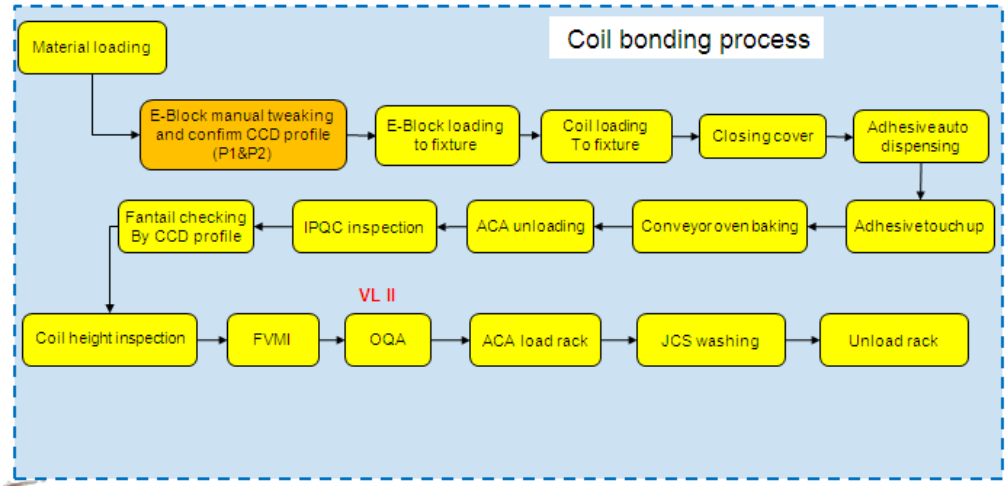
บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ มีการแข่งขันกันสูงมาก ทั้งในด้าน ราคา คุณภาพ การส่งมอบผลิตภัณฑ์ และการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุง ทั้งด้านกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และทรัพยากรบุคคลให้มีความรู้ ความสามารถ ในการคิดวิเคราะห์ รวมถึงการแก้ไขปัญหา ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกต้องตรงตามที่ลูกค้ากำหนด นอกจากนี้ วัตถุดิบ และวัสดุ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ต้องค้นหาที่มีต้นทุนต่ำสุด แต่ยังมีคุณภาพดี เพื่อให้สามารถแข่งขัน และสร้างผลกำไรให้กับบริษัทได้

โรงงานผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ทำการศึกษานี้มีพนักงานประมาณ 1,000 คน ทำการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ คือ แขนจับหัวอ่าน ซึ่งกระบวนการผลิต จะมีขั้นตอน การประกอบ การล้างทำความสะอาด การตรวจสอบ และการบรรจุผลิตภัณฑ์ มีปริมาณการผลิตประมาณ 1 ล้านชิ้นต่อสัปดาห์ และจะส่งไปทำการประกอบเป็นชุดแขนจับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ หรือ Actuator Pivot FCOF Assembly : APFA และส่งต่อไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ทั้งที่ใช้กับคอมพิวเตอร์ และโน๊ตบุ๊ค ต่อไป มีกระบวนการที่สำคัญที่เลือกทำการศึกษา คือ กระบวนการประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูป (E-Block) เข้ากับขดลวดนำไฟฟ้า (Coil) เป็น แขนจับหัวอ่าน (ACA ; Actuator arm Coil Assembly) โดยการใช้กาวมาทำการยึดติดด้วยเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ ชิ้นงานที่ได้ก็จะผ่านการตรวจสอบด้วยพนักงานก่อนส่งเข้าตู้อบ และเข้ากระบวนการตรวจสอบคุณภาพในขั้นตอนสุดท้ายต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กระบวนการประกอบ อลูมิเนียมขึ้นรูปเข้ากับขดลวดนำไฟฟ้า เป็น แขนจับหัวอ่าน

จากกระบวนการผลิตดังกล่าว พบว่าเกิด ของเสีย เช่น โพรงอากาศ ขึ้นจำนวนมาก ที่กระบวนการหยอดกาว และมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกสัปดาห์ โดยยังไม่สามารถหาวิธีแก้ไขได้ โพรงอากาศ จะเกิดขึ้นขณะทำการหยอดกาว ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงและอายุการใช้งานของแขนจับหัวอ่าน โดยขดลวดนำไฟฟ้า อาจจะหลุดจากแขนจับหัวอ่าน ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นเมื่อแขนจับหัวอ่านมีการเคลื่อนที่ขณะฮาร์ดดิสก์ทำงาน ปัญหาเช่นนี้จะส่งผลกระทบต่อชื่อเสียงและภาพลักษณ์ของบริษัทในระยะยาว และอาจจะต้องรับผิดชอบค่าใช้จ่ายจากความเสียหายที่เกิดขึ้น ดังนั้น การผลิตแขนจับหัวอ่านให้มีคุณภาพตามที่ลูกค้ากำหนดจึงมีความสำคัญ อีกทั้งการลดของเสียที่มีลักษณะเป็นโพรงอากาศในกระบวนการหยอดกาวซึ่งเป็นปัญหาหลักที่สำคัญของการประกอบแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ยังจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยรวมให้สูงยิ่งขึ้นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อลดการเกิดโพรงอากาศในกระบวนการหยอดกาวสำหรับการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์
2. เพื่อหาค่าปัจจัยในกระบวนการหยอดกาวที่ก่อให้เกิดโพรงอากาศต่ำที่สุด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นเฉพาะการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องหยอดกาวเพื่อลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศหลังเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติบน ชิ้นส่วนแขนจับหัวอ่านของผลิตภัณฑ์ แขนจับหัวอ่าน ชื่อ AAA

1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถหาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องหยอดกาวได้
2. สามารถลดจำนวนครั้งในการปรับตั้งสภาวะของเครื่องหยอดกาว
3. สามารถลดจำนวนงานซ่อมที่ต้องทำการเติมกาวที่รูโพรงอากาศโดยพนักงานได้
4. สามารถนำค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องหยอดกาวไปกำหนดเป็นมาตรฐานการทำงานในเอกสารคู่มือการทำงาน

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเกี่ยวกับ การใช้กาวเชื่อมติดระหว่าง E-block และ Coil ผลกระทบจากปริมาณกาวที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของฮาร์ดดิสก์ ดังนั้น ความเข้าใจในกระบวนการหยอดกาว และหลักการทำงานของแขนจับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพ

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์

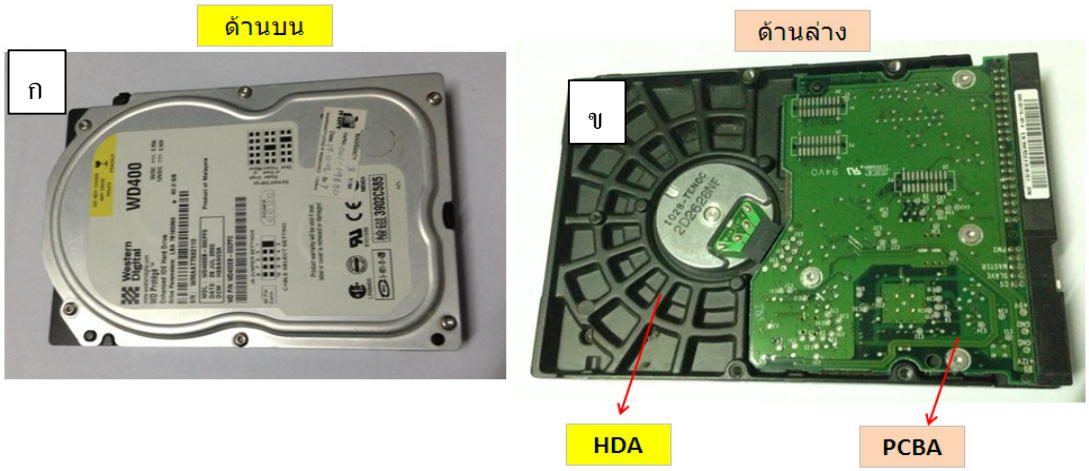
ฮาร์ดดิสก์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลจำนวนมาก สามารถเก็บได้อย่างถาวรโดยไม่จำเป็นต้องมีไฟฟ้ามาหล่อเลี้ยงตลอดเวลา เมื่อปิดเครื่องข้อมูลก็จะไม่สูญหาย ดังนั้น ฮาร์ดดิสก์ จึงถูกจัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บระบบปฏิบัติการ โปรแกรม และข้อมูลต่างๆสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ และเนื่องจากความต้องการของผู้ใช้ได้เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว เช่น ต้องการเก็บข้อมูลได้มากขึ้น ดังนั้นผู้ผลิตจึงมีการพัฒนา ปรับเปลี่ยนรุ่นเป็นระยะๆ ทำให้เทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการเลือกซื้อฮาร์ดดิสก์ จึงควรคำนึงถึงประสิทธิภาพที่จะได้รับจากฮาร์ดดิสก์ ซึ่งปัจจุบันฮาร์ดดิสก์มี ความจุถึงระดับ Terabyte (1,000 GB) กันแล้ว ซึ่งความแตกต่างของฮาร์ดดิสก์ แต่ละตัว คือ ความเร็วรอบในการหมุนของจานแม่เหล็กที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ หน่วยความจำ Buffer ตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ ดังรูปที่ 2.1 [1]

รูปที่ 2.1 ฮาร์ดดิสก์

โครงสร้างและส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ [1]

ฮาร์ดดิสก์ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ HDA และPCBA ดังรูปที่ 2.2

1. HDA : Hard Disk Assembly เป็นส่วนกลไกของฮาร์ดดิสก์ เช่น Motors Media HSA และอื่นๆ การประกอบ HDA จะต้องทำในห้องควบคุมฝุ่น (Clean room) ซึ่งต้องควบคุม ไฟฟ้าสถิตย์ (ESD) และฝุ่นขนาดเล็ก (Micro Contamination)
2. PCBA : Printed Circuit Board Assembly เป็นส่วนที่เป็น Electronic ซึ่งใช้ควบคุมส่วนที่เป็นกลไกใน HDA รวมทั้งการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์

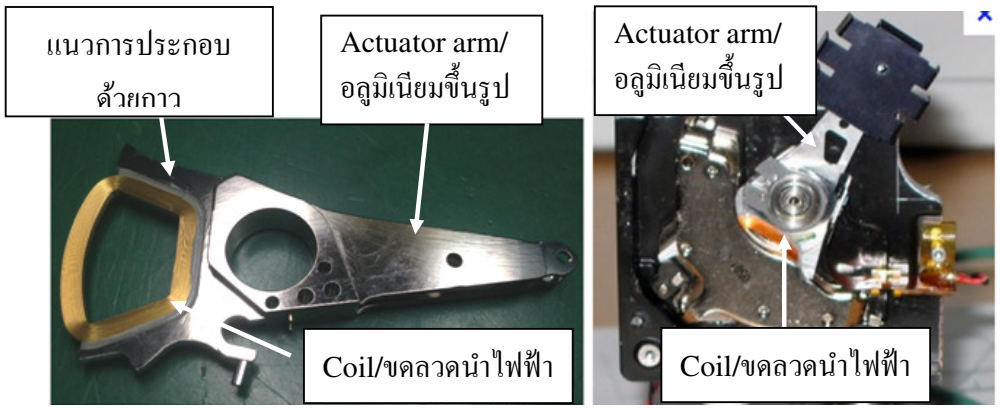


รูปที่ 2.2 โครงสร้างฮาร์ดดิสก์ (ก) ด้านบน และ (ข) ด้านล่าง

ส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์

เป็นส่วนประกอบย่อยที่อยู่ภายในฮาร์ดดิสก์ ได้แก่

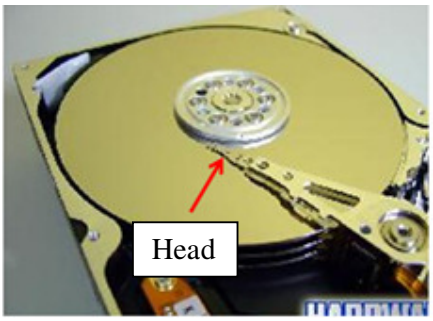
1. **แขนจับหัวอ่าน** ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่งานวิจัยนี้ทำการศึกษา ดังรูปที่ 2.3 (ก) และ (ข) แขนจับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ มีความสำคัญต่อการควบคุมตำแหน่งการอ่าน เขียนในฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากจะติดจะติดตั้งหัวอ่านไว้ที่ปลายของแขนจับหัวอ่าน เมื่อฮาร์ดดิสก์ทำงาน แขนจับหัวอ่านจะเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องการ หรือพื้นที่บนจานแม่เหล็กที่ต้องการเขียนข้อมูล [2] ส่วนขดลวดนำไฟฟ้า (Coil) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของแขนจับหัวอ่าน จะประกอบด้วยขดลวดจำนวนมากทำหน้าที่ส่งต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อควบคุมการทำงานของหัวอ่าน เขียน หากทำการประกอบแขนจับหัวอ่านไม่ดี เช่น การติดกาวไม่เต็มหรือกาวล้นเกินอลูมิเนียมขึ้นรูปหรือเกินขดลวดนำไฟฟ้า ส่งผลให้ไม่สามารถประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ที่สมบูรณ์ได้ เนื่องจากส่วนเกินของกาวไปชนหรือกระแทกกับชิ้นส่วนอื่นๆ นอกจากนี้การที่เกิดโพรงอากาศในแนวของกาว ทำให้ขดลวดนำไฟฟ้าหลุดจากแขนจับหัวอ่านได้ดังนั้นการควบคุมการผลิตเพื่อให้ได้แขนจับหัวอ่านตามมาตรฐานที่กำหนด จึงเป็นสิ่งจำเป็น



(ก) (ข)

รูปที่ 2.3 (ก) แขนจับหัวอ่าน และ (ข) แขนจับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดร์

2. Head : หัวอ่าน ดังรูปที่ 2.4 เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่าน เขียนข้อมูล ภายในหัวอ่านมีลักษณะเป็นขดลวด โดยในการอ่าน เขียนข้อมูล คอนโทรลเลอร์จะนำคำสั่งที่ได้รับมาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วป้อนเข้าสู่ขดลวดทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่ฉาบบนแผ่นดิสก์ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขึ้น

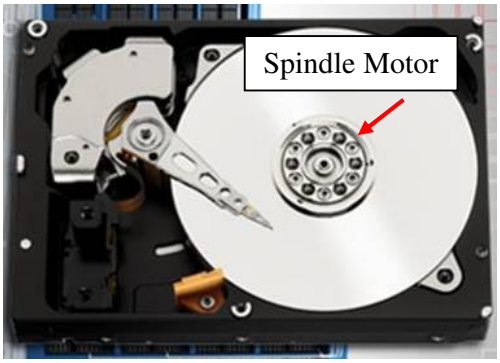


รูปที่ 2.4 Head หรือ หัวอ่าน

3. Platters : แผ่นจานแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.5 มีลักษณะเป็นจานเหล็กกลมๆ ที่เคลือบสารแม่เหล็กวางซ้อนกันหลายๆชั้น (ขึ้นอยู่กับความจุ) และสารแม่เหล็กที่ว่าจะถูกเหนี่ยวนำให้มีสภาวะเป็น 0 และ1 เพื่อจัดเก็บข้อมูลโดยจานแม่เหล็กนี้จะติดกับมอเตอร์ที่ทำหน้าที่หมุนแผ่นจานเหล็กนี้ ปกติฮาร์ด ดิสก์ แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1- 4 แผ่น แต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้ง 2 ด้าน

รูปที่ 2.5 Platters

4. Spindle Motor : มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก ดังรูปที่ 2.6 เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนแผ่นแม่เหล็ก ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อความเร็วในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็ว หัวอ่านก็จะสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้น ซึ่งความเร็วนี้มีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (Revolution Per Minute หรือ RPM)



รูปที่ 2.6 Spindle Motor

2.2 กระบวนการยึดติดอลูมิเนียมขึ้นรูปเข้ากับขดลวดนำไฟฟ้าเป็นแขนจับหัวอ่าน

2.2.1 การประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูปกับขดลวดนำไฟฟ้า

การประกอบแขนจับหัวอ่าน ประกอบด้วย ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 [3] เพื่อให้การเชื่อมติดระหว่างอลูมิเนียมขึ้นรูป กับ ขดลวดนำไฟฟ้า ยึดติดกันสมบูรณ์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

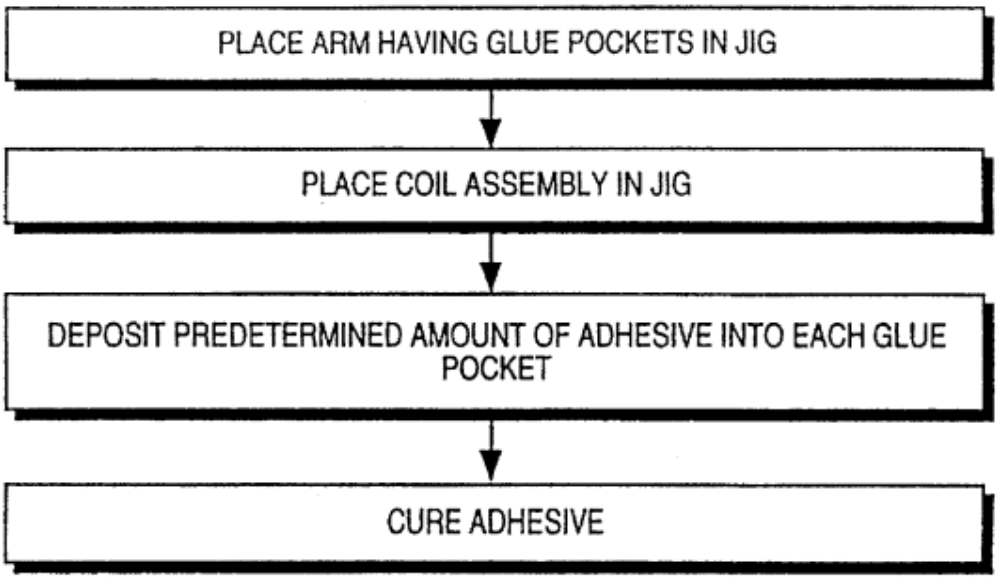
ขั้นที่ 1 ทำการประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูป (E-Block/ Actuator arm) เข้ากับ Fixture/ Jig

ขั้นที่ 2 ทำการประกอบขดลวดนำไฟฟ้า (Coil) เข้ากับ Fixture/ Jig

ขั้นที่ 3 ทำการหยอดกาวปิดช่องว่างระหว่างผนังอลูมิเนียมขึ้นรูป และขดลวดนำไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.8 พร้อมทั้งทำการจัดการกับกาวส่วนเกินที่ล้นมาบนอลูมิเนียมขึ้นรูป และขดลวดนำไฟฟ้าทั้งด้านบนและล่าง

ขั้นที่ 4 ทำการอบงานเพื่อให้กาวแห้ง

หมายเหตุ : E-Block หรือ Actuator arm หรือ Arm หมายถึง อลูมิเนียมขึ้นรูป



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการประกอบ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้ยึดติดกับขดลวดนำไฟฟ้า [3]

รูปที่ 2.8 ช่องว่างระหว่างผนังอลูมิเนียมขึ้นรูป และขดลวดนำไฟฟ้า

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด ได้แก่ [4]

1. อุณหภูมิ ความหนืดจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปกล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดของของเหลวจะลดลง โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ต่างกัน 1 °C จะทำให้ความหนืเปลี่ยนไป 1-10%
2. ความดัน การเปลี่ยนแปลงความดันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดเช่นกัน โดยปกติที่ความดันสูงๆ จะทำให้ปริมาตรอิสระลดลง ทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้น
3. ความเข้มข้น ความเข้มข้นของอนุภาคที่กระจายตัวในของเหลวในกรณีที่เป็นสารผสม หรือสารละลาย ความเข้มข้นของตัวถูกละลายจะมีผลกระทบต่อความหนืด คือ ถ้าสารละลายมีควาเข้มข้นสูง ค่าความหนืดจะสูงขึ้นไปด้วย
4. ความสามารถในการแพร่ ในสารผสมหรือสารละลาย ความสามารถในการแพร่ของสารในของผสม หรือในตัวทำละลาย จะมีผลต่อความหนืด คือ สารที่แพร่ได้ดี จะมีความหนืดต่ำกว่า สารที่แพร่ได้ไม่ดี

2.2.2 ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของ แขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

การที่จะทำการผลิตให้ได้ แขนจับหัวอ่าน ที่มีคุณภาพ จะต้องทำการควบคุมปัจจัยการผลิต และขจัดสาเหตุที่จะนำมาซึ่งความบกพร่อง หรือลดความผันแปรที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีปัจจัยที่สำคัญ 4 ตัว คือ [5]

1. Material หรือวัตถุดิบที่ใช้ คือ อลูมิเนียมขึ้นรูป และขดลวดนำไฟฟ้าต้องควบคุมให้ได้ขนาดตามแบบที่กำหนดไม่เช่นนั้นจะมีผลให้ขนาดช่องว่างระหว่างอลูมิเนียมขึ้นรูป และขดลวดนำไฟฟ้าใหญ่เกินไป หรือเล็กเกินไปส่งผลต่อปริมาณกาวต่อพื้นที่ไม่เหมาะสมหากน้อยเกินไปจะส่งผลให้

ความแข็งแรงของแขนจับหัวอ่านลดลง หรือถ้ามากเกินไปจะทำให้ขนาดแขนจับหัวอ่านไม่ได้ตามแบบ ส่งผลให้ไม่สามารถประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ได้นอกจากนี้ถ้าขนาดของอลูมิเนียมขึ้นรูปที่ใหญ่เกินไปก็จะไม่สามารถประกอบลงบน Fixture ได้เช่นกัน นอกจากนี้กาวที่ใช้ในการประกอบ ต้องได้คุณภาพ และอยู่ในช่วงอายุที่สามารถใช้งานได้ และต้องมีการจัดเก็บที่เหมาะสม

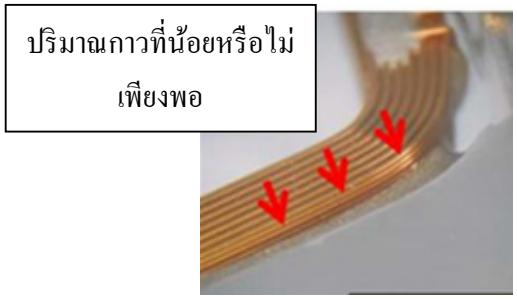
2. Machinery หรือ เครื่องจักรกลที่ใช้ผลิต ต้องมีประสิทธิภาพในการหยอดกาว และได้แนวการหยอดกาวที่สม่ำเสมอ

3. Method of work หรือวิธีการทำงานต้องมีการกำหนดปัจจัยที่เหมาะสม (เงื่อนไขการปรับตั้งค่าที่เครื่องจักร) ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของงานหลังทำการหยอดกาว

4. Man-Made Error หรือความบกพร่องที่เกิดจากการกระทำของบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการไม่รู้หรือการอ่านค่าเครื่องมือ หรือค่าการปรับตั้งผิดจะส่งผลให้คุณภาพของงานหลังทำการหยอดกาวไม่เป็นไปตามที่ลูกค้ากำหนด เนื่องจากงานถูกผลิตภายใต้ปัจจัยที่ไม่เหมาะสม

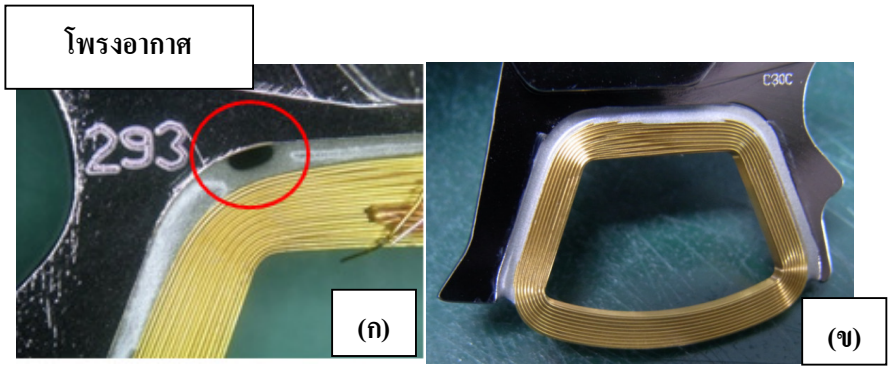
2.2.3 ปัญหาและผลกระทบจากปัจจัยการหยอดกาวที่ไม่เหมาะสม

การมีกาวมากเกิน หรือกาวล้น (Excessive Epoxy) มีผลต่อการประกอบของลูกค้า คือ ไม่สามารถประกอบกับชิ้นส่วนอื่นได้ นื่องจากกาวล้นทำให้ความสูง ของแขนจับหัวอ่าน ผิดจากแบบที่ลูกค้ากำหนด นอกจากนี้กาวที่มากเกินยังมีผลต่อความสมดุลของแขนจับหัวอ่าน มีผลต่อการเคลื่อนที่ของแขนจับหัวอ่าน คือ เมื่อมีการปล่อยสนามแม่เหล็กออกมา แต่หน้าสัมผัสของแขนจับหัวอ่านไม่สามารถรับได้เต็มที่ มีผลต่อกลไกการควบคุมการเคลื่อนที่ และตำแหน่งของแขนจับหัวอ่าน ส่งผลให้การอ่าน เขียน ของฮาร์ดดิสก์เกิดสะดุด ส่วนปริมาณกาวที่น้อย หรือไม่เพียงพอ (Insufficient Epoxy) มีผลต่อความแข็งแรงของแขนจับหัวอ่าน โดยขดลวดนำไฟฟ้า อาจจะหลุดจากแขนจับหัวอ่าน โดยมีโอกาสเกิดขึ้น เนื่องจากแขนจับหัวอ่านมีการเคลื่อนที่เพื่อการอ่าน เขียน ส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถทำงานได้ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ปริมาณกาวที่น้อยหรือไม่เพียงพอ

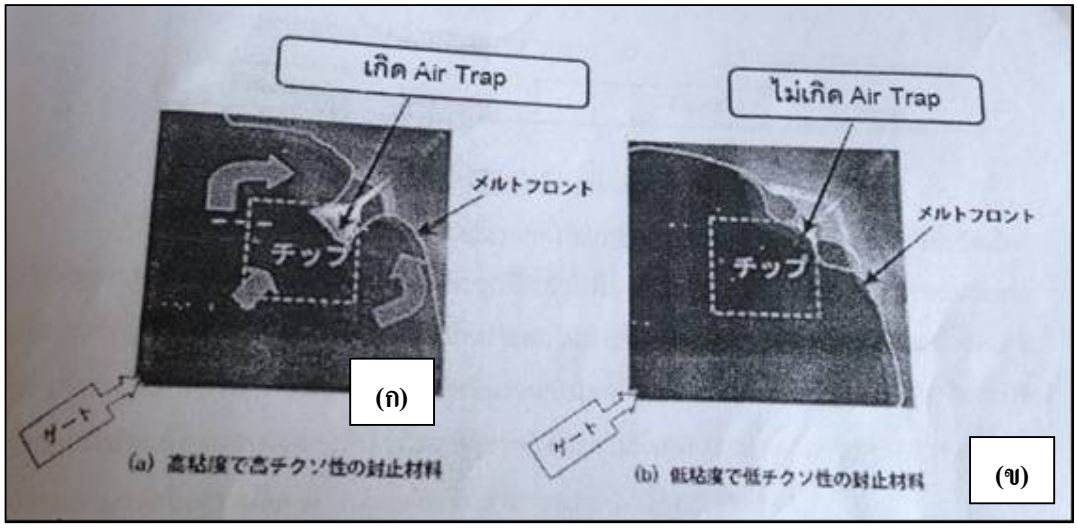
การเกิดโพรงอากาศขณะทำการหยอดกาว ดังรูปที่ 2.10 (ก) มีผลต่อความแข็งแรงของแขนจับหัวอ่าน โดยขดลวดนำไฟฟ้าอาจจะหลุดจาก แขนจับหัวอ่าน โดยมีโอกาสเกิดขึ้นเนื่องจาก แขนจับหัวอ่านมีการเคลื่อนที่ในระหว่างการอ่าน เขียน ของหัวอ่านซึ่งส่งผลให้ ฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถทำงานได้ สำหรับงานที่ทำกาวหยอดกาวได้สมบูรณ์ หรืองานปกติ แสดงดังรูปที่ 2.10 (ข)



รูปที่ 2.10 งานหลังการหยอดกาว (ก) งานเกิดโพรงอากาศ และ (ข) งานปกติ

2.2.4 ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวกับการเกิดโพรงอากาศ

จิระวัฒน์ แตงไทย [15] : ในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป มีวัตถุประสงค์เพื่อห่อหุ้มวงจรซึ่งมีความซับซ้อน และมีขนาดเล็กเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย การประกอบ สภาพแวดล้อม และการใช้งานโดยกระบวนการประกอบไปด้วย ลีดเฟรมที่มีการติดชิปและเชื่อมด้วยลวดทองคำ และเรซิ่นหรือเรียกอีกอย่างว่า คอมปาวด์ส่งผ่านไปยังแม่พิมพ์ เพื่อทำการขึ้นรูป และเนื่องจากเรซิ่นที่ใช้มีลักษณะเป็น Composite material เกิดจากการผสมกันระหว่าง Epoxy resin กับ Silica filler โดยพฤติกรรมการไหลของเรซิ่นเข้าไปในแม่พิมพ์จะมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ ความหนืดของเรซิ่นจึงเปลี่ยนไปตามระยะเวลาที่ได้รับความร้อน รวมทั้งลักษณะการรวมกลุ่มกันของ filler ด้วย ความหนืดจะมีผลต่อการไหลของเรซิ่น คือ ความเร็ว และแรงปะทะของเรซิ่นที่จะกระทำกับชิป และเส้นลวดทองคำ ความเร็วในการไหลของเรซิ่น ในแต่ละพื้นที่จะไม่เท่ากัน เมื่อพิจารณารูปที่ 2.11 (ก) สำหรับ เรซิ่นที่มีความหนืดสูง มีผลต่อความเร็วของเรซิ่นที่ไหลเข้าไปในบริเวณต่างๆของแม่พิมพ์ ทำให้การไหลของเรซิ่นบริเวณกลางชิปช้าลง ในขณะที่เรซิ่นรอบๆชิปจะไหลเร็วขึ้น ซึ่งเมื่อเรซิ่นไหลมารวมตัวกับเรซิ่นที่ดันตัวขึ้นมาจากด้านล่างของชิป ก็จะทำให้เกิดเป็น Air trap ขนาดใหญ่ ซึ่งการเกิด Air trap ขนาดใหญ่เช่นนี้ เป็นปัจจัยสำคัญให้หลงเหลือเป็นรูที่เรียกว่า Weld void ในเนื้อเรซิ่น อย่างไรก็ตาม เราสามารถลดขนาดของ Air trap ได้ โดยการลดความหนืดของเรซิ่น เพื่อเพิ่มความเร็วในการไหลของเรซิ่น และเมื่อพิจารณารูปที่ 2.11 (ข) ไม่พบ Air trap เมื่อเรซิ่นมีความหนืดต่ำ [18]



รูปที่ 2.11 (ก) การเกิด Air trap เมื่อเรซิ่นมีความหนืดสูง และ (ข) งานที่ไม่เกิด Air trap

ผาแดง อินดัสตรี (Padaeng Industry) [19]: ได้ศึกษาสาเหตุของการเกิดรูพรุน มาจากฟองอากาศและฟองแก๊ส ที่ถูกกักเก็บไว้ในเนื้อชิ้นงานของงานฉีด ซึ่งพบว่าอากาศจะมีอยู่ตั้งแต่ทางวิ่งน้ำโลหะ และในช่องว่างแม่พิมพ์ อากาศส่วนนี้ควรถูกน้ำโลหะดันออกทางรูระบายให้มากที่สุด โดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงหลายประการ คือ รูระบายอากาศ ต้องเพียงพอ และอยู่ในตำแหน่งที่ให้อากาศระบายออกได้สะดวก ความเร็วในการฉีดที่เหมาะสม เวลาในการฉีดที่เหมาะสม อุณหภูมิการฉีดที่เหมาะสม เพื่อรักษาคุณสมบัติการไหล โดยอุณหภูมิสูงขึ้นการไหลดีขึ้น อุณหภูมิต่ำลงการไหลแย่ลง และการเคลื่อนตัวของน้ำโลหะผ่านทางวิ่ง (Runner) มีการไหลแบบราบเรียบ ไม่เกิดปั่นป่วนมิฉะนั้นฟองอากาศจะปนอยู่ในน้ำโลหะตั้งแต่ในทางวิ่งเมื่อถูกฉีดเข้าช่องว่างแม่พิมพ์ น้ำโลหะที่แข็งตัวได้เร็วจะกักเก็บอากาศไว้ในเนื้อชิ้นงานเกิดเป็นรูพรุน (ต้องคำนึงตั้งแต่การออกแบบทางวิ่งที่ไม่มีส่วนหัก โค้งงอมากไป ทางวิ่งสั้นที่สุด และมีพื้นที่หน้าตัดจากใหญ่ไปหาเล็ก)

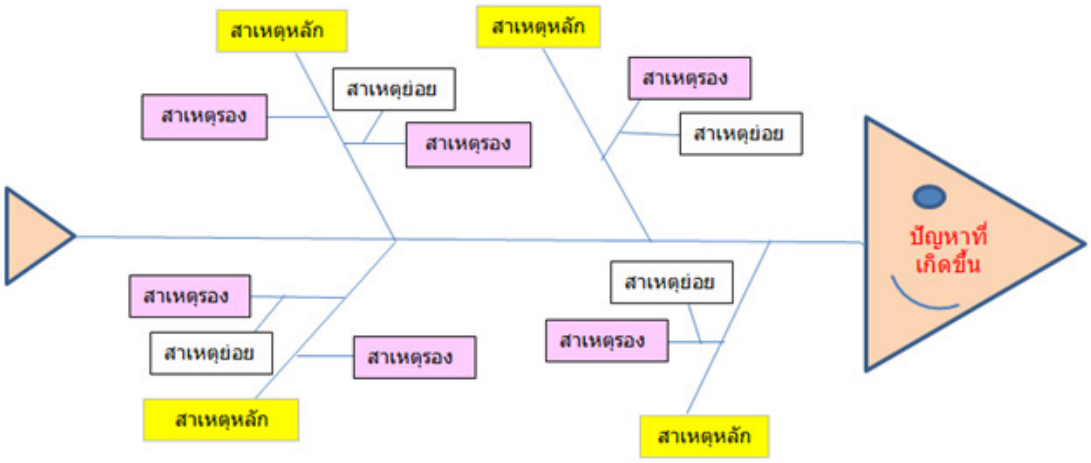
พีรกิตติ์ วิริยะรัตนศักดิ์ [20]: ทำการศึกษาการปรับปรุงเงื่อนไขการฉีดไดคาสติ้งในช่วง Pre-Filling สำหรับการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่เป็นวัสดุอลูมิเนียม เนื่องจากพบปัญหาโพรงอากาศ (Air Entrapment) ภายในชิ้นงานซึ่งทำให้คุณภาพต่ำลง โดยปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดโพรงอากาศ คือเงื่อนไขการฉีดน้ำโลหะโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองบนคอมพิวเตอร์ทำให้ทราบว่า การกำหนดค่าความเร็ว การเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ 0.3 - 0.4 m/s ให้อัตราการเติมเต็มกระบอกสูบที่ 60%-70% จะทำให้การไหลของน้ำโลหะภายในกระบอกสูบในช่วงการฉีด ในส่วนระบบจ่ายน้ำโลหะนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุด คือ สามารถลดการเกิดชั้นของแข็งของน้ำโลหะบริเวณผิวกระบอกสูบ เนื่องจาก

ความร้อนสะสมของน้ำโลหะในระดับสูงรวมทั้งเกิดกับดักอากาศในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ จะส่งผลให้สามารถผลิตชิ้นงานอลูมิเนียมผสมไดคาสติ้งที่มีคุณภาพสูงด้วยรอบเวลาการผลิตที่ต่ำลง

2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

2.3.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพก้างปลา

แผนภาพก้างปลา หมายถึง แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ อย่างมีระบบระหว่างผลที่แน่นอนประการหนึ่ง (อาการของปัญหา) และสาเหตุที่เกี่ยวข้อง ดังรูปที่ 2.11 [6]



รูปที่ 2.12 แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram)

โครงสร้างของแผนภาพก้างปลา

1. ส่วนที่เป็นตัวปลา เป็นส่วนที่รวบรวมปัจจัยทั้งหมดที่อาจส่งผลกระทบให้เกิดปัญหา ในหัวปลาโดยจะถูกแยกออกเป็น สาเหตุหลัก สาเหตุรอง และสาเหตุย่อย จนถึงต้นเหตุที่แท้จริง สาเหตุหลักมาจากสิ่งที่เป็นองค์ประกอบหลักในการทำงาน เช่น พนักงาน เครื่องจักร สิ่งแวดล้อม สาเหตุรอง คือ สาเหตุที่ทำให้สาเหตุหลักผิดปกติ ตัวอย่างเช่น ถ้าสาเหตุหลัก คือ เครื่องจักร สาเหตุรอง คือ น้ำมันรั่วซึม ออกจากห้องเครื่อง เป็นต้น สาเหตุย่อย เป็นสาเหตุสำคัญ ที่ทำให้เกิด ปัญหาในสาเหตุรอง และสาเหตุย่อยๆมีได้อีกหลายสาเหตุ ซึ่งมักเป็นจุดเริ่มต้น ของปัญหา เช่น ถ้าตัวอย่าง คือ น้ำมัน รั่วซึมออกจากห้องเครื่อง เป็นสาเหตุรอง สาเหตุย่อยน่าจะเกิดจาก ซีลกันน้ำมันขาด สาเหตุซีลกันน้ำมันขาดอาจเนื่องมาจากการใช้น้ำมันผิดประเภท หรือซีลคุณภาพต่ำ หรือซีลอาจจะหมดอายุก็ได้หลายสาเหตุ การวิเคราะห์ลงในระดับสาเหตุย่อยจะทำให้ขจัดปัญหาที่แหล่งกำเนิดปัญหาหรือต้นตอ (Root Cause)

ได้และทำให้ปัญหาซ้ำๆ ซากๆ ลดลงหรือไม่เกิดขึ้นอีก หรือแม้ว่าเกิดขึ้นอีกก็สามารถแก้ไขได้

2. ส่วนที่เป็นหัวปลา คือส่วนที่ระบุปัญหา ซึ่งโดยทั่วไปในการแก้ปัญหาคุณภาพด้วยเครื่องมือคุณภาพมักจะเลือกปัญหามาจากแผนภาพพาเรโต

ขั้นตอนในการสร้างแผนภาพก้างปลา

การทำแผนภาพก้างปลาจะต้องมีการจัดตั้งทีมงานขึ้นมาเพื่อระดมความคิด วิเคราะห์หาสาเหตุที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดออกมา ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดปัญหา โดยจะใส่ไว้ที่หัวปลา
2. การกำหนดกลุ่มของปัจจัยที่อาจจะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
3. ระดมสมอง เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของแต่ล่ะปัจจัย ที่คาดว่าเป็นสาเหตุของปัญหา
4. กลั่นกรองหาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่ได้มา
6. หาแนวทางการแก้ปัญหา

งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนภาพก้างปลา

วัลภา เตชะสุข [14]: งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตเซมิคอนดักเตอร์ชนิดมีขา เนื่องจากเกิดปัญหาเส้นทองสัมผัสกันในกระบวนการขึ้นรูป โดยมีเกณฑ์มาตรฐานว่าเส้นทองจะต้องห่างกันมากกว่าหรือเท่ากับ 23 ไมครอน โดยได้ใช้แผนภาพก้างปลามาทำการวิเคราะห์ ร่วมกับการระดมสมองของผู้เชี่ยวชาญจนสามารถระบุรายการสาเหตุการเกิดปัญหาได้ ซึ่งจะใช้เป็นข้อมูลในการค้นหาสาเหตุที่แท้จริงในลำดับถัดไป นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ จิระวัฒน์ แตงไทย [15] : งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโพรงอากาศ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ขนาดรวมของโพรงอากาศไม่เกิน 500 ไมครอน โดยใช้หลักการของแผนภาพก้างปลาวิเคราะห์ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคจนสามารถระบุปัจจัยทั้งหมดที่น่าจะมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ โดยพิจารณาจากสาเหตุหลัก 5 สาเหตุ คือ คน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการ และสภาพแวดล้อม ตลอดจนการพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆของปัจจัย จากงานวิจัยข้างต้นผู้วิจัยได้นำมาเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เนื่องจากทั้ง 2 งานวิจัย เป็นการฉีดเรซิ่น เพื่อคลุมชิบ และเส้นลวดทองคำ โดยเรซิ่นที่ทำการฉีด ต้องมีระยะเวลาในการฉีด ระยะเวลาในการอุ่นเรซิ่น อุณหภมิ แรงฉีด และแรงอัดแม่พิมพ์ที่เหมาะสม ซึ่งคล้ายคลึงกับการหยอดกาวที่ต้องอาศัย อุณหภูมิกาว และแรงฉีดที่เหมาะสมจึงจะสามารถลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศ อีกทั้งปัจจัยอื่นก็มีส่วนคล้ายกัน

2.3.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (FMEA) คือ วิธีการที่เป็นระบบ (Systematic Approach) ในการตรวจหาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น และป้องกันข้อบกพร่องต่างๆ ไม่ให้เกิดขึ้น ทำให้สามารถคาดการณ์ปัญหา และมีระบบในการจัดอันดับ หรือจัดความสำคัญก่อน-หลังดังนั้นจึงสามารถดำเนินการกับข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดได้ ซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าอย่างมากต่อการจัดการงานในโครงการลดข้อบกพร่อง หรือความผิดพลาด เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการที่ศึกษา โดยแปลงความผิดพลาดนั้นๆให้อยู่ในรูปของสาเหตุ ซึ่งจุดเด่นในการวิเคราะห์ด้วย FMEA นี้จะอยู่ที่การคิดอย่างเป็นระบบ และมีการคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความรุนแรง (Severity) ของผลกระทบ (Potential Effect) โอกาสการเกิดของสาเหตุ (Occurrence) ของอาการของปัญหา เนื่องจากสาเหตุต่างๆ (Potential Cause Effect of Failure) และความสามารถในการป้องกัน (Detection) ของวิธีการควบคุมที่มีอยู่ (Current Process Control) [9]

วัตถุประสงค์ของการดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ [13]
(Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) คือ

1. เพื่อบ่งชี้ลักษณะข้อบกพร่อง แนวโน้มผลกระทบที่เกิดขึ้นว่ามีปริมาณเท่าใด
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการบ่งชี้คุณลักษณะวิกฤต และคุณลักษณะที่สำคัญ
(Critical and Significant Characteristic)
3. เพื่อจัดลำดับความสำคัญกับการดำเนินการกับข้อบกพร่อง แนวโน้มหรือความไม่ถูกต้องจากการออกแบบ และกระบวนการผลิต
4. เพื่อให้วิศวกรได้มุ่งเน้นไปยังการกำจัดเหตุแห่งการบกพร่องทั้งที่เกิดขึ้นแล้วและยังไม่ได้เกิดขึ้น และป้องกันมิให้ปัญหาเกิดขึ้นซ้ำอีก

วิธีการจัดทำ FMEA

ในการดำเนินการจัดทำ FMEA ให้เกิดประสิทธิผลที่สุดจะต้องดำเนินการภายใต้ระยะเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุดเท่าที่จะสามารถกระทำได้ โดยมีขั้นตอนทั่วไปในการจัดทำ FMEA ดังนี้

1. การกำหนดกลยุทธ์ในการจัดทำ FMEA โดยพิจารณาจาก ประเด็นต่างๆดังนี้
   - มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีใหม่
   - ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอยู่ ได้รับการเปลี่ยนแปลงจากเดิมไปค่อนข้างมาก
   - มีปัญหาของกระบวนการเกิดขึ้นอย่างเรื้อรัง
   - มีการควบคุมการทำงานของพนักงานปฏิบัติค่อนข้างมาก

- มีความผันแปรค่อนข้างสูง

2. การทบทวนกระบวนการ ควรเริ่มต้นจากการทำกระบวนการให้อยู่ในรูปของแผนภาพแสดงการไหลของกระบวนการ และจากสิ่งนี้เองจะทำให้ทราบถึงกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอนตลอดจนความสัมพันธ์ของปัจจัยป้อนเข้า (Input) และผลผลิต (Output) ตลอดจนจุดวัดที่แต่ล่กระบวนการ

3. การระดมสมอง การระดมสมองนี้ ต้องตรวจสอบถึงความเข้าใจก่อนว่าสมาชิกในกลุ่มคณะทำงานมีความเข้าใจในหน้าที่ และแนวความคิดในการทำงานของกระบวนการแล้วหรือยัง เพื่อกำหนดแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure Mode) ซึ่งการดำเนินการนี้ควรให้สมาชิกทุกคนในคณะทำงานมีอิสระในการใช้ความคิดผ่านกระบวนการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ เพื่อกำหนดแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง

4. การวิเคราะห์ข้อบกพร่องของแต่ล่ะรายการ เริ่มจากพิจารณาถึงลูกค้า ที่หมายถึง กระบวนการถัดไปจนกระทั่งถึงผู้ใช้สุดท้าย แล้วพิจารณาข้อบกพร่องว่าส่งผลกระทบประการใดต่อลูกค้าโดยจะพิจารณาผลกระทบต่อความสามารถของกระบวนการสำหรับลูกค้าที่เป็นผู้ใช้สุดท้าย จะพิจารณาผลกระทบต่อประโยชน์ใช้สอยที่ลดลงที่ลูกค้าพึงได้รับจากผลิตภัณฑ์ และความรุนแรง (Severity-S) จากผลกระทบที่พิจารณานี้จะได้รับการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลูกค้าหรือเปลี่ยนแปลงการใช้งานเท่านั้น จากนั้นให้พิจารณาถึงสาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง โดยสาเหตุต้องมาจากการพิจารณาแนวความคิดในกระบวนการทำงาน และเมื่อทราบสาเหตุแล้ว จะพิจารณาถึงความเสี่ยง โดยประเมินถึงโอกาสเกิด (Occurrence - O) จากความเป็นไปได้ที่สาเหตุดังกล่าวจะเกิดขึ้น ซึ่งอาจผ่านการวิเคราะห์ความผันแปรเชิงสถิติ หรืออาศัยประสบการณ์ และความรู้จากผู้มีประสบการณ์ เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบและสาเหตุตามลำดับสุดท้ายของขั้นตอนนี้ จะพิจารณาถึงระบบการควบคุม กระบวนการที่ใช้ในปัจจุบัน (Current Control) เพื่อพิจารณาว่าระบบควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันมีความสามารถในลักษณะการบ่งชี้ข้อบกพร่องก่อนที่จะเกิดขึ้น จะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงความสามารถในการตรวจจับ (Detection –D) ของระบบ โดยผลการประเมินนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงระบบควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบันเท่านั้น

5. การประเมินตัวเลขแสดงความเสี่ยง ภายหลังจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ ให้ทำการประเมินผลค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาจากองค์ประกอบทั้ง 3 ประการ คือ ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (Severity-S) โอกาสในการเกิดสาเหตุ (Occurrence - O) และความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection –D)

$$RPN = S \times O \times D \qquad (2.1)$$

โดย RPN หมายถึง ตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number)

6. กำหนดมาตรการตอบโต้ เพื่อลดความเสี่ยงภายหลังจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงแล้วทำให้เลือกลักษณะข้อบกพร่อง ที่มีความรุนแรง หรือมีความเสี่ยงมากขึ้นมาพิจารณากำหนดมาตรการตอบโต้ โดยควรมาจากพื้นฐานของเทคโนยีเฉพาะด้าน และเมื่อกำหนดมาตรการตอบโต้แล้ว ให้กำหนดการปฏิบัติการ (Action) โดยดำเนินการให้อยู่ในรูปแบบคณะทำงานที่มีการมอบหมายอย่างเป็นทางการ

7. การประเมินความเสี่ยงภายหลังการตอบโต้ จะต้องทำการประเมินค่าความเสี่ยงในรูป RPN โดยอาศัยกฎเกณฑ์เดิมอีกครั้ง เพื่อพิจารณาค่าความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่อง

8. การติดตามและจัดทำมาตรฐาน เพื่อสร้างความมั่นใจว่ามาตรฐานการตอบโต้ที่กำหนดไว้ได้รับการนำไปปฏิบัติใช้อย่างมีประสิทธิผลหรือไม่ และถ้ามีประสิทธิผลดีแล้ว ก็ควรจะดำเนินการวิเคราะห์ FMEA อีก เพื่อความพยายามในการลดความเสี่ยงอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เทคนิค FMEA

สุนทร คำนวน [17]: การลดปริมาณชิ้นงานบกพร่องในกระบวนการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูปฝาประกบหลังแผ่นจานแม่เหล็ก (HDDs) ขนาด 3.5 นิ้ว โดยได้นำหลักการ FMEA มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเนื้องานไม่เต็ม หรือ Short Mold โดยสามารถสรุปค่าตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องจากนั้นนำมาจัดลำดับผ่านแผนภาพพาเรโต และจากการใช้กฎ 80:20 ในการตัดสินใจพบสาเหตุหลักของปัญหาที่มีความสำคัญมีเพียง 4 ปัจจัย (จากเดิมมีถึง 10 สาเหตุ) พบว่ามี 3 ปัจจัยหลัก คือ ความเร็วในการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูป อุณหภูมิน้ำหลอมอลูมิเนียมขึ้นรูป และความดันหล่อในการฉีดอลูมิเนียมขึ้นรูป จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่า FMEA ช่วยกรองปัจจัย ที่ส่งผลน้อยๆออกไปช่วยให้เข้าใกล้สาเหตุที่แท้จริง และมีผลดีในการนำข้อมูลไปออกแบบการทดลอง ซึ่งงานวิจัยที่จะทำการศึกษามีหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำ FMEA มาช่วยวิเคราะห์ เพื่อตัดปัจจัยที่ส่งผลกระทบน้อยๆออกไปก่อน

2.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองคือ กระบวนการในการวางแผนการทดลอง แล้วนำข้อมูลหรือผลการทดลองที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์เชิงสถิติ เพื่อหาข้อสรุป ช่วยให้สามารถหาสภาวะที่เหมาะสม หรือคำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง คือ การทดสอบว่าปัจจัย (Factor) หรือตัวแปรใดมีผลต่อผลตอบสนองโดยมีจุดมุ่งหมาย เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) และเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) การออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือที่สำคัญเกี่ยวกับงานทางด้านวิศวกรรมในการที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตในรูปแบบหรือลักษณะดังต่อไปนี้ [11, 12]

1. การเพิ่มผลผลิตให้กับกระบวนการ
2. การลดความผันแปรของกระบวนการ
3. ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษาและพัฒนา

ส่วนประกอบต่างๆของการทดลอง

1. ทรีทเมนต์ (Treament) เป็นวิธีที่ปฏิบัติกับสิ่งทดลองเพื่อเปรียบเทียบผล

2. หน่วยทดลอง (Experiment unit) คือมาตรฐาน หรือหน่วยที่ใช้วัดผลกระทบ หรืออิทธิพลของทรีทเมนต์

3. ปัจจัย (Factor) หรือตัวแปรอิสระ ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ที่มีความเกี่ยวข้องกัน แบ่งเป็น ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าได้ในการทดลอง และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าในการทดลองได้ เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆ เช่น ต้นทุน หรือเทคโนโลยี แบ่งเป็น ตัวแปรรบกวน (Noise variable) แม้จะเป็นตัวแปรที่มีผลต่อผลตอบสนอง แต่ไม่ใช่เป็นปัจจัยที่เราต้องการจะศึกษา เช่น เวลาเป็นต้น และ Nuisance variable เป็นตัวแปรที่มีผลต่อผลตอบสนองโดยที่เราไม่ทราบมาก่อน เราจะใช้การสุ่มเพื่อลดอิทธิพลของปัจจัยพวกนี้

4. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) หรือตัวแปรตาม คือตัวแปรที่ถูกสังเกตค่า หรือวัดค่าในการทดลอง หรือเป็นผลสะท้อนของตัวแปรอิสระในการทดลองอาจมีตัวแปรตอบสนองมากกว่าหนึ่งค่าก็ได้ ลักษณะของตัวแปรตามที่ดีจะต้องน่าเชื่อถือ

2.4.1 หลักการพื้นฐานในการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐานมีความสำคัญต่อการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการทดลองที่ได้ ทำให้การวิเคราะห์ และการสรุปผลถูกต้องแม่นยำ หลักการพื้นฐานแบ่งเป็น การสุ่ม (Randomization) การทำการทดลองซ้ำ (Replication) และการจัดกลุ่ม (Blocking)

1. การสุ่ม (Randomization) เป็นการทดลอง และเก็บข้อมูลแต่ละตัวในแบบที่เท่าๆกันเพื่อไม่ให้เกิดความลำเอียงจากผู้ทดลอง รวมทั้งเป็นการจัดให้แต่ละสภาวะของการทดลองเป็นไปอย่างทั่วถึง อีกทั้งยังเป็นการขจัดความผันแปรภายนอกที่ควบคุมไม่ได้อีกด้วย การทำสุ่มแบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ การทำสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization) การทำสุ่มอย่างง่าย (Simple randomization) และ การทำสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อค (Complete randomization with in blocks)

2. การทำการทดลองซ้ำ (Replication) จะทำให้ผู้ทดลองสามารถประเมินค่าความผิดพลาด หรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการทดลองได้ เพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไปว่าปัจจัยใดมีผลต่อกระบวน การบ้าง โดยจะต้องมีการกำหนดจำนวนที่จะทำซ้ำ และต้องทำอย่างอิสระต่อกัน จำนวนการทำซ้ำที่น้อย

เกินไปอาจส่งผลต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง แต่ถ้ามากเกินไปก็อาจทำให้เสียเวลา และค่าใช้จ่าย

3. การจัดกลุ่ม (Blocking) เพื่อให้ความแตกต่างภายในกลุ่มมีน้อยที่สุด แต่อาจมากขึ้นถ้าเทียบระหว่างกลุ่มก็เป็นไปได้ เนื่องจากบางครั้งเราไม่สามารถทำการทดลองโดยใช้วัตถุดิบ หรือวันเวลาเดียวกันได้ ซึ่งการจัดกลุ่มจะขึ้นอยู่กับข้อจำกัดที่เกิดขึ้นเฉพาะการทดลองนั้นๆ

2.4.2 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

เป็นการวิเคราะห์ปัญหาโดยการหาตัวแปรอิสระที่มีผลต่อการทดลองหรือความแปรปรวนของผลตอบสนอง ซึ่งจะต้องมีความเข้าใจพื้นฐานทางสถิติ ความเข้าใจในงานที่กำลังจะศึกษา และการทำงานร่วมกันเป็นทีม โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา (Identify problem) เพื่อชี้วัดว่าเราต้องการอะไรหรือต้องการรู้อะไรจากการทดลองนั้นจะต้องมีความชัดเจนในเรื่องของการ กำหนดปัญหาเสียก่อน และจะต้องเชื่อมโยงไปถึงจุดประสงค์ของการทดลองด้วย

2. กำหนดปัจจัย (Define Variable) และระดับของปัจจัย (Level) เป็นการระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการทดลอง ส่วนใหญ่แล้วในการออกแบบบการทดลองจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาปัจจัยหลายๆ อย่างพร้อมกัน บางครั้งผู้ทดลองไม่สามารถรู้ผลกระทบของปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบสนองได้ จึงต้องมีการกลั่นกรองตัวแปรต่างๆที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนองออกมา แบ่งเป็นตัวแปรต้น หรือปัจจัย (Factor) ซึ่งรวมถึงสภาวะต่างๆที่เป็นไปได้ของปัจจัย เรียกว่าระดับของปัจจัย (Level) และตัวแปรตาม หรือผลตอบสนอง โดยจะต้องมีการพิจารณาถึงผลกระทบร่วมของปัจจัยในกรณีที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัย ในส่วนของปัจจัยหลัก และปัจจัยควบคุมที่มีค่าคงที่ เนื่องจากมีค่าที่แน่นอน โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ และ 3 ระดับ โดยที่ในแบบ 2 ระดับจะกำหนดปัจจัยนอกช่วงใช้งานปกติ คือน้อยกว่าค่าต่ำสุดและมากกว่าค่าสูงสุด ใช้สัญลักษณ์เป็น ค่าสูงสุด (+) และค่าต่ำสุด (-) สำหรับการกำหนดปัจจัยแบบ 3 ระดับ จะมีการเพิ่มระดับกลางเข้าไปเพื่อใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตด้วย

3. การเลือกตัวแปรตอบสนองจะต้องมีการเลือกตัวแปรตอบสนองที่มีประโยชน์และแสดงถึงความสัมพันธ์กับกระบวนการที่เราต้องการจะศึกษา ตัวแปรตอบสนองอาจมีค่าเดียวหรือหลายค่าก็ได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการทดลอง ทั้งนี้จะต้องคำนึงถึงสิ่งที่จะใช้เป็นตัววัด หรือทำให้ได้มาซึ่งค่าของตัวแปรตอบสนองด้วย เพราะความแม่นยำของการวัดจะส่งผลต่อผลการทดลองที่น่าเชื่อถือ

4. การเลือกแบบการทดลอง (Select design) ขึ้นอยู่กับจำนวนปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลตอบสนองโดยจะต้องมีการกำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการในแต่ละระดับ กำหนดรูปแบบในการทดลอง วิธีการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งโดยปกติแล้ว ถ้าจำนวนปัจจัยที่มากกว่า 1 แต่ไม่เกิน 5 จะใช้วิธีการออกแบบการ

ทด ลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial design) นอกจากนี้ยังต้องมีการวางแผน เกี่ยวกับ จำนวน ครั้งที่จะทำ การทดลองซ้ำ เพราะมีผลต่อความแปรผันของข้อมูล ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติของการทดลอง แต่ต้องระวังผลกระทบและค่าใช้จ่ายด้วย

5. ทำการทดลอง (Perform experiment) ต้องมีการติดตามการทดลองอยู่ตลอดเวลา เพื่อลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้อง และความสม่ำเสมอเพื่อให้ผลที่ได้มีความแม่นยำมากที่สุด

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical analysis of the data) การเก็บและจัดระบบข้อมูลที่ดีจะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ โดยการวิเคราะห์นั้นจะใช้พื้นฐานความรู้ทางสถิติเข้ามาช่วยในการทดสอบค่าที่เหมาะสม อย่างเช่น การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเพื่อเป็นแนวทางของการปรับปรุง และพัฒนาในการใช้งานจริง

7. การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ (Conclusions and recommendation) ต้องมีการสรุปผลที่ได้จากการทดลอง รวมถึงอาจมีข้อปรับปรุงหรือเสนอแนะ ที่ได้จากการทดลองก็จะเป็นประโยชน์ต่อการทดลองในครั้งต่อไป

2.4.3 ชนิดของการออกแบบการทดลอง

1. การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)

การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียวจะต้องเก็บข้อมูลโดยระดับของปัจจัยเพื่อทดสอบว่าระดับของปัจจัยต่างๆ มีผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ โดยการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียวสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1.1 การออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design : CRD) เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด เหมาะกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่า หน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้น มีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลอง นี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมด เนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกว่า ข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One-way Classification)

1.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Ramdomized Complete Block Design : RCBD)

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกเป็นวิธีการหนึ่งในหลายๆวิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two- Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการ คือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกัน จึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่บล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกกำลังสองได้

2. การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design: FD)

เป็นแผนการทดลองสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ขึ้นไป โดยปัจจัยหนึ่งๆที่มีทำให้ผลตอบสนองมีการเปลี่ยนแปลง เรียกว่า มีอิทธิพลจากปัจจัยหลัก (Main Effect) แต่ถ้าผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่น เรียกว่า มีอัตรกิริยา (Interaction) ต่อกัน จึงต้องมีการศึกษาผลของแต่ละปัจจัยไปพร้อมๆกัน คำว่า แฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่มีความสมบูรณ์ในแต่ละการทำซ้ำของการทดลองโดยต้องทำการทดลองทุกระดับของปัจจัย เพื่อให้สามารถหาอิทธิพลต่างๆที่เกิดกับการทดลอง สามารถแบ่งได้เป็น

1. อิทธิพลหลัก (Main Effect) ผลต่อตัวแปรตอบสนองที่เปลี่ยนไป เกิดจากอิทธิพลที่ตัวปัจจัยนั้นๆเอง

2. อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งจะเปลี่ยนไป เมื่อปัจจัยร่วมเปลี่ยนแปลง

ผลที่เกิดจากปัจจัยนั้นจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ผลตอบสนอง เกิดจากการเปลี่ยนปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งจะเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) และหากความแตกต่างของผลตอบสนองที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆของปัจจัยหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ซึ่งเรียกว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction Effect) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยค่าที่จุดต่างๆ คือ ตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัว คือ A และ B โดยแต่ล่ะปัจจัยมี 2 ระดับ คือ – หรือ Low และ + หรือ High

ประโยชน์ของการออกแบบแฟคทอเรียล คือ ผลการทดลองได้ทั้งผลหลัก (Main Effect) และยังให้ผลที่เกี่ยวกับอันตรกิริยา (Interaction Effect) ซึ่งมีความสำคัญมาก และไม่สามารถหาค่าได้จากการทดลองแบบเปรียบเทียบอย่างง่าย และการทดลองทีละปัจจัย ซึ่งหากมีการละเลยผลของอันตรกิริยาอาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาด

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล แบบ 2 ปัจจัย ดังแสดงดังสมการ (2.2) โดยปัจจัย A มี a ระดับ ปัจจัย B มี b ระดับ เมื่อนำระดับของปัจจัยมาจัดกลุ่มกันจะได้จำนวนการทดลองที่เป็นไปได้ทั้งหมด ab กลุ่ม หรือ ab ทรีทเมนต์ และถ้าแต่ละทรีทเมนต์มีจำนวนการทำซ้ำเท่ากับ n จะได้จำนวนหน่วยทดลองเท่ากับ abn

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \qquad (2.2)$$

โดยที่ $i = 1, 2,\ldots, a$ $j = 1, 2,\ldots, b$ $k = 1, 2,\ldots, n$

เมื่อ y_{ijk} คือ ค่าตัวแปรตอบสนอง ที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i ปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j และทำการทดลองซ้ำที่ k

μ คือ อิทธิพลของค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของระดับ i ของปัจจัย A

β_j คือ อิทธิพลของระดับ j ของปัจจัย B

ε_{ijk} คือ ค่าที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของความผิดพลาดแบบสุ่ม

2.5 หลักการทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

2.5.1 การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis) [7]

เป็นกระบวนการตัดสินใจ เพื่อยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่อธิบายสภาวะที่เกิดขึ้นจริง และเรียกข้อความที่แสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่หมายถึง สภาวะที่เกิดขึ้นจริงว่า สมมุติฐานเชิงสถิติ (Statistical Hypothesis) ได้แก่ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis; H_0) และสมมติฐานอื่น (Alternative Hypothesis; H_1) โดยสมมติฐานหลัก คือ สมมติฐานที่เชื่อว่าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นจริง และต้องทำการทดสอบเพื่อที่จะปฏิเสธสมมติฐานนี้ ส่วนสมมติฐานอื่น คือ สภาวะที่ต้องการยืนยันด้วยเหตุผล และการตัดสินใจแบบทดสอบสมมติฐานนี้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ 2 ชนิด คือ

1. ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมติฐานหลักถูกต้องอยู่แล้ว เรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Significant Level) แทนด้วยสัญลักษณ์ α

2. ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) เป็นความผิดพลาดที่เกิดจากการไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทั้งที่ในความเป็นจริงสมมติฐานหลักไม่ถูกต้องแทนด้วยสัญลักษณ์ β และ $1-\beta$ คือ อำนาจในการทดสอบ (Power of Test) ในการทดสอบสมมติฐานนั้นต้องออกแบบวิธีการตัดสินใจให้มีระดับนัยสำคัญคงที่ และมีค่าต่ำๆ เช่น 0.05 หรือ 0.1 และให้อำนาจในการทดสอบมีค่า สูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเลือก H_1 ต้องกระทำอย่างมีเหตุผลรองรับที่ชัดเจนจริงๆ ซึ่งเรียกว่า การตัดสินใจแบบยืนยัน (Strong Conclusion) ซึ่งในการตัดสินใจโดยการทดสอบสมมติฐานสามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1 ตั้งสมมติฐานตามสิ่งที่ต้องการทดสอบ

1.2 กำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์ รวมถึงการแจกแจงของตัวสถิติดังกล่าว ซึ่งอธิบายขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างเงื่อนไขของการทดลอง (Reproducibility) และกำหนดช่วงการปฏิเสธ และการยอมรับภายใต้ค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

1.3 ออกแบบการทดลอง ด้วยการกำหนดขนาดตัวอย่างโดยให้อำนาจในการทดสอบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

1.4 ดำเนินการทดลองตามที่ออกแบบไว้

1.5 ตัดสินใจตามวิธีการตัดสินใจที่กำหนดโดยหากข้อมูลอยู่ภายในช่วงการยอมรับให้สรุปว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐาน เนื่องข้อมูลอยู่ภายในช่วงความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุธรรมชาติ แต่หากข้อมูลอยู่ในช่วงการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมติฐาน

หลังจากที่ได้มีการออกแบบและทดลองได้ผลออกมา เพื่อดูว่านัยสำคัญทางสถิติ หรือ ค่า P-Value เพื่อที่จะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลโดยดูจากความแตกต่างที่ออกมาในรูปของความแปรปรวน หรือความแปรผันที่เกิดเองตามธรรมชาติของข้อมูล โดยใช้ลักษณะของการเปรียบเทียบ ดังนี้

ค่า P-Value น้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ค่า P-Value มากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

โดยที่กำหนดให้ α มีค่าเท่ากับ 0.05

2.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) [11, 12]

เป็นวิธีการที่ใช้ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของประชากรหลายๆกลุ่มจะอาศัยวิธีการที่เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยใช้หลักการแบ่งแยกความแปรปรวน หรือความผันแปรออกเป็นส่วนๆ ตามสาเหตุที่ก่อให้เกิดความผันแปรนั้น โดยนำค่าของผลรวมกำลังสอง (Sum Squares; SS) ที่คำนวณความแปรปรวนมาพิจารณา ซึ่งความผันแปรจากแหล่งที่ 1, 2, 3, …, a เป็นความผันแปรระหว่างกลุ่มที่เกิดจากปัจจัยที่ศึกษา ส่วนผลรวมกำลังสองของความผิดพลาด (Sum Squares of Error) เป็นความผันแปรที่ไม่อาจควบคุมได้ โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Sequare	F_0
Between Treatment	SS_{Tr}	a-1	$MS_{Treatment}$	$MS_{Treatment} / MS_E$
Error (within treatments)	SS_E	N-a	MS_E	
Total	SS_T	N-1		

Source of Variation หมายถึง แหล่งความผันแปร

Sum of Squares หมายถึง ผลรวมของกำลังสองเบี่ยงเบน

Degree of Freedom หมายถึง องศาอิสระ

Mean Sequare หมายถึง ค่าเฉลี่ยของผลรวมของกำลังสอง

หลังจากได้ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว ต้องทำการสรุปผล โดยการนำค่าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่า F_α โดย

ถ้า $F > F_\alpha$ ยอมรับอิทธิพลของปัจจัย

ถ้า $F \leq F_\alpha$ ปฏิเสธอิทธิพลของปัจจัย

2.5.3 การหาค่า P-Value [11, 12]

โดยทั่วไปเมื่อต้องการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานนั้น สิ่งที่สนใจ คือ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) จะถูกยอมรับ หรือปฏิเสธ ถ้าถูกยอมรับ หมายถึง สมมติฐานเป็นจริง และถ้าถูกปฏิเสธ หมายถึง สมมติฐานนั้นไม่เป็นจริง จึงมีการกำหนด ค่าระดับนัยสำคัญ เพื่อที่จะบอก ยอมรับ หรือ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก เรียกว่า Probability Value (P-Value) ค่า P-Value นี้ จะอ้างอิงอยู่กับ α โดยที่ P-Value คือ ค่าจริง (Actual) ของ Probability ซึ่งได้จากการคำนวณ ส่วน ค่า α คือเส้นกำหนด หรือ จุดแบ่งระหว่าง การยอมรับ หรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งก็คือ Probability เหมือนกันโดยจะยอมรับ สมมติฐานหลัก ถ้า P-Value มากกว่า α และปฏิเสธ ถ้า P-Value น้อยกว่า α

2.5.4 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูล [8]

การใช้ข้อมูลเพื่ออธิบาย และการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้น ข้อมูลจำเป็นต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนด คือ ความปกติของข้อมูล (Normal) ความสุ่ม หรือความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) และความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องทำการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อสรุปการยอมรับ หรือการปฏิเสธสมมติฐาน หากแบบจำลองไม่มีความถูกต้องแล้วจะถือว่าข้อมูลไม่มีความเหมาะสม และไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองจะดำเนินการผ่านการทดสอบเศษเหลือ (Residual) ของข้อมูลซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ e_{ij} หมายถึง สำหรับข้อมูลที่ j ของระดับปัจจัย i โดย

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \tag{2.3}$$

เมื่อ $\hat{y}_{ij}$ คือ ค่าประมาณ (Fit) ของข้อมูล y_{ij} ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\bar{y}_{i.}$ หมายความว่า ค่าประมาณของข้อมูลในระดับปัจจัยที่ i คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระดับปัจจัยนั้นๆ การทดสอบข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์มีวิธีการดังนี้

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล (Run Test) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือ และเวลาหรือลำดับข้อมูลในการพิจารณา หากข้อมูลมีความสุ่มแล้วจะต้องไม่มีลักษณะเป็นจุดต่อเนื่อง (Run) แนวโน้ม (Trend) และวัฏจักร (Cycle)

2. กราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) เป็นกราฟที่พล็อตระหว่างข้อมูลที่นำมาพิจารณา กับความถี่สะสมในสเกลของการแจกแจงปกติ และนำมาใช้ตรวจสอบความเป็นปกติ (Normal) ของข้อมูล หากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติแล้ว กราฟจะให้ข้อมูลที่มีลักษณะการเรียงตัวใกล้เคียงเส้นตรง

3. การทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Test for Equal Variance) จะใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Residual และ Fit ในการพิจารณาความเสถียรของความแปรปรวน หากความแปรปรวนมีความเสถียรแล้ว การกระจายตัวของค่า Residual ที่เหนือ และใต้เส้น 0 ควรมีขนาดใกล้เคียงกัน

งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้การออกแบบการทดลอง

นภาศิริ โรจนะชีวะ [16]: งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการผลิตมอเตอร์พัดลม เพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการผลิตให้ลดลงมากว่าร้อยละ 20 ของปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นในปัจจุบันซึ่งมีความบกพร่องอยู่ที่ร้อยละ 4.55 ของปริมาณมอเตอร์ที่ผลิต จากข้อมูลพบว่าความบก

พร่องของมอเตอร์ คือ อาการเสียงดังของชุดเกียร์ที่เกิดจากการขบกันอย่างไม่พอดีของเฟืองภายในเป็นปัญหามากที่สุด งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการลดความบกพร่องของเฟืองโดยใช้เทคนิคทางสถิติและการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับควบคุมกระบวนการ โดยนำปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหา คือ ความเร็วฉีด ความดันฉีดย้ำ และความดันอัดปิดแม่พิมพ์ มาทำการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลแบบมีจุดกลาง จากผลการทดสอบพบว่าระดับปัจจัยที่มีผลให้เกิดการเสียรูปของเฟืองน้อยที่สุด คือ ความเร็วฉีด 70 เมตร/วินาที ความดันฉีดย้ำ 45 ตัน และความดันอัดปิดแม่พิมพ์ 100 ตัน จากการติดตามผลการปรับค่าปัจจัย พบว่าผลิตภัณฑ์บกพร่องของเฟืองลดลง จากก่อนการปรับปรุงที่มีสัดส่วนเป็นร้อยละ 4.83 เหลือเพียงร้อยละ 2.43 จากนั้นจึงไปติดตามผลในส่วนของสายการผลิตมอเตอร์ลดลงร้อยละ 4.55 เหลือเพียงร้อยละ 3.32 ของมอเตอร์ที่ผลิตทั้งหมด โดยคิดเป็นสัดส่วนการลดลงร้อยละ 27.03 ซึ่งถือว่าบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ จากงานวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยได้แนวคิดในการออกแบบการทดลอง ว่าควรกระทำแบบไหนจึงจะบรรลุวัตถุประสงค์

2.5.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัดมีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออก และเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่ควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด โดยมีหลักการสำคัญ ดังนี้ [10]

1. แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด จุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออกและเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ทั้งนี้ด้วยการดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานเดียวกัน จากนั้นให้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ โดยการสอบเทียบนี้หมายถึง วิธีการในการถ่ายค่ามาตรฐานของค่าวัดจากมาตรฐานที่สูงกว่า โดยระบบการสอบเทียบดังกล่าวนี้ต้องสามรถสอบกลับได้ (Traceability) โดยการสอบกลับได้จะมีความหมายถึง ความสามารถต่อการกำหนดความสัมพันธ์ของค่าวัดแต่ละค่ากับมาตรฐานแห่งชาติหรือมาตรฐานระหว่างประเทศที่ได้รับการยอมรับ ความคลาดเคลื่อนของค่าวัดแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความผิดพลาด ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ และความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

2. คุณภาพของข้อมูลจากระบบการวัด ถือเป็นเงื่อนไขจำเป็นสำหรับการนำข้อมูลจากระบบการวัด หนึ่งๆ ไปประเมินผลระบบการวัด ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติหลัก 2 ประการ คือ ความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Discrimination) และคุณสมบัติด้านความสุ่มของข้อมูลวัดในการประเมินผล

ระบบการวัดนี้ มีความจำเป็นต้องดำเนินการทดสอบคุณสมบัติสองประการดังกล่าวแล้วดำเนินการแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนการประเมินผลระบบการวัด

3. การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด ในการวิเคราะห์ระบบการวัดทางด้านความถูกต้องมี การพิจารณา 3 ประเด็น คือ คุณสมบัติด้านไบอัส คุณสมบัติด้านมีความเสถียรภาพของระบบมีการวัดและคุณสมบัติเชิงเส้นตรง โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งสามประการนี้จำเป็นต้องกำหนดค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์ให้กับงานมาตรฐาน เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัด หรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงถึงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่ คุณสมบัติแม่นยำ จำแนก 2 ประภท ได้แก่

- รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) คือ ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน
- รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) คือ ความแตกต่างของระบบการวัดที่เงื่อนไขแตกต่างกัน

5. การประมาณผลกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับ เป็นการประเมินความสามารถของระบบการวัด เมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการนับ ซึ่งเป็นการประเมินผลข้อมูลเชิงคุณลักษณะหรือเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristic) เช่น รสชาด ความเรียบร้อย สวยงาม หรือการประเมิน ผ่าน/ ไม่ผ่าน ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดนี้ สามารถแบ่งเป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลในระยะสั้นและวิธีการประเมินผลในระยะยาว โดยงานวิจัยนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะวิธีการประเมินผลในระยะสั้น โดยแนวความคิดจะอาศัยการจำแนกชักสิ่งตัวอย่าง งานที่มีทั้งลักษณะดี ไม่ดี และก้ำกึ่งในจำนวนที่เหมาะสมแล้วให้พนักงานที่สุ่มมาหรือกำหนดไว้ล่วงหน้าทำการตรวจสอบ เพื่อจำแนกผลการตรวจสอบเป็นผ่าน และไม่ผ่าน จากนั้นจะพิจารณาว่าผลการตรวจสอบซ้ำมีคุณภาพตรงกับคุณภาพที่แท้จริงของสิ่งตัวอย่างหรือไม่ ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะบ่งบอกถึง “ความถูกต้อง” ในการตรวจสอบ

2.6 สรุป

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้มีความรู้ เกี่ยวกับความสำคัญ และหลักการทำงานของแขนจับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ กาวที่ใช้ในการเชื่อมติดอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้าเป็นของเหลวที่มีความหนืด เป็น ความหนืดชนิดไดนามิก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดได้แก่ อุณหภูมิ โดยความหนืดจะเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดของของเหลวจะลดลง โดยทั่วไปอุณหภูมิที่ต่างกัน 1 °C จะทำให้ความหนืดเปลี่ยนไป 1-10% ความดัน การเปลี่ยนแปลงความดันจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดเช่นกัน โดยปกติที่ความดันสูงๆจะทำให้ปริมาตรอิสระลดลง ทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้น และ

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยการใช้แผนภาพก้างปลาร่วมกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อเลือกปัญหาที่ส่งผลกระทบรุนแรงมาทำการหาแนวทางแก้ไขเป็นลำดับแรก จากนั้นก็ออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการทำการผลิตให้เกิดของเสียน้อยสุดโดยต้อง ระบุปัจจัย ระดับของปัจจัย และผลตอบสนองที่ต้องการศึกษาให้ชัดเจน เพื่อความถูกต้องในการเลือกแบบการทดลอง และการสรุปผลที่ถูกต้อง หลังได้ผลการทดลอง ก็ต้องประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติช่วยวิเคราะห์ผลการทดลอง

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

$ในการทำวิจัยเรื่อง การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการหยอดกาวสำหรับแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ เพื่อลดการเกิดโพรงอากาศ จำเป็นต้องเข้าใจถึงสภาพของปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา และวิธีการดำเนินการวิจัย เพื่อที่จะได้มีแนวทางในการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม โดยการนำหลักการทางสถิติ ความรู้ที่ได้จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่กำลังศึกษา โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานที่สำคัญดังนี้

3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

เป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ ไดร์ฟ ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมไฮเทค มีพนักงานประมาณ 1,000 คน โรงงานมีนโยบายหลักที่จะลดการพึ่งพาแรงงานคนจึงมีการผลิตแบบกึ่งอัตโนมัติ และอัตโนมัติ

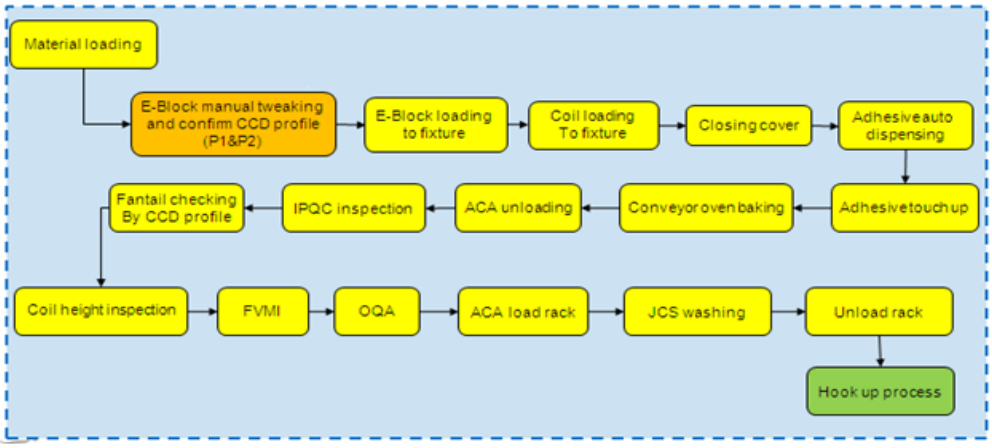
ผลิตภัณฑ์ของโรงงาน คือ แขนจับหัวอ่าน โดยมี 2 ผลิตภัณฑ์ หลัก

1. ผลิตภัณฑ์ขนาด 2.5 นิ้ว สำหรับ โน้ตบุ๊ก
2. ผลิตภัณฑ์ขนาด 3.5 นิ้ว สำหรับ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไป

3.2 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันที่กระบวนการหยอดกาว

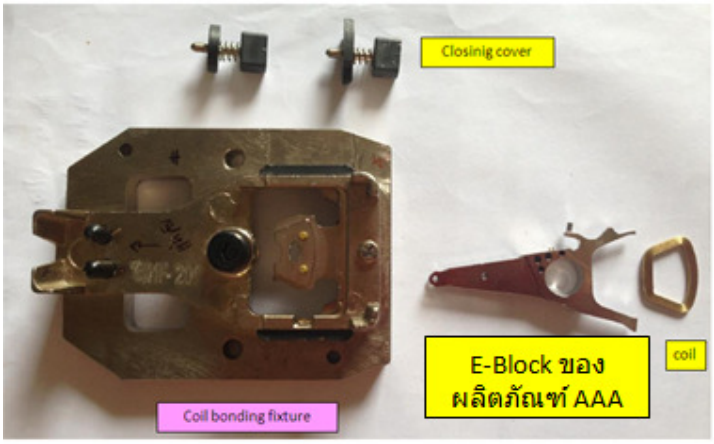
3.2.1 กระบวนประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูปเข้ากับขดลวดนำไฟฟ้าเป็นแขนจับหัวอ่าน

โดยกระบวนประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูปเข้ากับขดลวดนำไฟฟ้าเป็นแขนจับหัวอ่านสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยได้ ดังรูปที่ 3.1

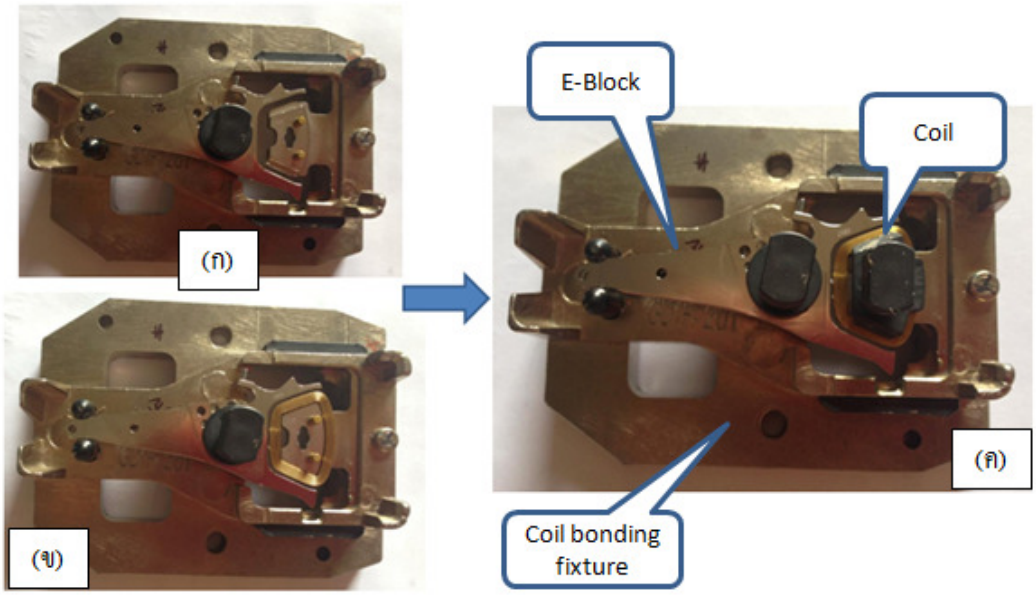


รูปที่ 3.1 กระบวนการประกอบ อลูมิเนียมขึ้นรูปเข้ากับขดลวดนำไฟฟ้าเป็นแขนจับหัวอ่าน

- **E-block and coil loading to fixture** คือ เป็นการนำอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้าประกอบเข้ากับ Fixture ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 Coil bonding fixture, closing cover (ตัวล็อค Fixture) อลูมิเนียมขึ้นรูป (E-block) และขดลวดนำไฟฟ้า (Coil)



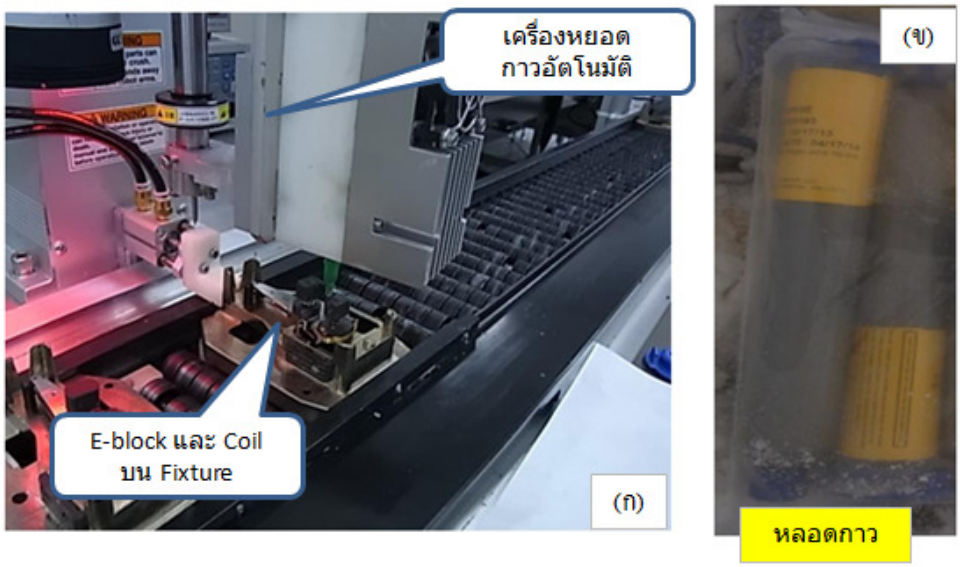
รูปที่ 3.3 การประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้า เข้ากับ Coil bonding fixture

(ก) ประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูป (E-Block) เข้ากับ Coil bonding fixture

(ข) ประกอบขดลวดนำไฟฟ้า (Coil) เข้ากับ Coil bonding fixture

(ค) อลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้าที่ประกอบบน Fixture ที่พร้อมนำเข้าเครื่องหยอดกาว

- **Adhesive auto dispensing** คือ ทำการหยอดกาวโดยเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติเพื่อให้อลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้ายึดติดกัน ดังรูปที่ 3.4

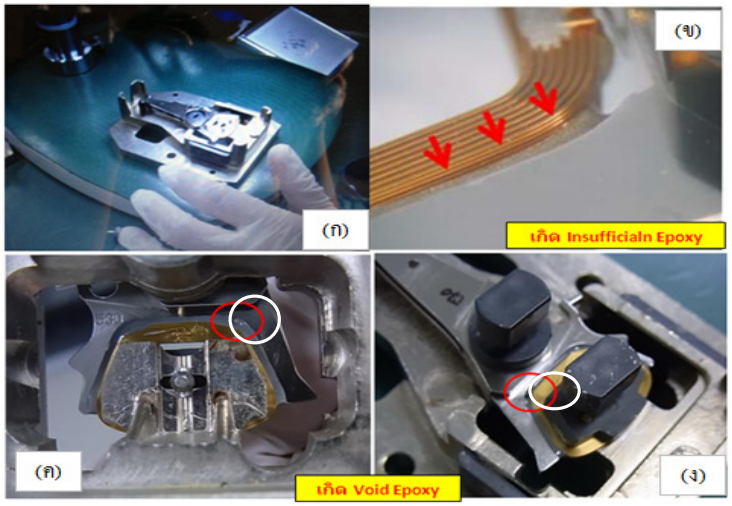


รูปที่ 3.4 การหยอดกาวโดยเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ

(ก) เครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ อลูมิเนียมขึ้นรูป (E-block) และขดลวดนำไฟฟ้า (Coil) ประกอบเข้ากับ Coil bonding fixture

(ข) กาวที่ใช้ยึดอลูมิเนียมขึ้นรูป (E-Block) และขดลวดนำไฟฟ้า (Coil) เข้าด้วยกัน

- **Adhesive touch up** คือ พนักงานทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของกาว และทำการซ่อมโดยการเติมกาว กรณีกาวไม่เพียงพอ หรือทำการปาดกาวออก กรณีกาวมากเกินไป ดังรูปที่ 3.5



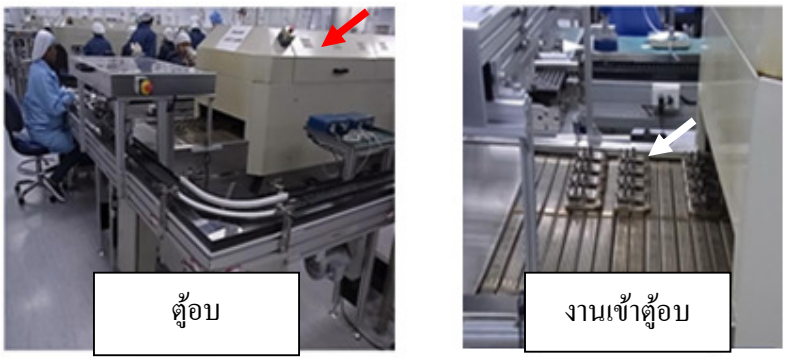
รูปที่ 3.5 พนักงานตรวจสอบความสมบูรณ์ของกาว และซ่อมงาน

(ก) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของกาวด้วยกล้องไมโครสโคป

(ข) เกิดกาวไม่เพียงพอในการยึด E-block และ Coil เข้าด้วยกัน

(ค) และ (ง) เกิดโพรงอากาศ หรือ Void Epoxy

- **Conveyor oven baking** คือ นำงานเข้าตู้อบเพื่ออบให้กาวแห้ง ดังรูปที่ 3.6



(ก) (ข)

รูปที่ 3.6 นำงานเข้าตู้อบ เพื่อให้กาวแห้ง (ก) ตู้อบ (ข) งานเข้าตู้อบ

- **ACA unloading** คือ นำแขนจับหัวอ่านออกจาก Fixture

(ACA มาจาก Actuator arm Coil Assembly หรือ การประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้าเป็นแขนจับหัวอ่าน)

- IPQC Inspection คือ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่ทำการสุ่มตรวจสอบคุณภาพงานระหว่าง

กระบวนการผลิต

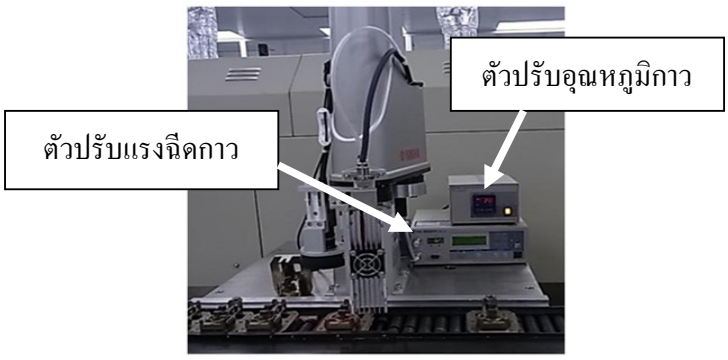
- Fantail checking by CCD profile คือ ทำการตรวจสอบขนาดที่กำหนดตามแบบด้วยเครื่อง CCD
- Coil height checking คือ ทำการตรวจเช็คความสูงของขดลวดนำไฟฟ้า
- Final inspection คือ ทำการตรวจสอบงานด้วยกล้องไมโครสโคปโดยตรวจทุกปัญหาข้อบกพร่อง
- OQA คือ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่สุ่มตรวจสอบคุณภาพงานสำเร็จรูปที่ท้ายสายการผลิต
- ล้างทำความสะอาดงาน
- ส่งต่อไปประกอบเป็นชุดแขนจับหัวอ่าน

3.2.2 หลักการและข้อกำหนดของการหยอดกาว

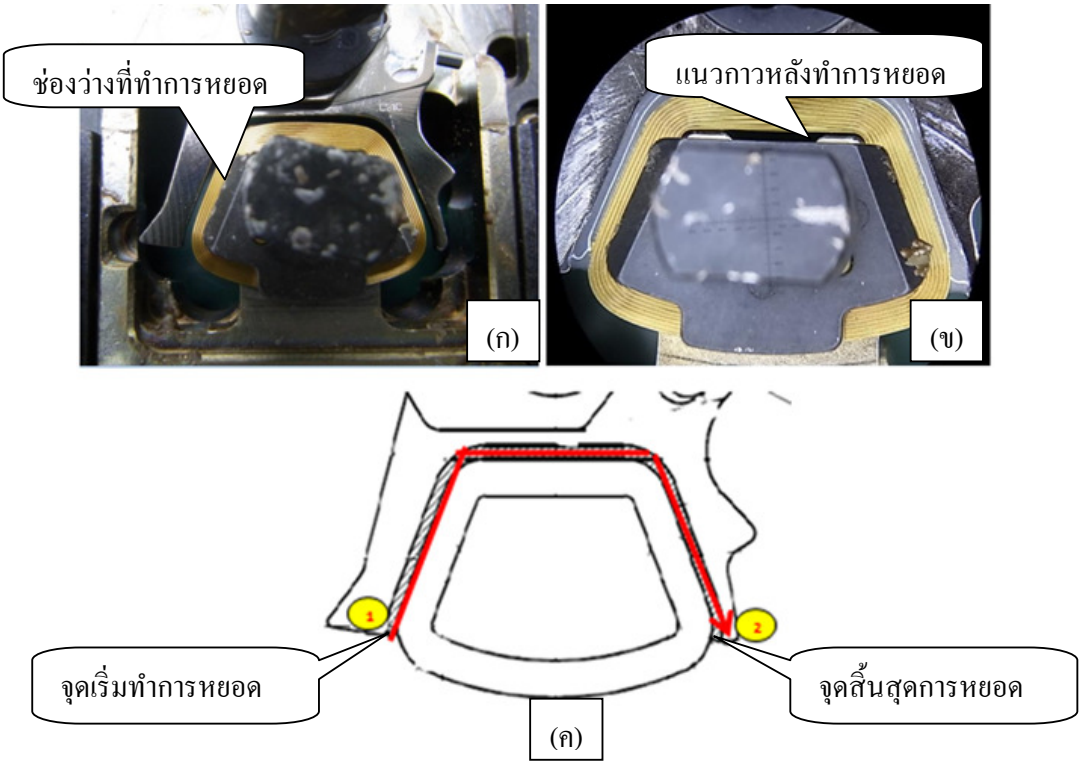
หลักการและข้อกำหนดของการหยอดกาวเพื่อให้ได้แขนจับหัวอ่านที่มีคุณภาพต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆให้เหมาะสม โดยมีปัจจัยที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. ขนาดของอลูมิเนียมขึ้นรูปและขนาดของขดลวดนำไฟฟ้าต้องควบคุมให้ได้ขนาดตามแบบที่กำหนด
2. ชนิดและขนาดของหัวฉีดกาว ซึ่งมีผลต่อปริมาณกาวที่ออกมาทั้งนี้ได้ถูกกำหนดไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.97 mm.
3. ระยะห่างของหัวฉีดกาวจากผิวและช่องว่างระหว่างอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้าต้องวางตัวในตำแหน่งที่เหมาะสมเพราะอาจชนกับอลูมิเนียมขึ้นรูปในจังหวะเคลื่อนออก เมื่อทำการหยอดกาวเสร็จ และมีผลต่อการไหลของกาวในช่องว่างลงไปด้านล่างของช่องว่าง
4. ทำการหยอดกาวด้วยเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.7 โดยทำการหยอดกาวเพื่อปิดช่องว่าง ระหว่างอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.8 (ก) มีแนวกาวหลังทำการหยอดและเส้นทางการหยอดกาวดังรูปที่ 3.8 (ข) และ(ค) ทั้งนี้การหยอดกาวทำการหยอดจากด้าน Non -Datum ดังรูปที่ 3.9 (ก)
5. ในงานวิจัยนี้ เวลาในการฉีดกาว ได้มีการกำหนดให้คงที่ ที่ 6.5 วินาทีต่อชิ้น เนื่องจากมีผลต่ออัตราการผลิต (เป็นค่าที่ใช้อยู่งานอยู่แล้ว)
6. แรงดันกาว และอุณหภูมิกาว ซึ่งการทำงานในปัจจุบันได้มีการปรับค่าเป็นระยะเมื่อมีการแจ้งปัญหางานจากพนักงานตรวจสอบหลังเครื่องหยอดกาว
7. Coil bonding fixture ได้มีการกำหนดแบบ และวัสดุที่นำมาผลิต เนื่องจากมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนไปยังอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้า

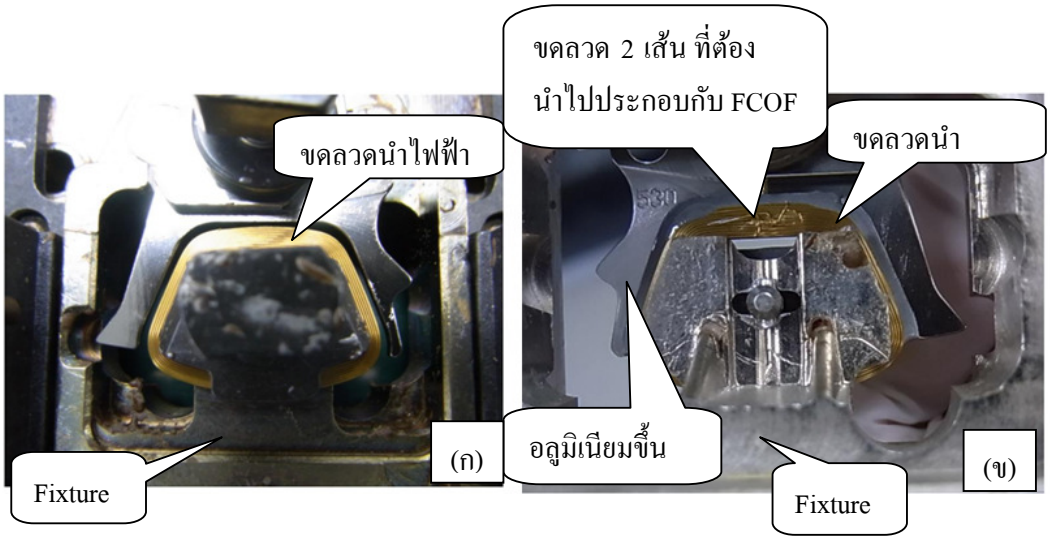
8. ชนิดและคุณสมบัติของกาว ซึ่งถูกกำหนดและอนุมัติโดยลูกค้า กาวที่ใช้หยอดปิดช่องว่างระหว่างผนังอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้า มีความหนืดชนิดไดนามิก และค่าความหนืดอยู่ในช่วง 20,000 ~40,000 mPa. s



รูปที่ 3.7 ชุดเครื่องหยอดกาวอัตโนมัติ



รูปที่ 3.8 (ก) ช่องว่างที่ทำการหยอดกาว (ข) แนวกาวหลังทำการหยอดกาว
(ค) เส้นทางการหยอดกาวจะเริ่มจากจุดที่ 1 ไปสิ้นสุด 2



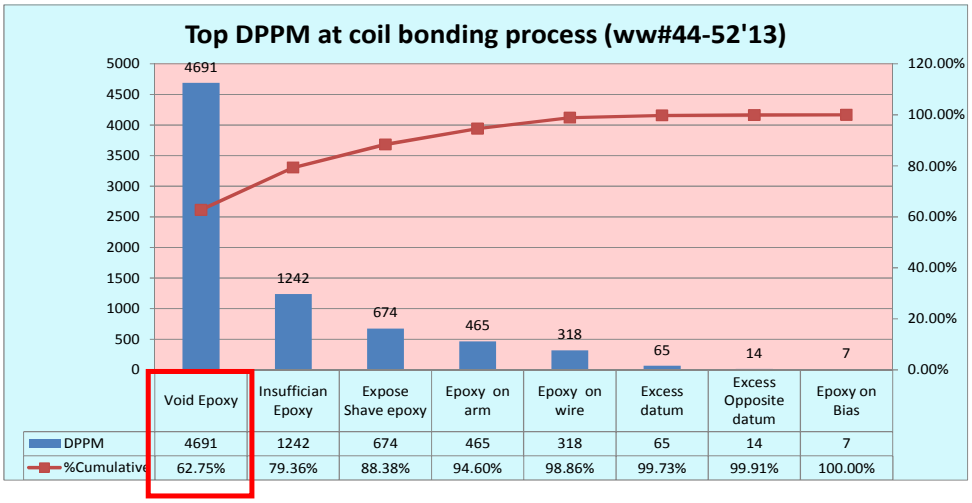
รูปที่ 3.9 อลูมิเนียมขึ้นรูป และขดลวดนำไฟฟ้า บน Fixture

(ก) ด้าน Non Datum ซึ่งการหยอดกาวจะทำที่ด้านนี้

(ข) ด้าน Datum (จะมี ขดลวด 2 เส้น ที่ต้องนำไปประกอบต่อกับชิ้นส่วนอื่นของชุดแขนจับหัวอ่าน)

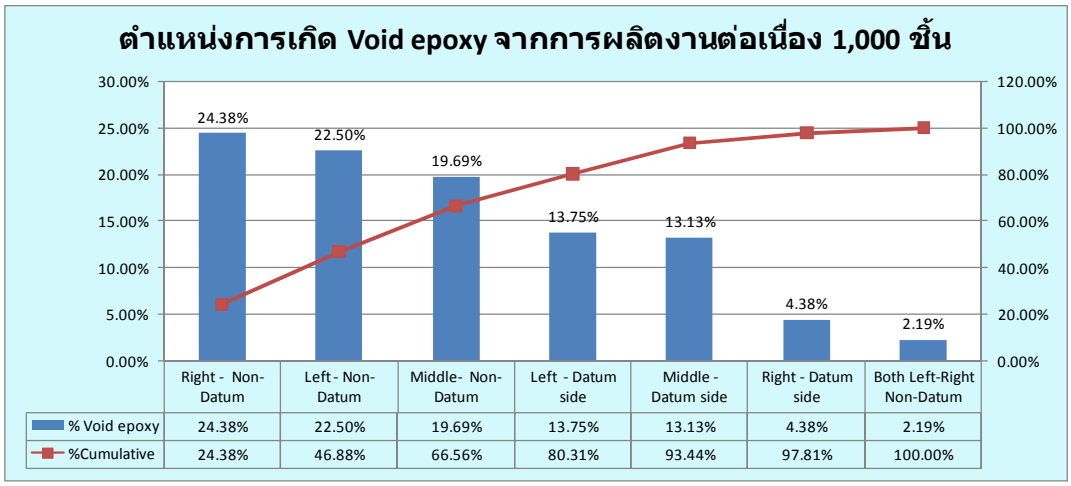
3.2.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน

บริษัทกรณีศึกษาประสบปัญหาหลายด้านแต่หนึ่งปัญหาที่สำคัญ คือ ปัญหาโพรงอากาศ ที่กระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ของผลิตภัณฑ์ชื่อ AAA ที่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ โดยจากการเก็บข้อมูลของเสียจากกระบวนการผลิต ตั้งแต่เริ่มทำการผลิต เป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่า ของเสียอันดับ 1 คือ Void epoxy หรือโพรงอากาศ เกิดขึ้น 62.75% ของ ของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ที่กระบวนการหยอดกาว ดังรูปที่ 3.10 สำหรับในกระบวนการผลิต เมื่อพนักงานที่ทำการตรวจสอบงานหลังเครื่องหยอดกาวพบปัญหาโพรงอากาศ ก็จะเรียกให้พนักงานที่ดูแลการปรับตั้งกาว ทำการปรับตั้งค่าแรงฉีดกาวโดยมีค่าอยู่ในช่วง 370 – 500 psi ซึ่งเฉลี่ยแล้วจะมีความถี่ประมาณ 3 - 4 ครั้งต่อหลอดกาว และในหลายๆครั้งทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในการผลิต

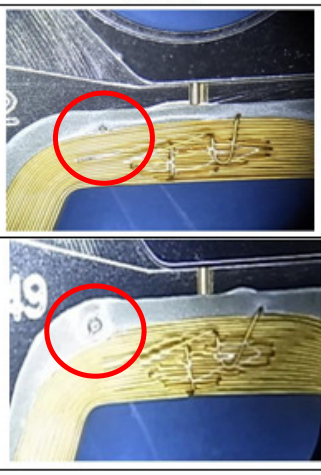
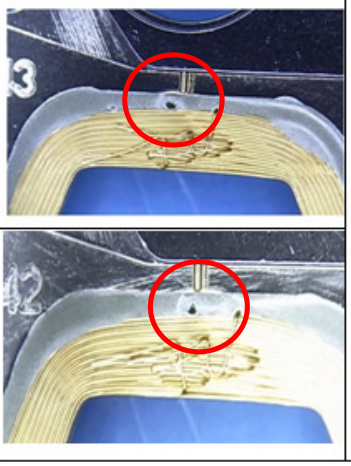
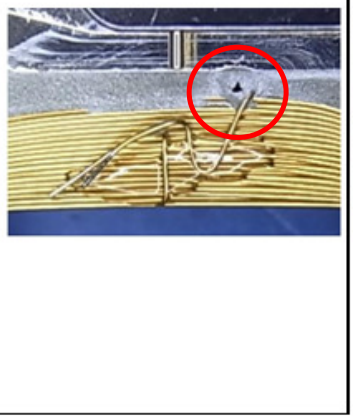


รูปที่ 3.10 ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นที่กระบวนการหยอดกาว

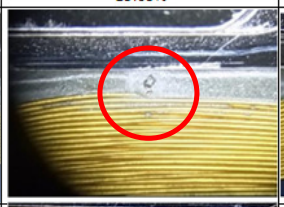
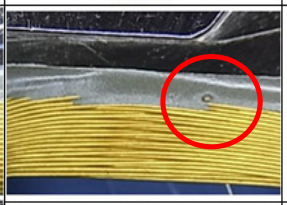
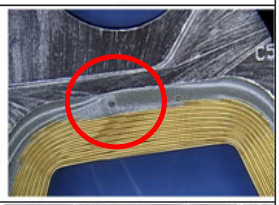
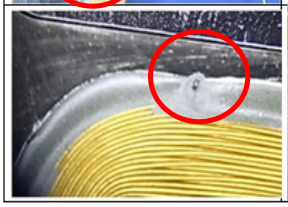
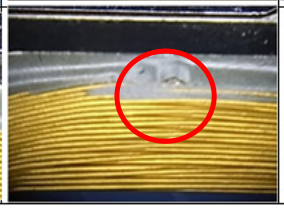
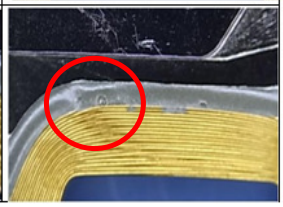
จากการตรวจสอบงานที่ทำการผลิตต่อเนื่องจำนวน 1,000 ชิ้น พบว่าเกิดโพรงอากาศ จำนวน 320 ชิ้น คิดเป็น 32% โดยโพรงอากาศส่วนใหญ่จะเกิด ด้าน Non-datum side ดังกราฟในรูปที่ 3.11 และตัวอย่างงานที่เกิด โพรงอากาศ ดังรูปที่ 3.12 และ 3.13



รูปที่ 3.11 ตำแหน่งการเกิดโพรงอากาศ หรือ Void epoxy

Datum side		
Left	Middle	Right
44	42	14
13.75%	13.13%	4.38%
		

รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการเกิดโพรงอากาศ ด้าน Datum (จากจำนวนงานที่เป็นโพรงอากาศ 320 ชิ้น)

Non-Datum			
Left	Middle	Right	Both Left-Right
72	63	78	7
22.50%	19.69%	24.38%	2.19%
			
			

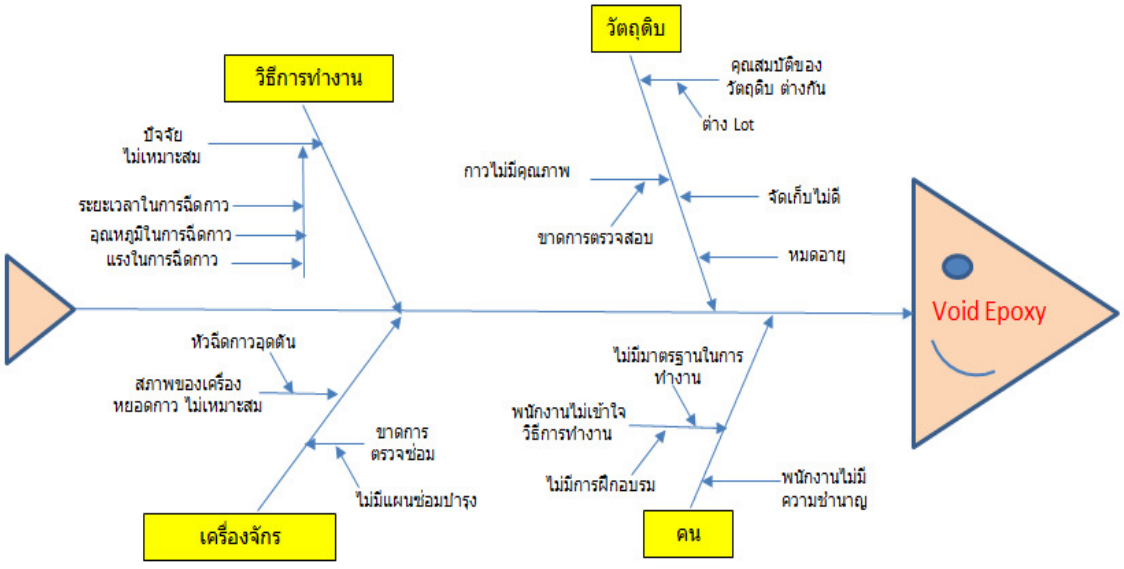
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการเกิดโพรงอากาศด้าน Non-Datum (จากจำนวนงานที่เป็นโพรงอากาศ 320 ชิ้น)

3.2.4 วิเคราะห์ระบบการวัด

ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ระบบการวัดให้มีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการยอมรับทางสถิติ และเพื่อยืนยันว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกิดจากกระบวนการจริงไม่เกิดจากระบบการวัดจึงสามารถทำการทดสอบหรือทดลองที่กระบวนการได้ ระบบการตรวจสอบและบันทึกปัญหาโพรงอากาศ ทำการตรวจสอบด้วยสายตาด้วยกล้องไมโครสโคปที่กำลังขยาย 10 เท่า และข้อมูลที่สนใจศึกษาเป็นสัดส่วนของเสียที่เกิดโพรงอากาศ เป็นข้อมูลนับ คือ นับจำนวนงานที่เกิดโพรงอากาศต่อจำนวนงานที่ผลิตในแต่ละหลอดกาว จึงทำการทดสอบแบบข้อมูลนับ โดยในงานวิจัยนี้ใช้พนักงานตรวจสอบคนเดียวในการตรวจสอบ แต่เพื่อยืนยันว่าพนักงานสามารถแยกงานปกติและงานที่เป็นโพรงอากาศออกจากกันได้ จึงทำการทดสอบ โดยให้ตรวจสอบงานจำนวน 20 ชิ้น ซึ่งมีทั้งงานปกติ และที่เป็นโพรงอากาศในสัดส่วนใกล้เคียงกัน ทำการทดสอบ 2 ครั้ง พร้อมสลับตำแหน่งงาน ผลคือ พนักงานสามารถบอก และแยกระหว่างงานปกติและงานที่เป็นโพรงอากาศได้ถูกต้อง 100% ทั้ง 2 ครั้ง ดังนั้นจากผลการประเมินนี้พบว่า ระบบการวัดนี้มีความพร้อมที่จะนำไปวัดผลที่กระบวนการที่ทำการศึกษาเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

3.2.5 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโพรงอากาศที่กระบวนการหยอดกาว

จากการศึกษาการทำงานที่กระบวนการหยอดกาว เมื่อทำการประชุมกับผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง ทำให้สามารถวิเคราะห์ และสรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดโพรงอากาศ หรือ Void epoxy จากนั้นนำมาจัดหมวดหมู่ด้วยแผนภาพก้างปลา ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนภาพก้างปลา แสดงสาเหตุการเกิดโพรงอากาศ

ตารางที่ 3.1 ปัจจัยที่เกิดจาก คน ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโพรงอากาศ และวิธีควบคุมในปัจจุบัน

สาเหตุ	ผลต่อการเกิดโพรงอากาศ	วิธีการควบคุม ในปัจจุบัน
1. พนักงาน ขาดความชำนาญ ในการปรับตั้งพารามิเตอร์ ของเครื่องหยอดกาว	ทำให้ไม่สามารถ ตรวจสอบความผิดปกติของงาน หรือเครื่องจักรได้ก่อนที่จะเกิดปัญหา	จัดการฝึกอบรม ทดสอบ และมีการจัดทำเอกสารตรวจสอบ
2.พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานที่เกิด จากการไม่มีมาตรฐานในการทำงาน	พนักงานเกิดความสับสนในการปฏิบัติงานเนื่องจากไม่มีแหล่งอ้างอิง ในกรณีที่ไม่เข้าใจการปฏิบัติงานส่งผลให้เกิดการตัดสินใจที่ผิดพลาด และทำให้เกิดงานเสีย	จัดทำมาตรฐานการทำงานเพื่อให้พนักงานใช้อ้างอิง และจัดเก็บในระบบเอกสารที่สามารถเข้าไปเปิดดูได้ง่าย
3.พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานเนื่องจากการไม่มีการฝึกอบรม	พนักงานทำงานด้วยความ ไม่แน่ใจ หรือ ไม่มั่นใจ เนื่องจากไม่เคยทำมาก่อนส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานได้	จัดการฝึกอบรมซ้ำทุกๆ 6 เดือน เพื่อป้องกันการลืม และเพื่อแจ้งข้อมูลใหม่ๆ กับพนักงาน

จากการพิจารณาสาเหตุที่น่าจะทำให้เกิดโพรงอากาศในกระบวนการหยอดกาวที่เกิดจากคน ในตารางที่ 3.1 พบว่าทุกหัวข้อมีการควบคุม และตรวจสอบอย่างเป็นระบบจึงไม่น่าจะเป็นสาเหตุของปัญหาได้

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยที่เกิดจาก เครื่องจักร ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโพรงอากาศ และวิธีควบคุมในปัจจุบัน

สาเหตุ	ผลต่อการเกิดโพรงอากาศ	วิธีการควบคุม ในปัจจุบัน
1. สภาพของเครื่องหยอดกาวไม่เหมาะสม ที่เกิดจาก หัวฉีดกาวอุดตัน	ทำให้กาวไหลไม่สะดวก ไหลไม่ต่อเนื่อง เกิดเป็นโพรงอากาศ	จัดการฝึกอบรม ทดสอบและมีการจัดทำเอกสารตรวจสอบ
2. ขาดการตรวจซ่อม ที่เกิดจากไม่มีแผนซ่อมบำรุง	มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องหยอดกาว ทำให้การหยอดไม่เป็นไปตามที่กำหนด ส่งผลต่อการไหลของกาว และมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ	จัดให้มีการตรวจสอบจุดสำคัญ และรายงานสภาพของเครื่องหยอดกาวเป็นประจำทุกวัน เพื่อเตรียมเครื่องหยอดกาวให้พร้อมกับการผลิต

จากการพิจารณาสาเหตุที่น่าจะทำให้เกิดโพรงอากาศในกระบวนการหยอดกาวที่เกิดจากเครื่องจักร ในตารางที่ 3.2 พบว่าทุกหัวข้อมีการควบคุม และตรวจสอบอย่างเป็นระบบจึงไม่น่าจะเป็นสาเหตุของปัญหาได้

ตารางที่ 3.3 ปัจจัยที่เกิดจาก วิธีการทำงาน ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโพรงอากาศ และวิธีควบคุมในปัจจุบัน

สาเหตุ	ผลต่อการเกิดโพรงอากาศ	วิธีการควบคุม ในปัจจุบัน
1. ปัจจัยไม่เหมาะสม จากระยะเวลาในการฉีดกาว	มีผลต่อความเร็ว ปริมาณกาว และลักษณะการไหล ที่มีผลให้เกิด การกักเก็บอากาศ	มีระบบควบคุมอัตโนมัติในการตั้งค่า และมีการตรวจสอบประจำกะงาน เนื่องจากมีผลต่ออัตราการผลิตที่ได้วางแผนไว้
2. ปัจจัยไม่เหมาะสม จากอุณหภูมิกาว	มีผลต่อคุณสมบัติของกาว ในเรื่องความหนืด ซึ่งทำให้กาวไหลไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการกักเก็บอากาศ	มีระบบควบคุมอัตโนมัติในการส่วนของการตั้งค่า แต่ปัจจุบันยังไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้
3. ปัจจัยไม่เหมาะสม จากแรงฉีดกาว	แรงดันของกาวที่มาก หรือ น้อยเกินไป ส่งผลต่อ ปริมาณกาว และการเคลื่อนที่ของกาว ซึ่งมีผลต่อการกักเก็บอากาศ	มีระบบควบคุมอัตโนมัติในการส่วนของการตั้งค่า แต่ปัจจุบันยังไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้

จากการพิจารณาสาเหตุที่น่าจะทำให้เกิดโพรงอากาศ ในกระบวนการหยอดกาวที่เกิดจากวิธีการทำงาน ในตารางที่ 3.3 พบว่ามี 2 หัวข้อ ในส่วนของปัจจัยที่ไม่เหมาะสมที่น่าจะเป็นสาเหตุของปัญหา เนื่องจากมีระบบควบคุมอัตโนมัติในการส่วนของการตั้งค่า แต่ปัจจุบันยังไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้ เช่น การปรับตั้ง อุณหภูมิกาว (Temperature) และแรงฉีดกาว (Pressure) เป็นต้น

ตารางที่ 3.4 ปัจจัยที่เกิดจาก วัตถุดิบ ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดโพรงอากาศ และวิธีควบคุมในปัจจุบัน

สาเหตุ	ผลต่อการเกิดโพรงอากาศ	วิธีการควบคุม ในปัจจุบัน
1. การจัดเก็บวัตถุดิบไม่ดี	ส่งผลต่อคุณสมบัติของกาว	จัดทำมาตรฐานการจัดเก็บ วัตถุดิบ และมีการตรวจสอบ สม่ำเสมอ
2. วัตถุดิบหมดอายุ	ทำให้คุณสมบัติของกาวเปลี่ยนไป โดยขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาหลังการผลิต ซึ่งจะถูกกำหนดมาจากทางผู้ผลิต	มีการแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับ - วันที่ผลิต - วันหมดอายุ - ล็อตการผลิต เพื่อตรวจสอบก่อนทำการผลิต
3. วัตถุดิบไม่มีคุณภาพ	ทำให้คุณสมบัติของกาวไม่ได้ตาม มาตรฐาน	มีวิธีการในควบคุม และตรวจสอบ คุณภาพอยู่เสมอรวมถึงมีการส่ง ข้อมูลกลับไปยังผู้ผลิตเพื่อปรับปรุง
4 .คุณสมบัติของวัตถุดิบต่างกัน เนื่องจาก ล็อตของกาวต่างกัน	ทำให้คุณสมบัติของกาวเปลี่ยนไป ยากต่อการควบคุม	มีการตรวจสอบ และส่งข้อมูล กลับไปยังผู้ผลิต เพื่อควบคุมให้ คุณสมบัติของกาวเหมือนกัน ทุกล็อตการผลิต

จากการพิจารณาสาเหตุที่น่าจะทำให้เกิดโพรงอากาศในกระบวนการหยอดกาวที่เกิดจากวัตถุดิบ ในตารางที่ 3.4 พบว่าทุกหัวข้อมีการควบคุม และตรวจสอบอย่างเป็นระบบจึงไม่น่าจะเป็นสาเหตุของปัญหาได้

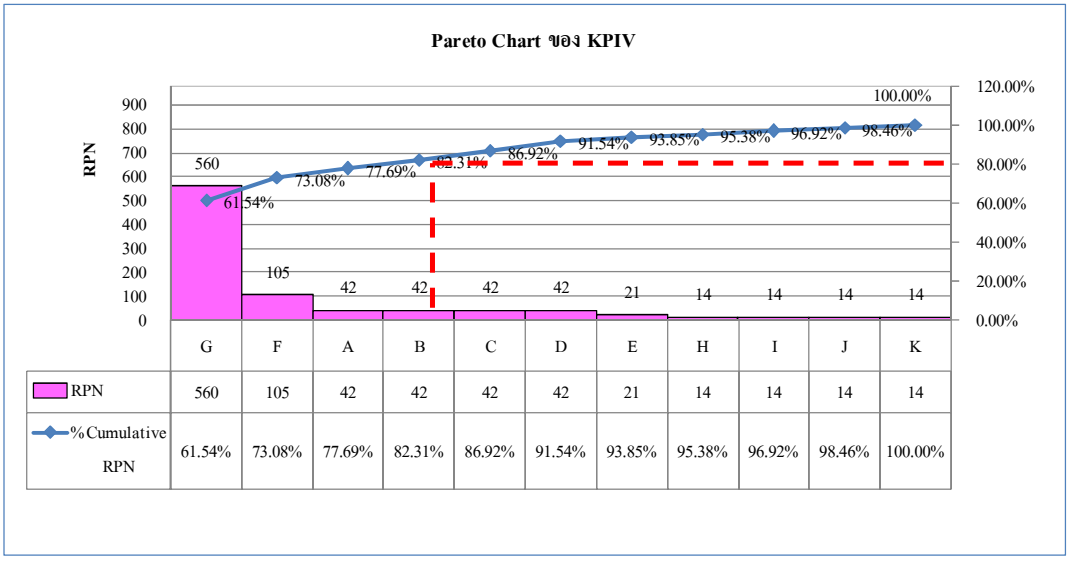
หลังจากระดมสมองในการทำแผนภาพก้างปลา เพื่อแสดงสาเหตุการเกิด โพรงอากาศ จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงปัญหาอย่างเป็นระบบ และใช้ศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้เพื่อป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏขึ้นมา โดยจะทำให้ผู้ศึกษามีลำดับทางความคิดที่เป็นระบบขั้นตอน และมีการจัดลำดับ ก่อน หลัง ของการแก้ปัญหาโดยเน้นไปที่ การป้องกันปัญหาที่มีโอกาสเกิดโดยในที่นี้ถือว่าเป็นการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจาก ลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาเพื่อหาทางลดผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวมจะต้องทำการแยกแยะ ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา และสามารถดำเนินการแก้ไขได้ โดยนำเอาความรุนแรงของปัญหา (Severity: ความถี่ในการเกิดปัญหา (Occurrence : O) และโอกาสในการตรวจจับ (Detection : D) มาเป็นตัวชี้วัด

เพื่อตัดสินใจที่จะเริ่มดำเนินการแก้ไข จากปัจจัยของปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดก่อน ซึ่งจากการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ โดยเกณฑ์การให้คะแนนอ้างอิงเกณฑ์จากตารางในภาคผนวก ก [9] สามารถสรุปถึงความสำคัญในการเข้าไปแก้ปัญหาโดยใช้การวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ของการเกิดปัญหาโพรงอากาศ ที่กระบวนการหยอดกาว

กระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	ความรุนแรง	สาเหตุที่เกิดปัญหา	โอกาสการเกิด	การควบคุมในปัจจุบัน	การตรวจจับ	RPN
การหยอดกาวอัตโนมัติ	เกิดโพรงอากาศ	1. ต้องทำการซ่อมโดยการเติมกาวโดยพนักงาน 2.เกิดของเสีย "โพรงอากาศ หรือ Void Epoxy"	7	A. พนักงาน ขาดความชำนาญในการปรับตั้งปัจจัยของเครื่องหยอดกาว	2	**จัดการฝึกอบรม ทดสอบและมีการจัดทำเอกสารตรวจสอบ**	3	42
			7	B. พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานที่เกิดจากการไม่มีมาตรฐานในการทำงาน	2	จัดทำมาตรฐานการทำงานเพื่อให้พนักงานใช้อ้างอิงและจัดเก็บในระบบเอกสารที่สามารถเข้าไปเปิดดูได้ง่าย	3	42
			7	C. พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานเนื่องจากการไม่มีการฝึกอบรม	2	จัดการฝึกอบรมซ้ำทุกๆ 6 เดือนเพื่อป้องกันการลืม และเพื่อแจ้งข้อมูลใหม่ๆกับพนักงาน	3	42
			7	D.สภาพของเครื่องหยอดกาวไม่เหมาะสม ที่เกิดจาก หัวฉีดกาวอุดตัน	2	จัดการฝึกอบรม ทดสอบและมีการจัดทำเอกสารตรวจสอบ	3	42
			7	E. ปัจจัยไม่เหมาะสมจาก ระยะเวลาในการฉีดกาว	1	มีระบบควบคุมอัตโนมัติในการตั้งค่า และมีการตรวจสอบ	3	21
			7	F. ปัจจัย ไม่เหมาะสมจาก อุณหภูมิกาว	5	มีระบบควบคุมอัตโนมัติในการส่วนของการตั้งค่า แต่ ปัจจุบันยังไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้	3	105
			7	G. ปัจจัยไม่เหมาะสมจาก แรงฉีดกาว	10	มีระบบควบคุมอัตโนมัติในการส่วนของการตั้งค่า แต่ ปัจจุบันยังไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมได้	8	560
			7	H. การจัดเก็บวัตถุดิบไม่ดี	1	จัดทำมาตรฐานการจัดเก็บวัตถุดิบ และมีการตรวจสอบสม่ำเสมอ	2	14
			7	I.วัตถุดิบหมดอายุ	1	มีการแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับ - วันที่ผลิต - วันหมดอายุ - ล็อตการผลิต เพื่อตรวจสอบก่อนทำการผลิต	2	14
			7	J. วัตถุดิบไม่มีคุณภาพ	1	มีวิธีการในควบคุมและตรวจสอบคุณภาพอยู่เสมอ รวมถึงมีการส่งข้อมูลกลับไปยังผู้ผลิตเพื่อปรับปรุง	2	14
			7	**K.คุณสมบัติของวัตถุดิบต่างกันเนื่องจากล็อตของกาวต่างกัน**	1	มีการตรวจสอบและ ส่งข้อมูลกลับไปยังผู้ผลิต เพื่อควบคุมให้คุณสมบัติของกาวเหมือนกันทุกล็อตการผลิต	2	14

หลังจากทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่องออกมาแล้วจากนั้นนำค่าความเสี่ยง (RPN) มาจัดลำดับเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่อง และควรนำไปแก้ไขปัญหาก่อน โดยใช้แผนภาพพาเรโตในการวิเคราะห์ ซึ่งแสดงไว้ ดังรูปที่ 3.15 เมื่อพิจารณาจากแผนภาพพาเรโต พบว่าข้อมูลอยู่ในสภาวะที่สอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า ข้อมูลที่มีความสำคัญมากหรือประมาณร้อยละ 80 ของข้อมูลทั้งหมด จะมาจากจำนวนข้อมูลเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นการแสดงได้ว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา คือ ปัจจัย ไม่เหมาะสมจาก แรงฉีดกาว อุณหภูมิกาว รวมไปถึงพนักงานขาดความชำนาญในการปรับตั้งปัจจัยของเครื่องหยอดกาวและพนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานที่เกิดจากการไม่มีมาตรฐานในการทำงาน



รูปที่ 3.15 แผนภาพพาเรโตของการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง

ตารางที่ 3.6 ปัจจัยที่มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาโพรงอากาศที่สอดคล้องกับแผนภาพพาเรโต

ลำดับ	สาเหตุที่เกิดปัญหา	KPIV	RPN	%RPN	% Cumulative RPN
1	G. ปัจจัยไม่เหมาะสมจาก แรงฉีดกาว	G	560	61.54%	61.54%
2	F. ปัจจัยไม่เหมาะสมจาก อุณหภูมิกาว	F	105	11.54%	73.08%
3	A. พนักงานขาดความชำนาญใน การปรับตั้งปัจจัย ของเครื่องหยอดกาว	A	42	4.62%	77.69%
4	B. พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงาน ที่เกิดจากการไม่มีมาตรฐานในการทำงาน	B	42	4.62%	82.31%

จากแผนภาพก้างปลาและการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องจากลักษณะข้อบกพร่อง ทำให้สามารถกำหนดปัจจัยที่มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาโพรงอากาศ ได้ 4 ปัจจัย ดังนี้

1. ปัจจัย ไม่เหมาะสมจาก แรงฉีดกาว
2. ปัจจัยไม่เหมาะสมจาก อุณหภูมิกาว
3. พนักงานขาดความชำนาญในการปรับตั้งปัจจัยของเครื่องหยอดกาว
4. พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงานที่เกิดจากการไม่มีมาตรฐานในการทำงาน

จากเหตุผลในตารางที่ 3.1 ที่มีวิธีการควบคุมสำหรับ ปัจจัยที่ 3 และ 4 ดังนั้น ปัจจัยที่จะนำไปออกแบบการทดลอง เพื่อหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่ก่อให้เกิดโพรงอากาศต่ำสุด มี 2 ปัจจัย คือ แรงฉีดกาว และอุณหภูมิกาว

3.3 การออกแบบการทดลอง

3.3.1 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย

เพื่อเป็นเกณฑ์ให้ทราบว่าในการเลือกปัจจัยในการทดลองในกระบวนการมีเกณฑ์อย่างไรสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. ปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการเลือก เป็นปัจจัย ที่สามารถปรับตั้งค่า และสามารถควบคุมได้จากเครื่องจักร
2. เป็นปัจจัยที่ยอมให้มีการปรับตั้งค่า และทำการทดลอง

ดังนั้นผลจากการวิเคราะห์แผนภาพก้างปลาร่วมกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบร่วมกับเกณฑ์ข้างต้น สามารถสรุปปัจจัยที่จะนำมาออกแบบการทดลอง เพื่อหาระดับปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดโพรงอากาศในกระบวนการหยอดกาวได้ทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ แรงฉีดกาว และอุณหภูมิกาว

3.3.2 การกำหนดระดับของปัจจัย

1. การปรับตั้งค่าปัจจัยที่กระบวนการผลิตในอดีต

พนักงานทำการปรับตั้งค่าปัจจัย แรงฉีดกาว และอุณหภูมิกาว ดังตารางที่ 3.7 คือ แรงฉีดกาวอยู่ในช่วง 370 - 500 psi (เป็นค่าจากการบันทึกการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน) และอุณหภูมิกาว ที่ 37 องศาเซลเซียส โดยจะทำการปรับตั้งค่าปัจจัย แรงฉีดกาวซึ่งเฉลี่ยแล้วจะมีความถี่ประมาณ 3 - 4 ครั้งต่อหลอดกาว คือ เมื่อมีการแจ้งปัญหางานจากพนักงานตรวจสอบหลังเครื่องหยอดกาว (ปัญหาที่พบบ่อย คือ โพรงอากาศ และกาวไม่เพียงพอ โดยเฉพาะโพรงอากาศ มีหลายครั้งที่งานเสียหลุดไปที่ลูกค้า) หลายครั้งที่การปรับตั้ง แรงฉีดกาว ส่งผลให้การผลิตไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากหยุดเพื่อปรับตั้ง และ

ตรวจสอบงานหลังปรับตั้ง ส่งผลต่อการควบคุมคุณภาพของปัจจัยอื่น เช่น Fixture ที่ทำการประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูป และขดลวดนำไฟฟ้า ที่อยู่ในแถวคอย รอเข้าเครื่องหยอดกาว อุณหภูมิลดลง จนไม่สามารถทำการผลิตได้ ส่งผลให้ต้องนำออกจากสายพานการผลิต เพื่อไปทำการให้ความร้อน ซึ่งอาจเกิดปัญหากาวล้นเนื่องจาก อุณหภูมิ Fixture ที่สูงมีผลต่อการไหลของกาว โดยในสภาวะการผลิตปกติจะวนใช้ Fixture ที่ออกจากเตาอบ

2. การปรับตั้งค่าปัจจัยที่กระบวนการผลิตเบื้องต้น

จากทดลองใช้ แรงฉีดกาวที่สูงกว่า 420 psi พบว่าจะสามารถทำการผลิตงานอย่างต่อเนื่องได้เพียง 50 ชิ้น ก็ต้องลดแรงฉีดกาว เนื่องจากเกิดปัญหา กาวล้น ดังรูปที่ 3.16 เนื่องจากแรงฉีดกาวที่สูงจะส่งผลให้ปริมาณกาวออกมามากกว่าที่แรงฉีดกาวต่ำ ซึ่งจะทำให้ความสูงของงานไม่ได้ตามข้อกำหนด จากนั้นทดลองใช้ แรงฉีดกาวที่ ต่ำกว่า 370 psi พบว่าไม่สามารถทำการผลิตงานอย่างต่อเนื่องได้ เนื่องจากเกิดปัญหา กาวไม่เพียงพอตลอดแนวการหยอดกาว และเมื่อทดลองใช้ อุณหภูมิกาว ต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส จะไม่สามารถผลิตงานให้มีคุณภาพได้ เนื่องจากเกิดปัญหา กาวไม่เพียงพอตลอดแนวการหยอดกาว เช่นเดียวกัน และเมื่อใช้ อุณหภูมิกาว ที่สูง คือ 39 องศาเซลเซียส พบว่าเกิดปัญหากาวล้น และมีกาวเป็นติ่งที่ตำแหน่งสุดท้ายของการหยอดกาว เนื่องจากอุณหภูมิสูง ทำให้กาวเหลวเกินไป

ตารางที่ 3.7 เงื่อนไขปัจจัยในคู่มือการทำงานที่เครื่องหยอดกาวสามารถปรับตั้งค่าได้ และค่าบันทึกที่พนักงานทำการปรับตั้งกาวที่ทำการผลิตในอดีตและปัจจุบัน

ปัจจัย	หน่วย	ค่าที่ระบุในคู่มือการทำงาน	ค่าที่พนักงานปรับตั้งใช้งาน
แรงฉีดกาว	psi	330 - 670	370 - 500
อุณหภูมิกาว	องศาเซลเซียส	30 - 40	37

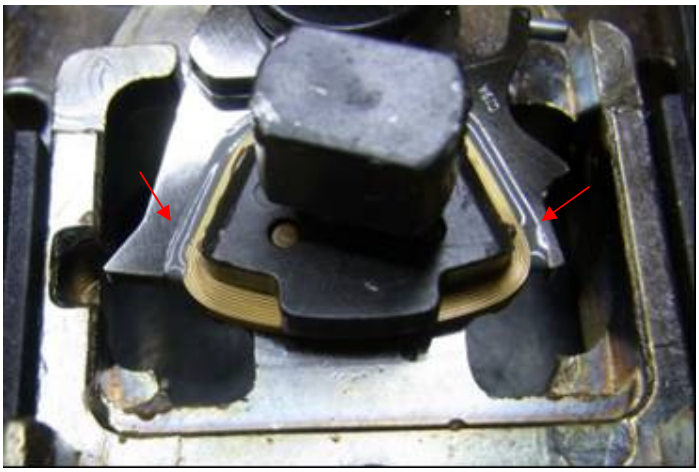
การกำหนดระดับของปัจจัย (Level) จะกำหนดเป็นแบบคงที่ โดยอาศัยข้อมูลเชิงเทคนิคของบริษัทผู้ผลิตที่แนะนำจากคู่มือการทำงาน ข้อมูลจากบันทึกประวัติการผลิต ดังตารางที่ 3.7 จากคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในโรงงาน และจากการทดลองปรับตั้งกาวเบื้องต้นเพื่อดูผลโพรงอากาศ และปัญหาอื่น ทำให้ได้ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 3.8 โดยระดับปัจจัยที่ทำการเลือกมา เป็นค่าที่ทางผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญให้ความสนใจ และจากการศึกษาพบว่าปัจจัย แรงฉีดกาวเป็นปัจจัยที่ต้องทำการปรับเปลี่ยนบ่อยจึงต้องการศึกษาที่ 3 ระดับ ส่วนปัจจัยอุณหภูมิ ค่อนข้างนิ่งคือ ทำการผลิตที่ 37 องศาเซลเซียส มาตลอด แต่ทั้งนี้ เมื่อเทียบกับค่าในคู่มือการทำงาน พบว่าเป็นค่าทางด้านสูงจึงอยาก

ทราบผลที่ค่ากลาง คือ 35 องศาเซลเซียส ประกอบกับจากการทดสอบเบื้องต้นจะสามารถทำการทดลองที่อุณหภูมินี้ได้

1. แรงฉีดกาว 3 ค่า คือ 380 395 และ420 psi
2. อุณหภูมิกาว 2 ค่า คือ 35 และ37 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 3.8 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับปัจจัยที่ใช้ทำการทำการทดลอง		
แรงฉีดกาว	psi	380	395	420
อุณหภูมิกาว	องศาเซลเซียส	35	37	



รูปที่ 3.16 ข้อบกพร่องกาวล้น

3.3.3 กำหนดแบบการทดลอง

ทำการเลือกแบบการทดลองแบบ แฟคทอเรียล ที่มี 2 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีระดับการทดลองไม่เท่ากัน จากนั้นนำข้อมูลไปทำการสร้างตารางการทดลองในโปรแกรม Minitab โดยเลือกรูปแบบ “General full factorial design” และจำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 2 ได้ตารางการทดลอง ดังตารางที่ 3.9 จากนั้นกำหนดค่าตอบสนอง โดยค่าตอบสนองที่สนใจ คือ สัดส่วนโพรงอากาศ ที่เกิดขึ้นบนตัวงานหลังทำการหยอดกาว

ตารางที่ 3.9 ตารางการทดลองแฟคทอเรียล ที่มี 2 ปัจจัย และระดับของปัจจัย

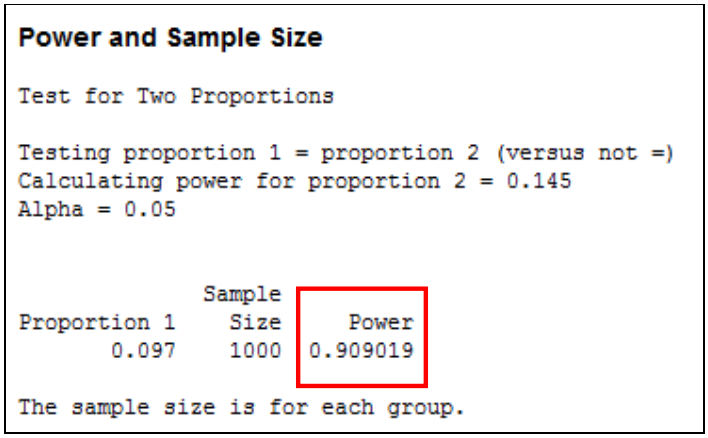
Pressure = 3 ระดับ และ Temperature = 2 ระดับ

RunOrder	Pressure psi	Temperature ^{o}C
1	395	35
2	370	35
3	370	37
4	420	35
5	395	35
6	395	37
7	420	37
8	370	35
9	370	37
10	395	37
11	420	35
12	420	37

ทำการกำหนดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง โดยจากการทำการผลิตงานจำนวน 2 ล็อต ล็อตละ 1,000 ชิ้น ที่อุณหภูมิเดียวกันแต่แรงฉีดกาวต่างกัน ได้ค่าสัดส่วนโพรงอากาศ ดังตารางที่ 3.10 จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม Minitab เพื่อตรวจสอบ ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) พบว่ามีค่าเท่ากับ 90.90% ซึ่งเป็นค่าที่สูง บ่งบอกถึงจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดลองเหมาะสมและจำนวนเพียงพอ ดังรูปที่ 3.17

ตารางที่ 3.10 ค่าสัดส่วนโพรงอากาศ เมื่อทำการผลิตที่อุณหภูมิเดียวกันแต่แรงฉีดกาวต่างกัน

รายการ	หน่วย	ล็อต 1	ล็อต 2
Pressure	psi	420	370
Temperature	องศาเซลเซียส	37	37
จำนวนตัวอย่าง	pcs	1,000	1,000
จำนวนโพรงอากาศ	pcs	97	145
สัดส่วนโพรงอากาศ		0.097	0.145



Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)
Calculating power for proportion 2 = 0.145
Alpha = 0.05

Proportion 1	Sample Size	Power
0.097	1000	0.909019

The sample size is for each group.

รูปที่ 3.17 ผลการวิเคราะห์ค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) สำหรับจำนวนตัวอย่าง 1,000 ชิ้น

จากนั้นไปทำการทดลองโดยกำหนดค่าปัจจัยของแต่ละการทดลองตามตารางที่ 3.8 ทั้งนี้ลำดับการทดลองก็ต้องตามลำดับในตารางที่ 3.9 เช่นกัน

3.4 สรุป

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปของบริษัท กระบวนการทำงานในปัจจุบัน ทำให้เข้าใจปัญหาและกระบวนการ จากนั้นนำข้อมูลไปทำการระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญ จนสามารถสร้างแผนภาพก้างปลา และนำมาวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เพื่อพิจารณาความเสี่ยง จากนั้นนำค่า RPN มาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อจัดลำดับความสำคัญ ซึ่งทำให้สามารถกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดโพรงอากาศ ได้ 2 ปัจจัยหลัก คือ แรงฉีดกาว และอุณหภูมิกาว ที่ไม่เหมาะสม เมื่อได้ปัจจัยก็ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ผ่านการทดลองแบบแฟคทอเรียล ที่มี 2 ปัจจัย แต่ต่างระดับ และจำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 2 ได้จำนวนการทดลอง เท่ากับ 12 การทดลอง

บทที่ 4 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

จากการทำการทดลองตามตารางที่ 3.9 ได้ผลการเกิดโพรงอากาศของแต่ละการทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองแฟคทอเรียล ที่มี 2 ปัจจัย และระดับของปัจจัย

Pressure = 3 ระดับ และ Temperature = 2 ระดับ

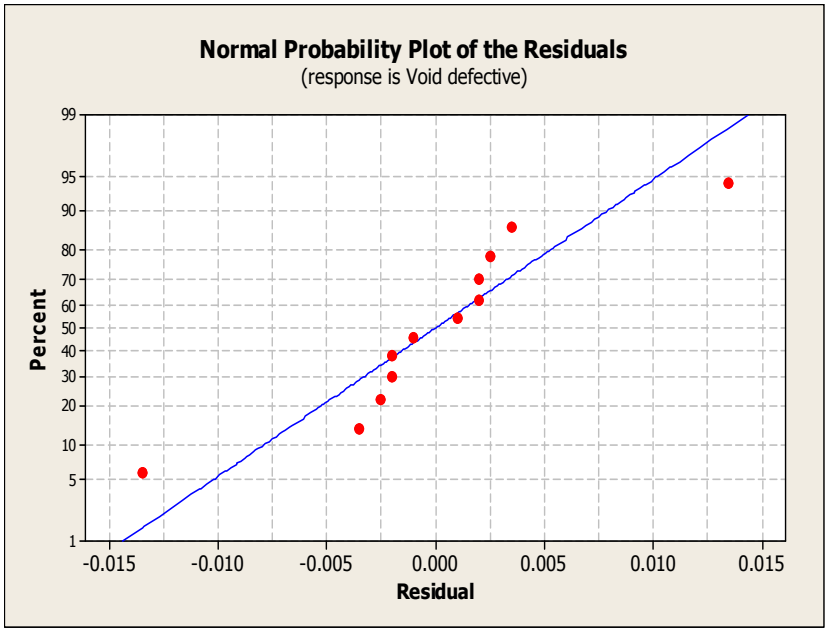
RunOrder	Pressure psi	Temperature ^{o}C	โพรงอากาศ ชิ้น	สัดส่วนโพรงอากาศ
1	395	35	105	0.105
2	370	35	225	0.225
3	370	37	153	0.153
4	420	35	170	0.17
5	395	35	109	0.109
6	395	37	85	0.085
7	420	37	102	0.102
8	370	35	198	0.198
9	370	37	146	0.146
10	395	37	89	0.089
11	420	35	165	0.165
12	420	37	100	0.100

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองของกระบวนการหยอดกาว เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และความเชื่อถือได้ของข้อมูลโดยพิจารณาจาก

4.2.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติ (Normality)

นำ Residual ของข้อมูลมาพล็อตกราฟ เพื่อตรวจสอบการกระจายของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือประมาณเกือบเป็นเส้นตรง แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ และเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ ดังรูปที่ 4.1 Normal Probability of the Residuals



รูปที่ 4.1 Normal Probability Plot of the Residuals

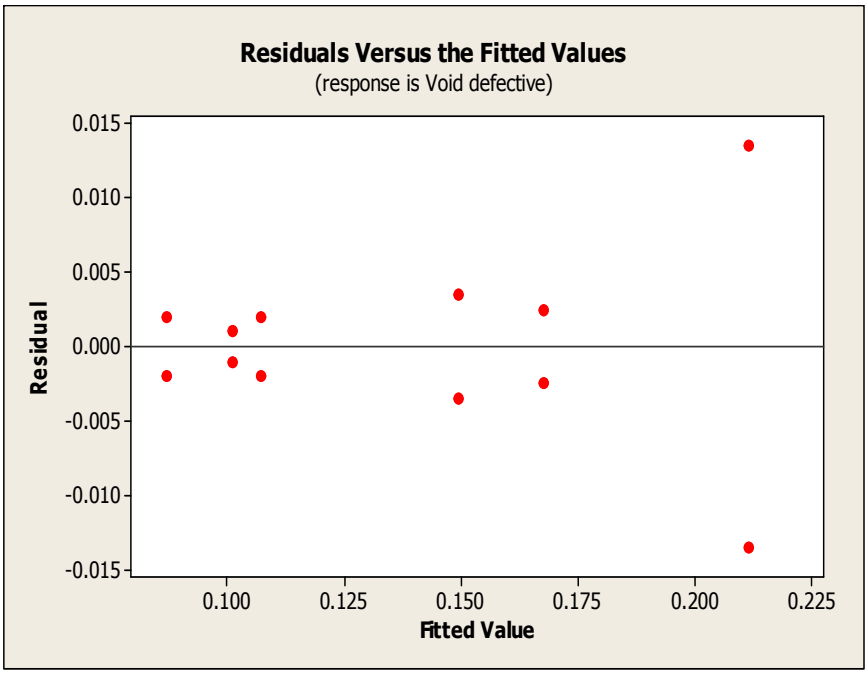
4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)

พิจารณาจากแผนภูมิการกระจายในรูปที่ 4.2 พบว่าการกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบที่เป็นอิสระหรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ Residual ของสัดส่วนโพรงอากาศกับลำดับการทดลอง

4.2.3 การทดสอบความสม่ำเสมอของความแปรปรวนข้อมูล

นำ Residual ของข้อมูลพล๊อตกับ Fit value เพื่อดูความสัมพันธ์ ระหว่าง Residual จากกราฟ ความสัมพันธ์ Residual ดังรูปที่ 4.3 พบว่าความสัมพันธ์ของ Residual ไม่มีลักษณะของการลู่เข้าหรือลู่ออก และไม่มีรูปแบบปรากฏให้เห็น แสดงว่าข้อมูลมีความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของข้อมูล



รูปที่ 4.3 Residual กับ Fit value ของสัดส่วนโพรงอากาศ

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดลอง

หลังจากตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลอง จะต้องพิจารณาความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองจากข้อมูลที่เก็บมานั้นว่าสามารถอธิบายได้ จากความผันแปรของปัจจัยที่ทำการทดสอบมากน้อยเพียงใด โดยแสดงข้อมูลจากการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัย แรงฉีดกาว อุณหภูมิกาว และอันตรกิริยาระหว่างแรงฉีดกาวกับอุณหภูมิกาว มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศอย่างมีนัยสำคัญ เนื่อง จากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

General Linear Model: Void defective versus Pressure, Temperature

```
Factor       Type   Levels  Values
Pressure     fixed       3  370, 395, 420
Temperature  fixed       2  35, 37


Analysis of Variance for Void defective, using Adjusted SS for Tests

Source                DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS       F      P
Pressure               2  0.0139985  0.0139985  0.0069993  100.11  0.000
Temperature            1  0.0073508  0.0073508  0.0073508  105.14  0.000
Pressure*Temperature   2  0.0013155  0.0013155  0.0006578    9.41  0.014
Error                  6  0.0004195  0.0004195  0.0000699
Total                 11  0.0230842


S = 0.00836162   R-Sq = 98.18%   R-Sq(adj) = 96.67%


Term                      Coef   SE Coef       T      P
Constant              0.137250  0.002414   56.86  0.000
Pressure
370                   0.043250  0.003414   12.67  0.000
395                  -0.040250  0.003414  -11.79  0.000
Temperature
35                    0.024750  0.002414   10.25  0.000
Pressure*Temperature
370      35           0.006250  0.003414    1.83  0.117
395      35          -0.014750  0.003414   -4.32  0.005
```

รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผ่านโปรแกรม Minitab

4.3.1 พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R Square)

จากรูปที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นส่วนใหญ่สามารถอธิบายการวิเคราะห์ได้มากน้อยเพียงใด มีค่าของ R-Sq = 98.18% แสดงว่าการทดลองได้ออกแบบมาดีแล้วโดยถ้าหากความผันแปรทั้งหมดมี 100 หน่วย มีความผันแปรที่สามารถอธิบายได้เกิดมาจากปัจจัยที่ทำการทดสอบ ถึง 98.18 หน่วย ในขณะที่ 1.82 หน่วย ที่เหลือ คือส่วนที่ไม่สามารถอธิบายได้จากปัจจัยเหล่านี้หรือเป็นสิ่งที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนนั่นเอง โดยธรรมชาติแล้วหากปัจจัยที่ทำการทดสอบมีมากจนทำให้ได้ค่า R-Sq มากไปด้วย โดยอาจจะมากจนมีค่าเท่ากับ 1 แต่ในความเป็นจริงจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากต้องมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอย่างแน่นอนจึงต้องมีการปรับค่าของ R-Sq และจากการพิจารณาค่า R-Sq (adj) = 96.67% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ R-Sq แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีเพียงพอแล้ว

4.3.2 พิจารณาค่า P-Value

จากรูปที่ 4.4 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ ถ้าค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ ซึ่งประกอบด้วย 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ แรงฉีดกาว (Pressure) และอุณหภูมิกาว

(Temperature) นอกจากนี้ยังมี อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ คือ อัตรกิริยาระหว่าง แรงฉีดกาว และอุณหภูมิกาว

4.4 ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ

ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ จากการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab โดยวิเคราะห์จากปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทุกตัวที่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากสมมติฐานหลัก

สมมติฐานของปัจจัยแรงฉีดกาว

H_0 : ระดับของแรงฉีดกาวไม่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ

H_1 : ระดับของแรงฉีดกาวมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ

จากค่า P-Value ของแรงฉีดกาว มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าระดับของแรงฉีดกาว มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึง ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1

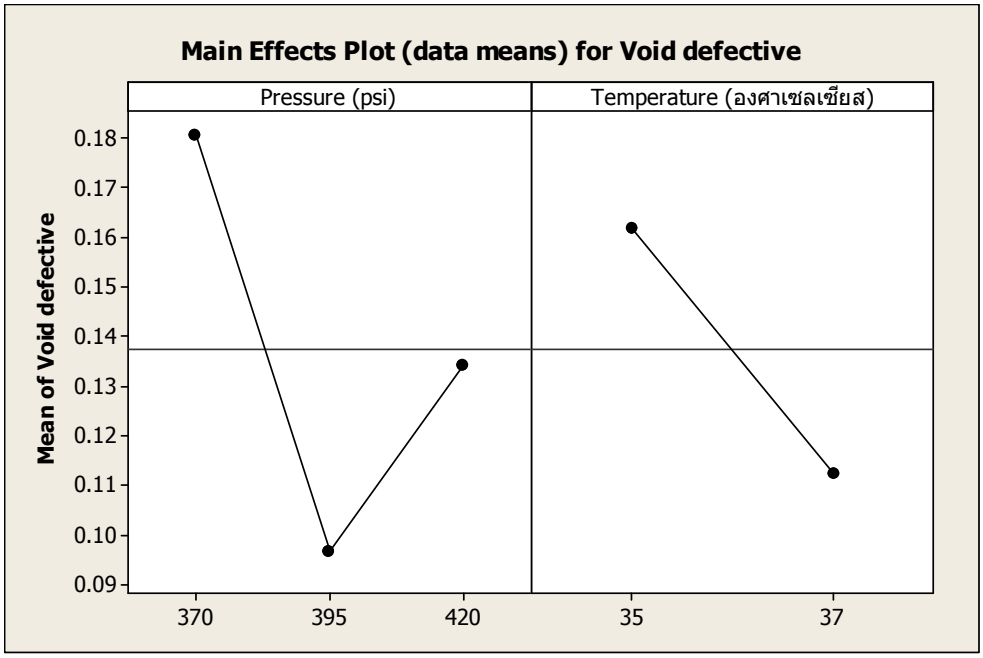
สมมติฐานของปัจจัยอุณหภูมิกาว

H_0 : ระดับของอุณหภูมิกาวไม่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ

H_1 : ระดับของอุณหภูมิกาวมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ

จากค่า P-Value ของอุณหภูมิกาว มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ระดับของอุณหภูมิกาว มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึง ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1

จากรูปที่ 4.5 ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของจำนวนโพรงอากาศที่เกิดจากการปรับตั้งปัจจัยที่ระดับต่างกัน โดยพบว่าระดับที่ทำให้เกิดโพรงอากาศต่ำที่สุด คือ ปัจจัยแรงฉีดกาว (Pressure) ที่ 395 psi เนื่องจากกาวเป็นสารที่มีความหนืด ถ้าใช้ที่แรงฉีดกาวต่ำ จะส่งผลต่ออัตราการการไหล กาวจะไหลช้า มีผลต่อการเกิดการกักเก็บอากาศเกิดเป็นโพรงอากาศ ส่วนที่แรงฉีดกาวสูง จะส่งผลต่อปริมาณกาวที่ออกมา จะออกมามากจนเกิดเป็นของเสียกาวล้น ส่วนปัจจัยอุณหภูมิกาว คือ 37 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เกิดโพรงอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิสูงจะเกิดโพรงอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กาวมีความหนืดลดลง ไหลได้สะดวกยากต่อการกักเก็บอากาศ



รูปที่ 4.5 การเกิดโพรงอากาศของปัจจัยหลักแต่ละระดับปัจจัย

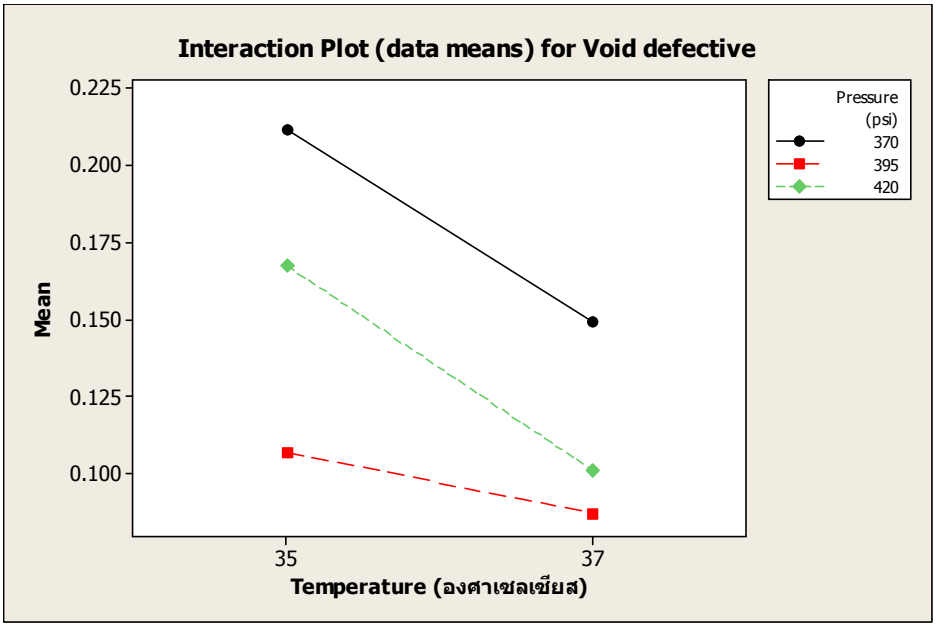
จากสมมติฐานรอง

สมมติฐานของปัจจัยร่วมระหว่างแรงฉีดกาวและอุณหภูมิกาว

H_0: อัตรกิริยาระหว่างแรงฉีดกาวและอุณหภูมิกาวไม่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ

H_1 : อัตรกิริยาระหว่างแรงฉีดกาวและอุณหภูมิกาวมีผลต่อการเกิดโพรงอากาศ

จากค่า P-Value อัตรกิริยาระหว่างแรงฉีดกาวและอุณหภูมิกาว มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า อัตรกิริยาระหว่างแรงฉีดกาวและอุณหภูมิกาว มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึง ปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 และจากรูปที่ 4.6 พิจารณาอิทธิพลร่วมระหว่าง แรงฉีดกาว (Pressure) และอุณหภูมิกาว (Temperature) พบว่าที่อุณหภูมิกาวสูงจะทำให้เกิดโพรงอากาศต่ำทุกที่ระดับแรงฉีดกาว



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าปัจจัยร่วมที่ทำให้เกิดโพรงอากาศ

4.5 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

หลังจากได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง คือ แรงฉีดกาว 395 psi และ อุณหภูมิกาว 37 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดสัดส่วนโพรงอากาศน้อยที่สุด คือ 0.085 (85/1,000) จากนั้นจะต้องนำระดับปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดสอบสัดส่วนโพรงอากาศก่อนจะนำค่าเหล่านี้ไปทำการผลิตจริง เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนโพรงอากาศก่อนและหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.2 ค่าระดับปัจจัยก่อนและหลังการทดลอง

ตารางที่ 4.2 ค่าระดับปัจจัยก่อนและหลังการทดลอง

เงื่อนไขในเครื่องจักร	ค่าที่ใช้ ก่อนการทดลอง	ค่าที่ใช้ หลังการทดลอง
แรงฉีดกาว (psi)	350 - 670	395
อุณหภูมิกาว (องศาเซลเซียส)	37	37

หมายเหตุ : ค่าแรงฉีดกาวที่ใช้ก่อนการทดลอง คือ 377, 380, 390, 410, 420, 440, 450, 460, 470, 480, 490 และ500 psi

การตรวจสอบสมมุติฐานการลดลงของสัดสัดส่วนการเกิดโพรงอากาศก่อนการปรับปรุง (การผลิตในอดีต) และหลังการปรับปรุง (การผลิตที่สภาวะเหมาะสม) ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเกิดโพรงอากาศก่อนและหลังการปรับปรุง (ที่สภาวะการผลิตในอดีต และที่ปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม)

รายการ	ก่อนการปรับปรุง (การผลิตในอดีต)			หลังการปรับปรุง (การผลิตที่สภาวะเหมาะสม)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	รวม	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	รวม
จำนวนตัวอย่าง	1,000	1,000	2,000	1,000	1,000	2,000
จำนวนโพรงอากาศ	124	135	259	88	91	179
สัดส่วนโพรงอากาศ	0.124	0.135	0.1295	0.088	0.091	0.0895

สมมติฐานการทดลอง

$H_0 : p_1 = p_2$

$H_1 : p_1 > p_2$

เมื่อ

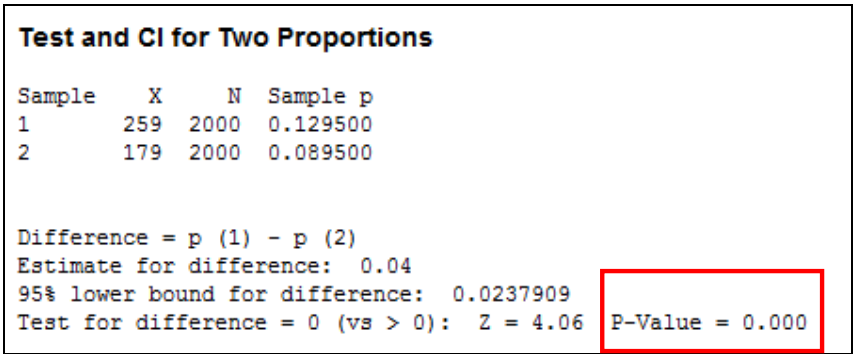
H_0 : สัดส่วนโพรงอากาศก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงไม่แตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนโพรงอากาศก่อนการปรับปรุงมากกว่าหลังการปรับปรุง

p_1 คือ สัดส่วนโพรงอากาศก่อนการปรับปรุง

p_2 คือ สัดส่วนโพรงอากาศหลังการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยว่า 0.05 ดังรูปที่ 4.7 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 โดยสรุปได้ว่า สัดส่วนโพรงอากาศที่ทำการผลิตหลังการปรับปรุงหรือจากสภาวะปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมเกิดขึ้นน้อยกว่า ก่อนการปรับปรุง หรือจากการผลิตจากสภาวะในอดีตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสภาวะปัจจัยการผลิตที่เลือกสามารถช่วยลดการเกิดโพรงอากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ



Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	259	2000	0.129500
2	179	2000	0.089500

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.04
95% lower bound for difference: 0.0237909
Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 4.06 P-Value = 0.000

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อตรวจสอบสมมุติฐานการลดลงของสัดส่วนการเกิดโพรงอากาศ

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษากระบวนการหยอดกาวเพื่อหาสภาวะในการหยอดกาวสำหรับแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ที่ก่อให้เกิดสัดส่วนของโพรงอากาศน้อยที่สุด อีกทั้งยังสามารถลดจำนวนครั้งของการปรับตั้งกาว โดยได้ระบุปัจจัยทั้งหมดที่น่าจะส่งผลต่อการเกิดโพรงอากาศ ตลอดจนพิจารณาถึงข้อจำกัด โดยใช้หลักการของผังก้างปลาร่วมกับผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคนิคของกระบวนการหยอดกาว และทำการกรองปัจจัยที่มีผลกระทบสูง ผ่านการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัย คือ แรงฉีดกาว และอุณหภูมิกาว จากนั้นทำการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design พิจารณา แรงฉีดกาว 3 ระดับ คือ 370 395 และ420 psi และ อุณหภูมิกาว 2 ระดับ คือ 35 และ37 องศาเซลเซียส

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบว่า

1. ทั้ง 2 ปัจจัย และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศอย่างมีนัยสำคัญและเมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดสัดส่วนของโพรงอากาศน้อยที่สุด คือ แรงฉีดกาว 395 psi และอุณหภูมิกาว 37 องศาเซลเซียส เมื่อการทดสอบเพื่อยืนผลพบว่าสัดส่วนการเกิดโพรงอากาศลดลง 30.89% (จากเดิม 0.1295 เป็น 0.0895)
2. พนักงานทำการปรับตั้งกาวแค่ครั้งเดียว ต่างจากเดิมที่ต้องคอยปรับตั้งเป็นระยะที่ความถี่ 3 - 4 ครั้งต่อหลอดกาว เป็นการลดภาระงานของพนักงานปรับตั้งกาว และช่วยให้การผลิตมีความต่อเนื่องช่วยให้การควบคุมปัจจัยอื่นทำได้ง่าย เช่น อุณหภูมิของ Fixture ที่ทำการประกอบอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้า ที่อยู่ในแถวคอย มีอุณหภูมิเหมาะสม โดยอุณหภูมิ Fixture มีผลต่อการยึดติดของอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้า ถ้า Fixture ไม่ร้อนผลหลังการหยอดกาว คือ ไม่สามารถยึดติดอลูมิเนียมขึ้นรูปกับขดลวดนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนให้กับอลูมิเนียมขึ้นรูปและขดลวดนำไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตจาก Fixture ที่มีการไหลออกจากตู้อบ อย่างต่อเนื่อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดปัจจัยหลักทั้งหมด 2 ปัจจัย ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่ได้กำหนด หรือจำกัดไว้ เป็นเพียงปัจจัยที่ต้องคงค่าเดิมไว้ เนื่องมาจากการออกแบบไว้ตั้งแต่พัฒนาผลิตภัณฑ์ในช่วงแรก เช่น ชนิดของกาว ชนิดเครื่องหยอดกาว ชนิดของ Fixture และเครื่องจักร ที่ผ่านการอนุมัติโดยลูกค้าให้ใช้

นอกจากนี้ เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสม แต่ในส่วนของการควบคุมคุณสมบัติของวัตถุดิบ เช่น กาว อลูมิเนียมขึ้นรูป หรือขดลวดนำไฟฟ้า ถึงแม้จะต่างล็อตการผลิตกัน แต่จะต้องมีการควบคุมให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดโพรงอากาศ

เอกสารอ้างอิง

1. สิทธิพร ฤกษะสาร, 2547, **Basic of Hard disk drive technology**, เอกสารประกอบการฝึกอบรม, Western Digital, หน้า 1-25.

2. ไวท์, รอน, 2546, **คอมพิวเตอร์ทำงานอย่างไร**, นินาถ วนาพรรณ์ (แปล), พิมพ์ครั้งที่ 1, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ**,** หน้า 140-145.

3. John, D., Richard, E., Rupp, Jr. and Laurene, J., 1997, **Method of attached a voice coil to an actuator arm**, US. Patent, No. 5623759 A.

4. ถีราวุธ พงศ์ประยูร, 2540, "ความหนืดและการวัดความหนืดในอุตสาหกรรม", **วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี**, ปีที่24, ฉบับที่ 133, หน้า 85-89.

5. ฮิโตชิ คุเมะ, 2546, **วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ**, แปลโดย วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์ พิมพ์ครั้งที่ 11, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 1-30.

6. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550, **หลักการควบคุมคุณภาพ**, พิมพ์ครั้งที่ 5, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ**,** หน้า 269-317.

7. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543, **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1**, พิมพ์ครั้งที่ 3, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 35-42.

8. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543, **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2**, พิมพ์ครั้งที่ 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 282-283.

9. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2547, **การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)**, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิ่ง จำกัด, กรุงเทพฯ, หน้า 26-137.

10. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542, **การวิเคราะห์ระบบการวัด**, พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 117-126.

11. ปารเมศ ชุติมา, 2543, **สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2**, พิมพ์ครั้งที่ 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 282-283.

12. Mongomery, D.C., 2009, **Design and Analysis of Experiment**, 8th ed., John Wiley&Sons, New York, pp. 1-319.

13. ส่วนงานฝึกอบรม, 2555, **Six Sigma หัวข้อย่อย การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ**, เอกสารประกอบ การฝึกอบรม, Compart Precision (Thailand) CO., LTD, หน้า 1-28.

14. วัลภา เตชะสุข, 2552, **การปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ชนิดมีขา**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 6-79.

15. จิระวัฒน์ แตงไทย, 2553, **การลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโพรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยหน้า 21-75.

16. นภาศิริ โรจนะ, 2551, **การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการผลิตมอเตอร์พัดลม**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 59-80.

17. สุนทร คำนวน, 2554, **การลดปริมาณชิ้นงานบกพร่องในกระบวนการฉีดอะลูมิเนียมขึ้นรูปฝาประกบหลังแผ่นจานแม่เหล็ก (HDDS) ขนาด 3.5 นิ้ว**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 13-81.

18. Yoshii, M., Mizukami, Y. and Shoji, H., 2003, “Evaluation Technologies on Moldability of Epoxy molding Compounds for Encapsulation of Semiconductor”, **Hitachi Chemical Technical Report**, N0.40.

19. Technical service Padaeng Industry Public Company Limited, 2012, **ปัญหาโพรงอากาศ** [Online], Available : http :// www.coezinc.com [2014, December 15].

20. พีรกิตติ์ วิริยะรัตนศักดิ์, 2552, “การปรับปรุงเงื่อนไขการฉีดไดคาสติ้งในช่วง Pre-Filling”, **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย**, ครั้งที่ 23, 4-7 พฤศจิกายน 2552, จังหวัดเชียงใหม่.

ภาคผนวก ก

ตารางคะแนนการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง

ตารางที่ ก.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (Severity: S)

ผลกระทบ จากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่ มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบ ที่มีต่อกระบวนการ ภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มี การเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัย ของผู้ใช้ โดยไม่มีการเตือน ล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิด อันตรายต่อพนักงานหรือ เครื่องจักรโดยไม่มีการเตือน ล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการ เตือน เช่นมีการป้อง กันอยู่แล้ว	มีผลกระทบต่อความปลอดภัย ของผู้ใช้ โดยมีการเตือนล่วง หน้า	มีผลกระทบต่อการเกิด อันตรายต่อพนักงานหรือ เครื่องจักรโดยมีการเตือน ล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถนำไปใช้ งานได้ เนื่องจากสูญเสียหน้าที่ หลัก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลาย หรือส่งเข้า ซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุง	8
ผลกระทบสูง เช่น ปัญหา โพรงอากาศ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ แต่ สมถนะลดลงจนทำให้ลูกค้า ไม่พอใจมาก	อาจมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ แบบคัดเลือก และผลิตภัณฑ์ บางส่วน ถูกทำลายหรือส่งเข้า ซ่อมแซม	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ แต่ขาดความสะดวกทำให้ ลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วนถูกทำลาย โดยไม่ต้องตรวจสอบแบบ คัดเลือกหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่ แผนกซ่อม	6

ตารางที่ ก.1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (Severity: S) (ต่อ)

ผลกระทบ จากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบายแต่ระดับสมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์ค หรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าส่วนใหญ่มักจะถือว่าผลิตภัณฑ์มีความบกพร่อง	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก ผลิตภัณฑ์บางส่วนอาจต้องนำมาทำการรีเวิร์ค	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าโดยเฉลี่ยถือว่าผลิตภัณฑ์มีความบกพร่อง	ผลิตภัณฑ์บางส่วน อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต แต่นอกจุดปฏิบัติงาน	3
ผลกระทบเล็กน้อยมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ดี อาจมีเสียงดังบ้างลูกค้าส่วนน้อย ถือว่าผลิตภัณฑ์มีความบกพร่อง	ผลิตภัณฑ์บางส่วนอาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิตที่จุดปฏิบัติงาน โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็น	ไม่เกิดปัญหาโพรงอากาศ	1

ตารางที่ ก.2 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิดขึ้น (Occurrence: O)

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่งๆ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (ppm)	Cpk	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	$\geq$ 100,000 (หรือ 10%)	< 0.55	10
	50,000 (หรือ 5%)	$\geq$ 0.55	9
สูง: เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20,000 (หรือ 2%)	$\geq$ 0.78	8
	10,000 (หรือ 1%)	$\geq$ 0.86	7
ปานกลาง: เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	5,000 (หรือ 0.5%)	$\geq$ 0.94	6
	2,000 (หรือ 0.2%)	$\geq$ 1.00	5
	1,000 (หรือ 0.1%)	$\geq$ 1.10	4
ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	$\geq$ 1.20	3
	100	$\geq$ 1.30	2
ห่างไกล: เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย	$\leq$ 10	$\geq$ 1.67	1

ตารางที่ ก.3 เกณฑ์การประเมินการให้คะแนนโอกาสในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection : D)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจสอบ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบการตรวจจับใดๆ			x	ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุม แต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			x	การควบคุมกระทำได้โดยทางอ้อม หรือเป็นเพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			x	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) เท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			x	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้ง (Double Visual Inspection) เท่า	7
ต่ำ	มีระบบควบคุม และอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		x	x	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC	**6**
ปานกลาง	มีระบบควบคุม และอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		x		มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน หรือใช้เกจแบบ Go No Go ก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุม และ มีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	x	x		มีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปหรือมีการใช้เครื่องมือวัดงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (Set up)	4

ตารางที่ ก.3 เกณฑ์การประเมินความถี่ในการเกิด (O) (ต่อ)

การตรวจจับ	**กฎเกณฑ์**	**ประเภทการตรวจสอบ**			**ขอบเขตวิธีการตรวจสอบ**	**คะแนน**
		A	B	C		
สูง	มีระบบควบคุม และมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	x	x		มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงาน หรือมีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปโดยการตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุม และเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	x	x		มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานด้วยเครื่องมืออัตโนมัติ ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	2
เกือบแน่นอน	มีระบบการควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	x			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพราะใช้ Poka-Yoke ในขั้นตอนการออกแบบ ผลิตภัณฑ์/กระบวนการ	1

หมายเหตุ : A = การป้องกันความผิดพลาด B = การใช้อุปกรณ์วัด (Gauge)

C = ตรวจสอบโดยอาศัยบุคคล (Manual inspection)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวพรทิพย์ แก้วมณี
วัน เดือน ปีเกิด	25 พฤศจิกายน 2522
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมหาวชิราวุธ จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2541
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2546
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2557
ประวัติการทำงาน	วิศวกรควบคุมคุณภาพ บริษัท คอมพาร์ท พรีซิชั่น จำกัด 2555 – ปัจจุบัน