละอองสี โดยขนาดความลึกสามารถกำหนดได้จากการขึ้นรูปของการกัดร่องรีดสี
- ความเรียบของร่องรีดสี เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การเกาะของสีที่บริเวณขอบของร่องรีดสีถ้ามีความหยาบหรือขรุขระ ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาเม็ดสีเกาะบนฟิล์มสีขณะทำการพ่นสี สามารถกำหนดค่าปัจจัยได้จากความเร็วรอบของมีดกัดในการขึ้นรูป

3. ความสะอาดภายในของหัวพ่นสี เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบกับคุณภาพการพ่นสีในส่วนของปัญหาการสะสมของสีภายในหัวพ่นสีและก่อให้เกิดเม็ดสีเวลาทำการพ่นสี ซึ่งมีปัจจัยรองได้แก่

- กรรมวิธีการล้างทำความสะอาด
- ระยะเวลาในการทำความสะอาด
- ความสะอาดของสี
- ความเข้มข้นของ Solvent ที่ใช้ในการล้าง

ปัจจัยรองทั้งหมดของความสะอาดภายในหัวพ่นสี เป็นปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาการกำหนดวิธีการป้องกันการเกาะของสีภายในหัวพ่นสี ไม่สามารถกำหนดเป็นเงื่อนไขในการขึ้นรูปให้หัวพ่นสีที่ชำรุดได้ ดังนั้น จึงไม่มีปัจจัยที่กำหนดได้ในการทดลองการขึ้นรูป

4. ความสมดุลย์ในการหมุนของหัวพ่นสี เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบการพ่นสีในลักษณะที่เมื่อเกิดปัญหาการไม่สมดุลย์ โดยจะทำให้อุปกรณ์ Air Motor เกิดการสั่นสะเทือนเวลาทำการพ่นสีและละอองสีที่ออกมาไม่เรียบ โดยปัจจัยรองทั้งหมดได้แก่

- สภาพความสะอาดของแผ่น Teflon ภายในหัวพ่นสี ถ้ามีการเกาะของสีเป็นจำนวนมาก จะทำให้เกิดการไม่สมดุลย์และสั่นสะเทือนขณะทำการพ่นสี

- การบุบและการชำรุดแบบเกิดรอยแหว่ง ซึ่งเป็นผลที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขณะทำการพ่นสีได้เช่นกัน เนื่องจากความเร็วรอบในการหมุนค่อนข้างสูง

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อการกำหนดปัจจัยในการขึ้นรูปของหัวพ่นสีจะกำหนดได้ดังนี้

1. ความลึกของร่องรีดสี (หน่วย ม.ม.)	ปัจจัย A
2. จำนวนของร่องรีดสีบนหัวพ่นสี (หน่วย จำนวนร่อง)	ปัจจัย B
3. ความเร็วรอบการหมุนเวลาทำการพ่นสี (หน่วย รอบ/นาที)	ปัจจัย C
4. ความเร็วรอบการหมุนของมีดกัด (หน่วย รอบ/นาที)	ปัจจัย D

4.4.2 การกำหนดระดับของปัจจัยการทดลอง

การกำหนดระดับต่างๆ ของปัจจัยในการทดลองจะพิจารณาจาก

1.ความสามารถของเครื่องจักรที่สามารถทำได้ โดยพิจารณาถึงระดับช่วงที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้โดยไม่เกิดการชำรุด และความละเอียดของสเกลในการปรับตั้ง

2.ประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่เอื้ออำนวยในการทำงานปรับปรุง โดยดูจากทรัพยากรทางด้านเครื่องจักรและเครื่องมือที่หน่วยงานซ่อมบำรุงมีอยู่ ว่าสามารถทำการซ่อมหัวพ่นสีได้หรือไม่ โดยไม่ต้องทำการจัดหาจากภายนอกโรงงาน

3.ความสามารถในการตรวจสอบสภาพของหัวพ่นสีหลังการปรับปรุง

4.ข้อมูลอ้างอิงของการทำงานในปัจจุบันที่ใช้งานโดยไม่ทำให้เกิดปัญหาจุดบกพร่องของฟิล์มสี

ดังนั้น ในปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดขึ้นในการปรับปรุง จะมีเกณฑ์ในการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยดังนี้

1.ปัจจัย A (ความลึกร่องรีดสี) กำหนดระดับของปัจจัยจากตรวจสอบสภาพของร่องรีดสีที่ใช้งานในปัจจุบัน ทำการทดลองขึ้นรูปตามสเกลความละเอียดของเครื่องกัดที่สามารถจะทำได้ คือที่ระดับความละเอียด 0.05 มม. และทำการตรวจสอบสภาพของร่องรีดสีที่ได้จากกล้องขยาย

2.ปัจจัย B (จำนวนร่องรีดสี) กำหนดระดับของปัจจัยจากการประมาณจำนวนของร่องรีดสีของหัวพ่นสีที่ใช้งาน ซึ่งไม่สามารถนับได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก และทำการกำหนดจำนวนจากขนาดของรูแบ่งจานแบ่งของหัวแบ่งขนาด 20 และ 19 รู ที่มีขนาดลงตัวกับการกำหนดขนาดจำนวนร่องรีดสีที่ใช้งานขนาด 800 และ 760 ร่องกับเครื่องกัดในการขึ้นรูป

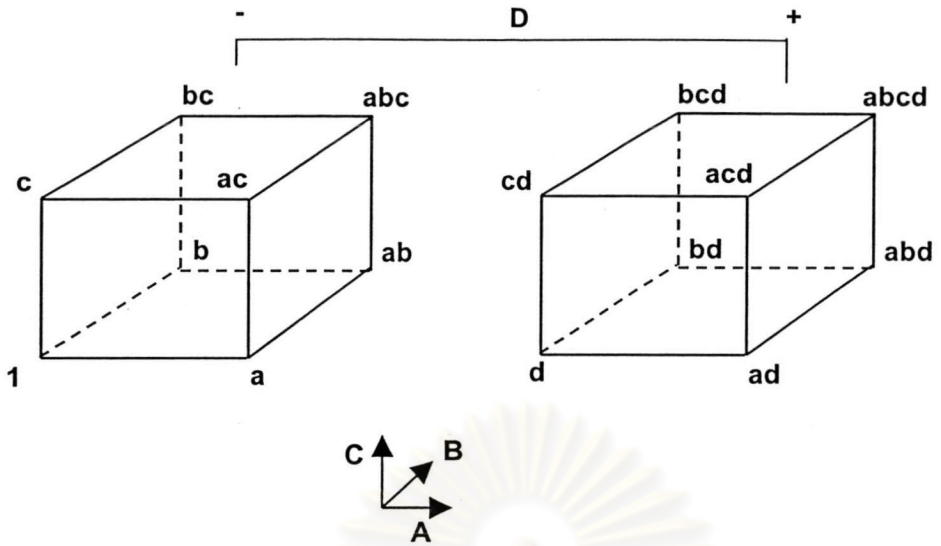
3.ปัจจัย C (ความเร็วรอบการหมุนเวลาทำการพ่นสี) กำหนดจากความสามารถของปืนพ่นสีอัตโนมัติ ซึ่งสามารถทำความเร็วรอบสูงสุดที่ระดับ 35,000 รอบต่อนาที แต่เนื่องจากเงื่อนไขในด้านสภาพของเครื่องจักรที่ใช้งาน และข้อมูลการทดสอบการพ่นสีของแผนกวิศวกรรมสีตัวถังในอดีตกำหนดให้การทดสอบคุณภาพอยู่ในช่วง 30,000 - 34,000 รอบต่อนาที จึงกำหนดให้ระดับของความเร็วรอบอยู่ที่ระดับ 30,000 และ 33,000 รอบต่อนาที

4. ปัจจัย D (ความเร็วรอบการหมุนของมีดกัด) ทำการกำหนดจากระดับความเร็วรอบที่เครื่องกัดสามารถปรับได้ และจากข้อแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในการตัดปาดผิวโลหะ จึงทำการกำหนดที่ระดับ 300 และ 350 รอบต่อนาที

ดังนั้น จึงสรุปข้อมูลการกำหนดระดับของปัจจัยต่างๆ ในการทดลองดังนี้

ปัจจัย	Level -	Level +
A	0.05	0.1
B	760	800
C	30,000	33,000
D	300	350

การกำหนดวิธีการตรวจสอบผลการทดลองจะต้องทำการตรวจสอบจุดบกพร่องลักษณะเม็ดสีก่อนว่ามีหรือไม่ถ้าไม่มี จึงจะทำการตรวจสอบคุณภาพของฟิล์มสีที่ได้โดยใช้การวัดค่าความราบเรียบของผิวสี (Portable Gloss Distension ;PGD) ซึ่งเป็นตัวชี้บ่งคุณภาพของฟิล์มว่ามีความราบเรียบและความเงามากน้อยเพียงใด และทำการทดลองพ่นสีด้วยหัวพ่นสีตามที่ได้กำหนดตามทรีทเมนส์ที่กำหนดในรูปที่ 4.8 โดยทำการทดลองแบบสุ่มลำดับในการทดลอง



รูปที่ 4.8 รูปแบบการทดลองที่กำหนด

ผลการตรวจสอบคุณภาพของความราบเรียบฟิล์มสี

ตารางที่ 4.1 *แสดงผลการทดลองแต่ละ Treatment Combination*

Treatment combination	ปัจจัย				ผลการทดลอง		
	A	B	C	D	Rep 1	Rep 2	ผลรวม
1	-	-	-	-	0.3	0.5	0.8
a	+	-	-	-	0.5	0.4	0.9
b	-	+	-	-	0.8	0.6	1.4
ab	+	+	-	-	0.8	0.8	1.6
c	-	-	+	-	0.6	0.4	1.0
ac	+	-	+	-	0.7	0.6	1.3
bc	-	+	+	-	0.7	0.8	1.5
abc	+	+	+	-	0.9	0.9	1.8
d	-	-	-	+	0.4	0.2	0.6
ad	+	-	-	+	0.4	0.4	0.8
bd	-	+	-	+	0.6	0.8	1.4
abd	+	+	-	+	0.8	0.9	1.7
cd	-	-	+	+	0.6	0.5	1.1
acd	+	-	+	+	0.5	0.7	1.2
bcd	-	+	+	+	0.9	0.7	1.6
abcd	+	+	+	+	0.9	0.9	1.8

4.4.3 การตั้งสมมุติฐานของการทดสอบ Testing Hypothesis

H_o : $ß_1 = ß_2 = ß_3 = ß_4 = 0$

H_1 : at least one $ß_j \neq 0$

การหา Contrast ของแต่ละปัจจัยที่ได้จากการทดลอง

A = -1+a-b+ab-c+ac-bc+abc-d+ad-bd+abd-cd+acd-bcd+abcd

= -0.8+0.9-1.4+1.6-1+1.3-1.5+1.8-0.6+0.8-1.4+1.7-1.1+1.2-1.6+1.8

= 1.7

B = -1-a+b+ab-c-ac+bc+abc-d-ad+bd+abd-cd-acd+bcd+abcd

= -0.8-0.9+1.4+1.6-1-1.3+1.5+1.8-0.6-0.8+1.4+1.7-1.1-1.2+1.6+1.8

= 5.1

AB = 1-a-b+ab-c-ac-bc+abc+d-ad-bd+abd+cd-acd-bcd+abcd

= 0.8-0.9-1.4+1.6-1-1.3-1.5+1.8+0.6-0.8-1.4+1.7+1.1-1.2-1.6+1.8

= 0.3

C = -1-a-b-ab+c+ac+bc+abc-d-ad-bd-abd+cd+acd+bcd+abcd

= -0.8-0.9-1.4-1.6+1+1.3+1.5+1.8-0.6-0.8-1.4-1.7+1.1+1.2+1.6+1.8

= 2.1

AC = 1-a+b-ab-c+ac-bc+abc+d-ad+bd-abd-cd+acd-bcd+abcd

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

= 0.8-0.9+1.4+1.6-1+1.3-1.5+1.8+0.6-0.8+1.4-1.7-1.1+1.2-1.6+1.8

= 0.1

BC = 1+a-b-ab-c-ac+bc+abc+d+ad-bd-abd-cd-acd+bcd+abcd

= 0.8+0.9-1.4-1.6-1-1.3+1.5+1.8+0.6+0.8-1.4-1.7-1.1-1.2+1.6+1.8

= -0.9

ABC = -1+a+b-ab+c-ac-bc+abc-d+ad+bd-abd+cd-acd-bcd+abcd)

= -0.8+0.9+1.4-1.6+1-1.3-1.5+1.8-0.6+0.8+1.4-1.7+1.1-1.2-1.6+1.8

= -0.1

D = -1-a-b-ab-c-ac-bc-abc+d+ad+bd+abd+cd+acd+bcd+abcd)

=-0.8-0.9-1.4-1.6-1-1.3-1.5-1.8-0.6+0.8+1.4+1.7+1.1+1.2+1.6+1.8

= -0.1

AD = 1-a+b-ab+c-ac+bc-abc-d+ad-bd+abd-cd+acd-bcd+abcd

= 0.8-0.9+1.4-1.6+1-1.3+1.5-1.8-0.6+0.8-1.4+1.7-1.1+1.2-1.6+1.8

= -0.1

BD = 1+a-b-ab+c+ac-bc-abc-d-ad+bd+abd-cd-acd+bcd+abcd

= 0.8+0.9-1.4-1.6+1+1.3-1.5-1.8-0.6-0.8+1.4+1.7-1.1-1.2+1.6+1.8

= 0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABD = 1+a+b-ab-c+ac+bc-abc+d-ad-bd+abd+cd-acd-bcd+abcd

= 0.8+0.9+1.4-1.6-1+1.3+1.5-1.8+0.6-0.8-1.4+1.7+1.1-1.2-1.6+1.8

= 0.1

CD = 1+a+b+ab-c-ac-bc-abc-d-ad-bd-abd+cd+acd+bcd+abcd

= 0.8+0.9+1.4+1.6-1-1.3-1.5-1.8-0.6-0.8-1.4-1.7+1.1+1.2+1.6+1.8

= 0.3

ACD = 1+a+b+ab-c-ac-bc-abc-d-ad-bd-abd+cd+acd+bcd+abcd

= 0.8+0.9+1.4+1.6-1-1.3-1.5-1.8-0.6-0.8-1.4-1.7+1.1+1.2+1.6+1.8)

= 0.3

ACD = -1+a-b+ab-c-ac-bc-abc+d+ad-bd+abd-cd+acd-bcd+abcd

= -0.8+0.9-1.4+1.6-1-1.3-1.5-1.8+0.6+0.8-1.4+1.7-1.1+1.2-1.6+1.8

= -0.5

BCD = -1-a+b+ab+c+ac-bc-abc+d+ad-bd-abd-cd-acd+bcd+abcd

= -0.8-0.9+1.4+1.6+1+1.3-1.5-1.8+0.6+0.8-1.4-1.7-1.1-1.2+1.6+1.8

= -0.3

ABCD = 1-a-b+ab-c+ac-bc+abc-d+ad+bd-abd+cd-acd-bcd+abcd

= 0.8-0.9-1.4+1.6-1+1.3-1.5+1.8-0.6+0.8+1.4-1.7+1.1-1.2-1.6+1.8

= 0.1

การหา Effect Estimate ของแต่ละปัจจัย

$$\text{Effect Estimate} = \frac{2}{2^k n}\left[\text{Contrast}\right]$$

$$A = \frac{2}{2^4 x2}(1.7) \qquad = 0.1063$$

$$B = \frac{2}{2^4 x2}(5.1) \qquad = 0.3188$$

$$AB = \frac{2}{2^4 x2}(0.3) \qquad = 0.0188$$

$$C = \frac{2}{2^4 x2}(2.1) \qquad = 0.1313$$

$$AC = \frac{2}{2^4 x2}(0.1) \qquad = 0.0063$$

$$BC = \frac{2}{2^4 x2}(-0.9) \qquad = -0.0563$$

$$ABC = \frac{2}{2^4 x2}(-0.1) \qquad = -0.0063$$

$$D = \frac{2}{2^4 x2}(-0.1) \qquad = -0.0063$$

$$AD = \frac{2}{2^4 x2}(-0.1) \qquad = -0.0063$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$BD = \frac{2}{2^4 x2}(0.5) = 0.0313$$

$$ABD = \frac{2}{2^4 x2}(0.1) = 0.0063$$

$$CD = \frac{2}{2^4 x2}(0.3) = 0.0188$$

$$ACD = \frac{2}{2^4 x2}(-0.5) = -0.0313$$

$$BCD = \frac{2}{2^4 x2}(-0.3) = -0.0188$$

$$ABCD = \frac{2}{2^4 x2}(0.1) = 0.0063$$

การหา Sum of Square ของแต่ละปัจจัย

$$\text{Sum of Square} = \frac{1}{2^k n}[\text{Contrast}]^2$$

$$SS_A = \frac{1}{2^4 x2}(1.7)^2 = 0.0903$$

$$SS_B = \frac{1}{2^4 x2}(5.1)^2 = 0.8128$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{2^4 x2}(0.3)^2 = 0.0028$$

$$SS_C = \frac{1}{2^4 x2}(2.1)^2 = 0.1378$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$SS_{AC} = \frac{1}{2^4 x2} (0.1)^2 = 0.0003$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{2^4 x2} (-0.9)^2 = 0.0253$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{2^4 x2} (-0.1)^2 = 0.0003$$

$$SS_{D} = \frac{1}{2^4 x2} (-0.1)^2 = 0.0003$$

$$SS_{AD} = \frac{1}{2^4 x2} (-0.1)^2 = 0.0003$$

$$SS_{BD} = \frac{1}{2^4 x2} (0.5)^2 = 0.0078$$

$$SS_{ABD} = \frac{1}{2^4 x2} (0.1)^2 = 0.0003$$

$$SS_{CD} = \frac{1}{2^4 x2} (0.3)^2 = 0.0028$$

$$SS_{ACD} = \frac{1}{2^4 x2} (-0.5)^2 = 0.0078$$

$$SS_{BCD} = \frac{1}{2^4 x2} (-0.3)^2 = 0.0028$$

$$SS_{ABCD} = \frac{1}{2^4 x2} (0.1)^2 = 0.0003$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{2} y^2_{ijk} - \frac{y^2_{\infty\infty}}{16n}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$= 1.2572$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} - SS_C - SS_{AC} - SS_{BC} - SS_{ABC} - SS_D - SS_{AD}$$
$$SS_{BD} - SS_{ABD} - SS_{CD} - SS_{ACD} - SS_{BCD} - SS_{ABCD}$$

$= 0.165$

4.4.4 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของการทดลอง

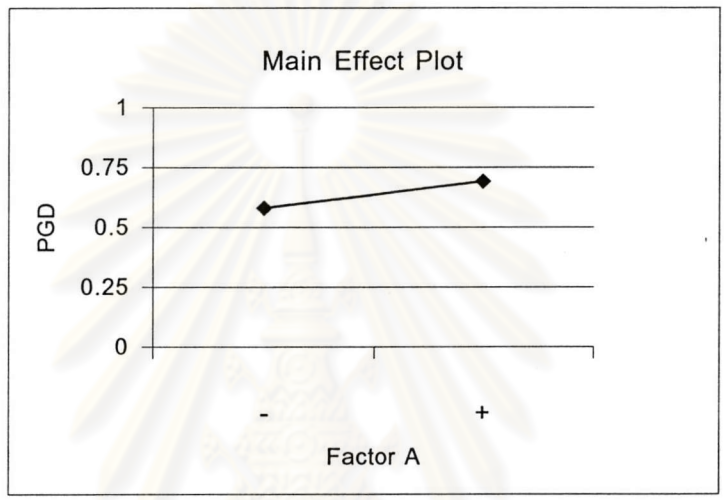
ตารางที่ 4.2 *การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA*

Factor	SS	DF	MS	Fo
A	0.0903	1	0.0903	8.767
B	0.8128	1	0.8128	78.913
AB	0.0028	1	0.0028	0.272
C	0.1378	1	0.1378	13.379
AC	0.0003	1	0.0003	0.029
BC	0.0253	1	0.0253	2.456
ABC	0.0003	1	0.0003	0.029
D	0.0003	1	0.0003	0.029
AD	0.0003	1	0.0003	0.029
BD	0.0078	1	0.0078	0.757
ABD	0.0003	1	0.0003	0.029
CD	0.0028	1	0.0028	0.272
ACD	0.0078	1	0.0078	0.757
BCD	0.0028	1	0.0028	0.272
ABCD	0.0003	1	0.0003	0.029
Error	0.165	16	0.0103	
Total	1.2572	31		

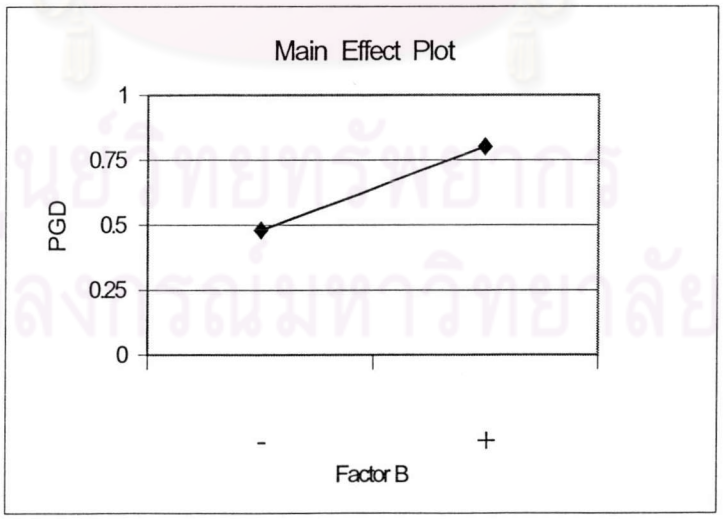
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆ ตามตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการแจกแจง $F_{0.05,1,16} = 4.29$ จะพบว่าปัจจัย A,B และ C มีผลต่อลักษณะของฟิล์มสีอย่างมีนัยสำคัญและไม่มี Interaction ใดๆมีผลต่อลักษณะของฟิล์มสีอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยปัจจัย B จะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุด

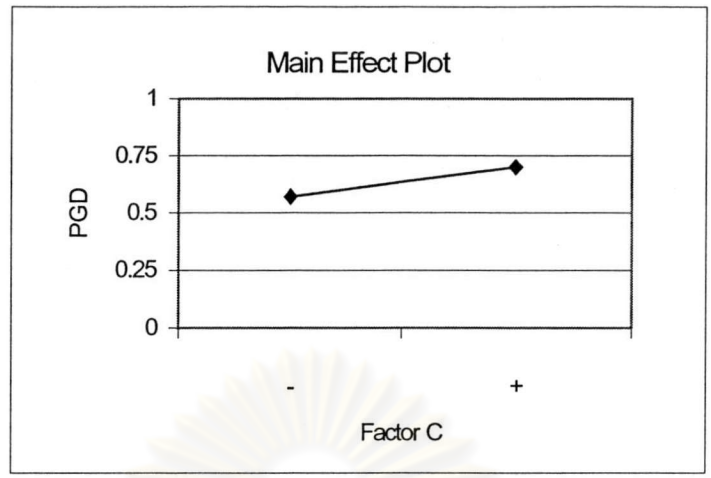
สำหรับปัจจัย D ความเร็วรอบในการหมุนของมีดกัดขณะทำการขึ้นรูปร่องรีดสี จากตาราง ANOVA พบว่าไม่มีผลต่อลักษณะของฟิล์มสีอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อทำการตรวจสอบลักษณะของร่องรีดสีที่ได้จากกล้องขยาย พบว่าลักษณะผิวของร่องรีดสีมีความเรียบใกล้เคียงกัน จึงไม่มีผลต่อลักษณะของฟิล์มสี



รูปที่ 4.9 Main Effect Plot ปัจจัย A



รูปที่ 4.10 Main Effect Plot ปัจจัย B



รูปที่ 4.11 *Main Effect Plot ปัจจัย C*

จากกราฟของ Main Effect Plot ของปัจจัยทั้ง 3 ตามรูปที่ 4.9 4.10 และ 4.11 จะพบว่าค่าคุณภาพของฟิล์มสีที่ได้จากการพ่นด้วยหัวพ่นสีที่ทำการปรับปรุง จะได้คุณภาพดีที่สุดที่ระดับของ ปัจจัย A ด้วยขนาดร่องรีดสีที่มีความลึก 0.1 มม. ปัจจัย B จำนวนร่องรีดสี 800 ร่อง และปัจจัย C หมุนด้วยความเร็วรอบในการหมุนขณะทำการพ่นสี 33,000 รอบ/นาที

4.4.5 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบบ Model Adequacy Checking

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละปัจจัยจะได้รูปแบบของ Regression Model ดังนี้

$$y = B_o+B_1x_1+B_2x_2+B_3x_3$$

$$= (20.5/32) + (0.0163/2)x_1 + (0.3188/2)x_2 + (0.1313/2)x_3$$

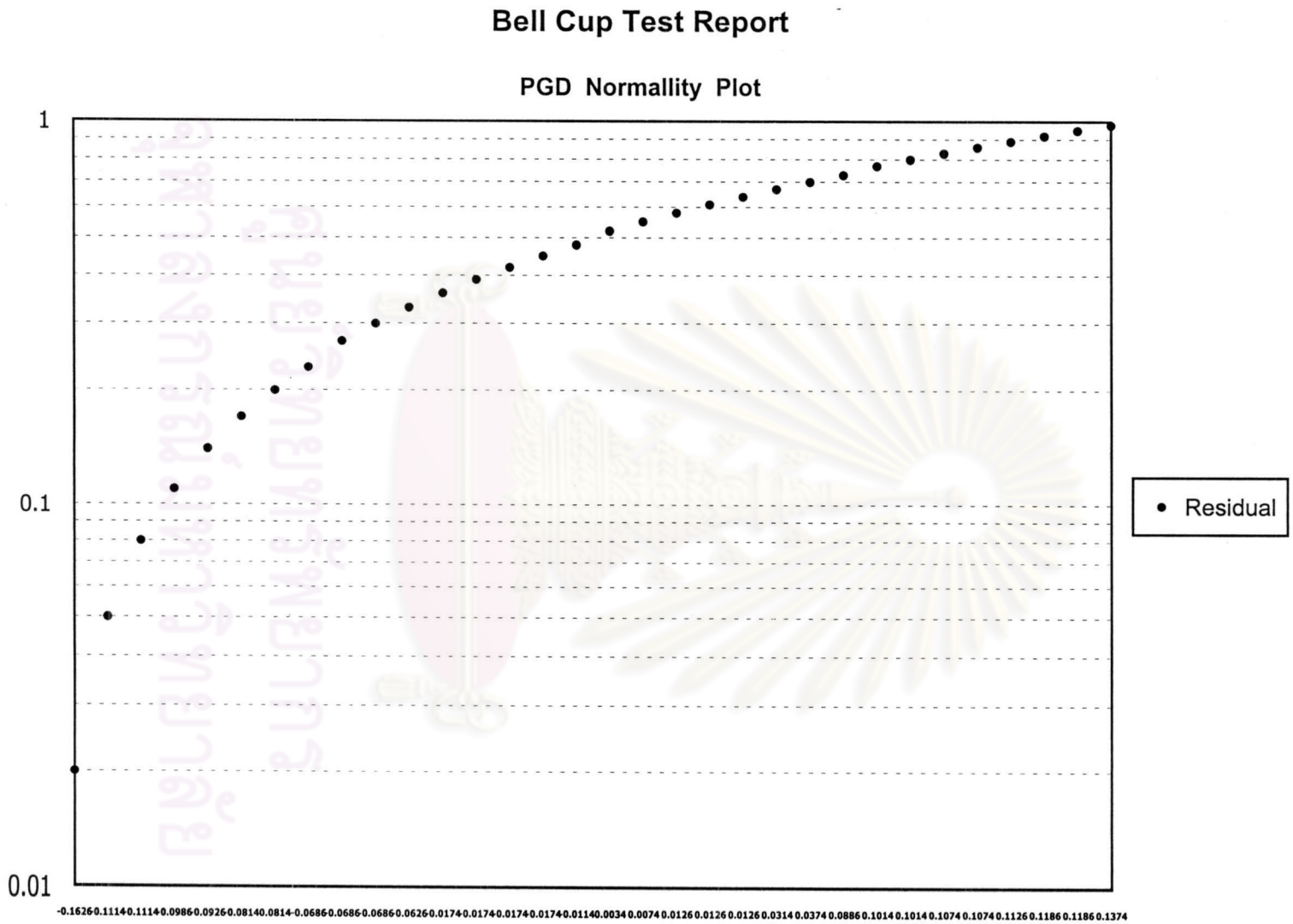
$$= 0.64 + 0.053x_1 + 0.1594\ x_2 + 0.065\ x_3$$

ทำการหา Residual เพื่อทำ Normality Plot สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลว่ามีลักษณะการกระจายแบบปกติแบบ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่

ตารางที่ 4.3 *การหาค่า Residual*

Treatment Combination	Factor			*y*	*e* Replication 1	*e* Replication 2
	A	B	C			
1	-1	-1	-1	0.3626	-0.0626	0.0374
a	1	-1	-1	0.4686	0.1374	-0.1626
b	-1	1	-1	0.6814	0.0314	-0.0686
ab	1	1	-1	0.7874	-0.0686	-0.0686
c	-1	-1	1	0.4926	0.1186	-0.0814
ac	1	-1	1	0.5986	-0.0814	0.1186
bc	-1	1	1	0.8114	0.0814	0.0126
abc	1	1	1	0.9174	0.0126	0.1126
d	-1	-1	-1	0.3626	0.1074	0.1074
ad	1	-1	-1	0.4686	-0.0926	0.0074
bd	-1	1	-1	0.6814	0.1014	-0.0986
abd	1	1	-1	0.7874	0.0034	0.1014
cd	-1	-1	1	0.4926	-0.1114	0.0886
acd	1	-1	1	0.5986	-0.0114	-0.1114
bcd	-1	1	1	0.8114	-0.0174	-0.0174
abcd	1	1	1	0.9174	-0.0174	-0.0174

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.12 *กราฟแสดงค่า Residual ของข้อมูลที่ทำการทดลอง*

จากรูปที่ 4.12 คือ กราฟ Normality Plot ที่ได้ทำการพลอตค่า Residual พบว่าลักษณะของกราฟมีการเรียงตัวของข้อมูลในลักษณะที่ใกล้เคียงเป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติแบบ NID $(0,\sigma^2)$

4.5 สรุป

จากการศึกษาจุดบกพร่องของฟิล์มสีจะพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละแบบมีสาเหตุของปัญหาหลายแบบแล้วแต่ลักษณะของกระบวนการ โดยปัญหาที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของอุปกรณ์หัวพ่นสีก็สามารถทำให้เกิดปัญหาได้ในลักษณะเกิดสีเป็นเม็ด สีพอง และผิวสีที่ได้ไม่มีความเรียบ (เป็นผิวส้ม) การชำรุดในลักษณะต่างๆที่เกิดขึ้นล้วนแต่เกี่ยวข้องกับร่องรีดสีทั้งสิ้น เนื่องจากอุปกรณ์หัวพ่นสีมีข้อกำหนดที่ต้องการความเบาในการทำงานที่ต้องหมุนด้วยความเร็วรอบสูง จึงต้องใช้โลหะแมกนีเซียมซึ่งเป็นสาเหตุใหญ่ที่ทำให้เกิดการชำรุดได้ง่าย

จากการศึกษาลักษณะการทำงานและการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆของหัวพ่นสี ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการพ่นสีของอุปกรณ์หัวพ่นสีได้แก่ จำนวนร่องรีดสี ความลึกของร่องรีดสี และความเร็วรอบที่ใช้ในการพ่นสี ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตาราง ANOVA จะพบว่าปัจจัยที่สำคัญที่สุดคือ จำนวนของร่องรีดสี ความเร็วรอบการหมุนเวลาพ่นสี และความลึกของร่องรีดสีตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย