บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปภาพรวมของผลการวิจัย เพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่สามารถลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวได้ รวมทั้งอุปสรรค ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

เริ่มตั้งแต่การค้นหาปัจจัย การคัดเลือกปัจจัย ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นและผลการออกแบบการทดลองในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยสามารถสรุปผลการวิจัยดังนี้

6.1.1 สรุปผลการวิจัยในการคัดเลือกปัจจัย

จากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวในเบื้องต้นจะใช้การระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม และข้อมูลจากการทดลองในอดีต ซึ่งใช้แผนภาพสาเหตุและผล พิจารณาปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดตามส่วนการทำงานต่างๆ ของเครื่องจักร พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 33 ปัจจัย จากนั้นจำแนกชนิดของปัจจัยเพื่อที่จะสามารถตัดบางปัจจัยออกจากการทดลองได้ โดยจะเลือกเฉพาะปัจจัยควบคุมได้ที่ปรับเปลี่ยนค่าได้ นำไปทำการออกแบบการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดกรองปัจจัย มี 13 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1, 2 และ 3 ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 และ 2 ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา ความเร็วรางพับด้านซ้าย ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ และระยะตั้งกั้นท้าย ส่วนปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้หรือไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จะกำหนดให้คงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง

6.1.2 สรุปผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

จากการคัดเลือกปัจจัย พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 13 ปัจจัย เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ทั้งในแง่วัตถุดิบ และเวลาที่ใช้ในการทดลอง การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคทากูชิ (Taguchi Method) จึงถูกเลือกเพื่อใช้ทำการทดลองเพื่อหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูกอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้ตาราง Orthogonal Array L_{16} (2^{13}) คือ ทำการทดลอง 16 ครั้ง จำนวน 13 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ โดยทำการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 32 การทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่าง ดังนี้

1) ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร
2) ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา
3) ปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย

สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวจะถูกตั้งค่าควบคุมปัจจัยให้คงที่ตายตัว

6.1.3 สรุปผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสามระดับ (3^k Factorial Design)

ในการพิจารณาหาสภาวะในการปรับตั้งเครื่องจักรสำหรับลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก จะใช้การออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial design มาประยุกต์ใช้เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยทำการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 54 การทดลอง จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของตัวแปรตอบสนอง (ค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูก) พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID $(0, \sigma^2)$ แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่างที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ได้แก่ ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย และอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร กับ ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่าง ส่วน

อันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา กับ ความเร็วรางพับด้านซ้าย มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนเท่านั้น จากนั้นจึงใช้วิธีการทดสอบพหุพิสัยดันแคน เพื่อทราบลักษณะความสัมพันธ์ของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อกัน สามารถสรุประดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวทั้งฝาบนและฝาล่างลดลงได้ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วเครื่องจักร	สูง (+)	120	กล่อง/นาที
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา	ต่ำ (-)	387	มิลลิเมตร
ความเร็วรางพับด้านซ้าย	ต่ำ (-)	0.0	เท่า

6.1.4 สรุปการยืนยันผลการทดลองโดยทำการผลิตจริง

หลังจากที่ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวลดลง จึงทำการผลิตจริงและสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลได้ ดังนี้

ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

- ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 6.05 มิลลิเมตร
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.74 มิลลิเมตร
- ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.79
- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.77

ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

- ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 5.93 มิลลิเมตร
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร
- ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.90
- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.87

จากการยืนยันผลการทดลองโดยทำการผลิตจริงสามารถเปรียบเทียบสภาวะก่อนและหลังปรับปรุงได้ ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน หลังปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน มีค่าเป็น 6.05±0.74 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวมีค่าลดลง เทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต มีค่าเป็น 6.61±1.69 มิลลิเมตร จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดในช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 4 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย

2) ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง หลังปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง มีค่าเป็น 5.93±0.70 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวลดลง เทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต มีค่าเป็น 5.50±1.40 มิลลิเมตร จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดในช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 7 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย

3) ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) หลังปรับปรุงกระบวนการผลิตของฝาบนและฝาล่าง มีค่าเป็น 1.77 และ 1.87 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตของฝาบนและฝาล่าง มีค่าเป็น 0.67 และ 0.84 ซึ่งหลังปรับปรุงมีค่าอยู่เกณฑ์ที่ดีมีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ทั่วไปความสามารถของกระบวนการควรมีค่า $C_{pk} \geq 1.33$

6.2 ปัญหาและอุปสรรคการวิจัย

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานวิจัยมีดังนี้

1) ปัญหากระดาษโค้งงอในการทดลองนั้น ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากความโค้งงอของกระดาษ ต้องไปแก้ไขที่เครื่องจักรในกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก และการจัดเก็บพัสดุคงคลัง ซึ่งอยู่นอกเหนือการควบคุมของแผนกขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก แต่ในการทดลองนั้นสามารถคัดเลือกกล่องได้โดยตรวจสอบแผ่นกระดาษก่อนนำเข้าเครื่องจักร จากการสอบถามพนักงานปรับตั้งเครื่องจักร พบว่าในกรณีที่มีกระดาษโค้งงอเกิดขึ้นทั้งล็อต อาจต้องนำเข้าเครื่องจักรทั้งหมด แล้วทำการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าในการปรับตั้งเครื่องจักร
2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ ที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวจะเป็นปัจจัยประเภทเครื่องจักร ซึ่งในการวิจัยนั้นไม่สามารถศึกษาในส่วนประกอบย่อยๆของเครื่องจักรได้ทั้งหมด ดังนั้นปัจจัยบางส่วนที่ซ่อนเร้นอาจถูกละเลยไป

6.3 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อจำกัดของการวิจัยนี้มีดังนี้

1) จากแผนภาพสาเหตุและผลที่ส่งผลต่อการเกิดระยะห่างร่องกาวในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 33 ปัจจัย เนื่องจากปัจจัยมีจำนวนมากเกินไป ไม่สามารถทำการทดลองทั้งหมดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาเพื่อตัดบางปัจจัยออกจากการทดลอง ให้เหมาะสมกับจำนวนกล่องกระดาษที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง เนื่องจากกล่องที่ทำการทดลองแล้ว ไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ ดังนั้นในการทดลองเสร็จ กล่องกระดาษทั้งหมดจะถูกนำไปทิ้ง และข้อจำกัดเวลาในการทดลองเนื่องใช้เครื่องจักรที่ผลิตจริง มีลำดับคิวการผลิตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเครื่องจักรไม่มีเวลามากพอในการทดลอง
2) ความชื้นในกระดาษเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาว ซึ่งส่งผลต่อตำแหน่งระยะกดและการแห้งตัวของกาวช้า ซึ่งไม่สามารถควบคุมให้แน่นอนได้ เนื่องจากขาดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นกล่องกระดาษก่อนนำไปผลิต

6.4 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและการออกแบบการทดลอง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิต ผู้วิจัยขอเสนอแนะดังนี้

1) ในการคัดเลือกปัจจัยสำหรับการทดลองเบื้องต้นนั้น อาจจะนำปัจจัยดังหัวข้อ 6.1.1 ทั้งหมด 13 ปัจจัย มาทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysys : FMEA) หรือ การประเมินอิทธิพลโดยผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ได้ เพื่อลดจำนวนปัจจัยในการทดลอง
2) ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสม อาจจะใช้การออกแบบการทดลองโดยวิธีผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) มาประยุกต์ใช้เพื่อค้นหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยได้
3) ในการออกแบบการทดลองนั้น สามารถนำปัญหาสล็อตเลื่อนมาวิเคราะห์ปัจจัยร่วมกับปัญหาระยะห่างร่องกาวได้ เนื่องจากในการคัดกรองปัจจัยจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องร่วมกัน ดังนั้น อาจจะเพิ่มตัวแปรตอบสนองในการทดลอง
4) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้
5) ในการติดตามผลที่ได้หลังจากการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวลดลง เมื่อค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร สำหรับปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยความเร็วเครื่องจักรที่อัตรา 120 กล่อง/นาที ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระยะ 387 มิลลิเมตร และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ 0.0 เท่าของรางพับด้านขวา พิจารณาผลการทดลอง โดยทำการสุ่มตัวอย่างที่ผลิตในแต่ละล็อตขึ้นมาและใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ and R chart เพื่อติดตามตรวจสอบเพื่อดูแนวโน้มของกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมหรือไม่ ซึ่งหากมีข้อมูลที่ออกนอกการควบคุม จึงทำการแก้ไขกระบวนการควบคุมต่อไป