

# การลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอ โทรศัพท์มือถือ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

## Defect Reduction In Mobile Phone Display Component Assembly Process By Applying The Design Of Experiments

วิทยา สุมะลี\* และ ระพี กาญจนะ

**Wittaya Sumali\* and Rapee Kanchana**

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก (คลองหก) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology  
Thanyaburi 39 moo 1, Rangsit-Nakhonnayok Rd. (Klong 6), Thanyaburi Pathum Thani 12110

\*E-mail: wittaya.sumali@hotmail.com, +668 7035 5721, Fax. Number 662 549 3442

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อลดการเสียรูปของกรอบยึดในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอ โทรศัพท์มือถือ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติและการออกแบบการทดลอง ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มต้นจากการใช้แผนภูมิเหตุและผลวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลต่อการเสียรูปของกรอบยึด โดยการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญ และพิจารณาเลือกปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญ 5 ลำดับแรกมาทำการศึกษาและวิเคราะห์หาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman ซึ่งในการทดลองนี้จะศึกษาปัจจัยละ 2 ระดับ และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้ง 5 ปัจจัยได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองที่ระดับ 100.0 mm/s และ 140.0 mm/s, องศาของมุมแท่นรองที่ระดับ 3.0 mm และ 5.0 mm, องศาของทิศทางแผ่นฟิล์มหลังจากการแยกจากกรอบยึดที่ระดับ 90° และ 45°, ระยะกรอบยึดที่ยึดออกจากแท่นรองเพื่อรอหัวจับหีบที่ระดับ 0.0 mm และ 5.0 mm และระยะความสูงที่หัวจับหีบกรอบยึด 0.025 mm และ 0.045 mm ผลการทดลองจาก Plackett-Burman พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูปของกรอบยึดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองและระยะความสูงที่หัวจับหีบกรอบยึด หลังจากนั้นนำปัจจัยทั้ง 2 พิจารณาด้วยการออกแบบการทดลองแบบ  $3^k$  Factorial Design โดยกำหนดปัจจัยเป็น 3 ระดับคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองที่ระดับ 100.0 mm/s, 120.0 mm/s, 140.0 mm/s และระยะความสูงที่หัวจับหีบกรอบยึด 0.025 mm, 0.035 mm, 0.045 mm ผลจากการวิเคราะห์พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดคือที่ระดับความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองเท่ากับ 140.0 mm/s และที่ระยะความสูงที่หัวจับหีบกรอบยึดเท่ากับ 0.045 mm สามารถลดปริมาณของเสียจากเดิมร้อยละ 8.65 เหลือเพียงร้อยละ 3.29 ส่งผลให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ร้อยละ 5.25

คำสำคัญ: การเสียรูปของกรอบยึด, การออกแบบการทดลอง Plackett-Burman,  $3^k$  Factorial Design

## ABSTRACT

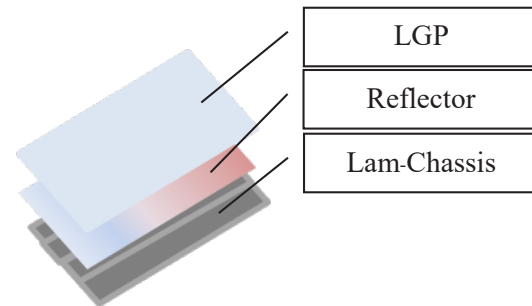
The objective of this research was to reduce the deformation of shading sheet in the mobile phone display component assembly process with the application of statistical process control and design of experiments techniques. The research methodologies began with identifying the possible root cause of deformation problem with cause and effect diagram and experts brainstorming. The top five important factors were selected and analyzed by Plackett-Burman design with 2 levels and 2 replicates at a significant level of 0.05. The five factors were studied in this research included feeding speed of pickers; 100.0 mm/s and 140.0 mm/s, angle of edge of feeding table; 3.0 mm and 5.0 mm, angle of plate from feeding table; 90° and 45°, distance of shading sheet from the edge of feeding table; 0.0 mm and 5.0 mm, and height between picker and feeding table; 0.025 mm and 0.045 mm. The experimental result from Plackett-Burman design illustrated that only two factors; feeding speed of pickers and height between picker and feeding table gave a statistically significant impact on deformation at a significant level of 0.05. Then 3k factorial design with response optimizer were consequently applied to analyzed feeding speed of pickers at 100.0, 120.0, 140.0 mm/s and height between pickers and feeding table at 0.025, 0.035, 0.045 mm. The optimal level of feeding speed of pickers and height between pickers and feeding table were 140.0 mm/s and 0.045 mm., respectively. After implementation, the deformation of shading sheet decreased from 8.65% to 3.29% leading to company's loss value reduction with 5.25%

**Keyword:** Deformation, Design of Experiments, Plackett-Burman, 3<sup>k</sup> Factorial Design

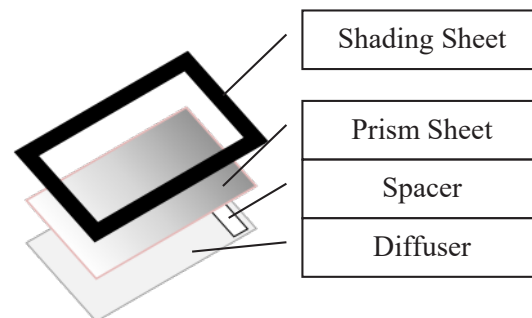
## 1. บทนำ

โทรศัพท์มือถือโดยเฉพาะอย่างยิ่งรุ่นสมาร์ตโฟนเป็นหนึ่งในอุปกรณ์สื่อสารที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว องค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของสมาร์ตโฟนก็คือหน้าจอ (Display) การผลิตหน้าจอโดยส่วนใหญ่จะเป็นหน้าจอที่เรียกว่า “Back light” เป็นหน้าจอที่ใช้แสงจากหลอด LED เพื่อให้ความสว่างแก่ผู้ใช้งาน ในการประกอบวัตถุดิบต่างๆ เข้าด้วยกันโดยทั่วไปจะใช้เครื่องจักร โดยการนำแผ่นฟิล์มชนิดต่างๆ มาประกอบกันทีละชั้นๆ จนกระทั่งได้ตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบไว้ กระบวนการประกอบจะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการคือ กระบวนการประกอบย่อย และ กระบวนการประกอบหลักลักษณะการทำงานของทั้ง 2 กระบวนการ มีลักษณะคล้ายคลึงกันคือใช้หุ่นยนต์ในการประกอบเหมือนกัน โดยจะประกอบแผ่นฟิล์มทีละแผ่นตามขั้นตอนที่กำหนด เพียงแค่วัตถุดิบที่นำมาประกอบจะเป็นคนละชนิดกันเท่านั้น ซึ่งกระบวนการประกอบย่อยจะประกอบด้วย LGP, Reflector และ Lam-chassis ดังรูปที่ 1 ส่วนกระบวนการประกอบหลักจะ

ประกอบด้วย Diffuser, Spacer, Prism sheet และ Shading sheet ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 กระบวนการประกอบย่อย

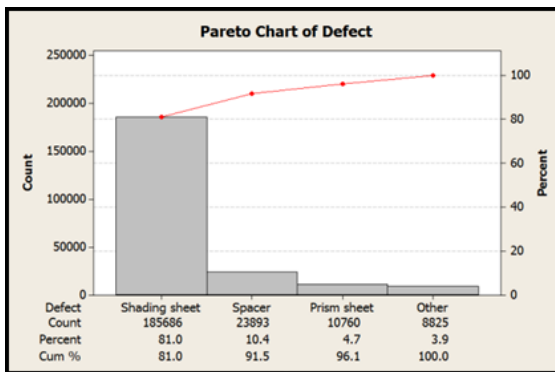


รูปที่ 2 กระบวนการประกอบหลัก

ในการทดลองครั้งนี้ เป็นการศึกษาการประกอบ หน้าจอสมาร์ทโฟนของบริษัทกรณีศึกษา ผลผลิตชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ โดยสนใจเฉพาะกระบวนการการประกอบ

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้มีราคาค่อนข้างสูง และมี ปริมาณของเสียสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการประกอบย่อย โดยวัตถุดิบจะมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ แผ่นคิฟฟิวเซอร์ (Diffuser) แผ่น สเปเซอร์ (Spacer) แผ่นปริซึมชีท (Prism Sheet) และกรอบซีด(Shading Sheet) แต่ละ ชนิดจะมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป โดยอาศัยคุณสมบัติ และคุณลักษณะเฉพาะตัวของตัววัตถุดิบเอง

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าสาเหตุที่เกิดข้อบกพร่องมากที่สุดคือกรอบซีด (Shading sheet) คิดเป็น 81.03% ปริมาณของเสียทั้งหมด เนื่องจากตัววัตถุดิบมีลักษณะเป็น กรอบกาว ทำให้เกิดการเสีรูปร่างได้ง่าย



รูปที่ 3 ปริมาณของเสียในกระบวนการการประกอบหลัก

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนในกระบวนการ ประกอบกรอบ ตั้งแต่ เมษายน 2558 ถึง สิงหาคม 2558

วัตถุดิบ	ของเสียเฉลี่ย (ชิ้น)/เดือน	%ของเสียเฉลี่ย/เดือน
Diffuser	1,765	0.41%
Spacer	4,779	1.11%
Prism Sheet	2,152	0.50%
Shading Sheet	37,137	8.65%

จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เมษายน 2558 ถึง สิงหาคม 2558 พบว่า กรอบซีด (Shading sheet) มีปริมาณของ เสียสูงถึง 37,137 ชิ้นต่อเดือน จากจำนวนการผลิต

ทั้งหมด 429,108 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นอัตราส่วนของเสียที่ เกิดขึ้นจากปัญหากรอบซีด (Shading sheet) มีค่าเท่ากับ 8.65% ดังตารางที่ 1

จากปัญหาดังกล่าวทำให้กระบวนการผลิตมีต้นทุนที่ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ สิ่งที่จะทำให้ห้องค์กรอยู่ในสภาวะขาดทุนได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะลดปริมาณของการเสีย รูปร่างของกรอบซีดลงให้ได้อย่างน้อย 50.0% จากปริมาณ ของเสียเฉลี่ยต่อเดือนเดิมที่ 8.65%

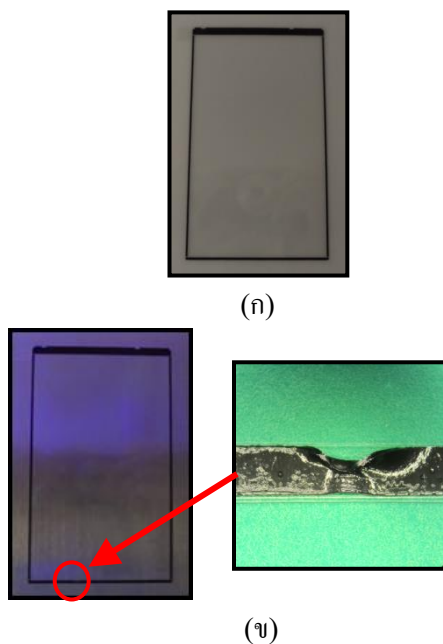
## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การ ออก แบบ การ ท ด ล อ ง (Design of Experiments: DOE) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่นำมาใช้ ในการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าได้ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการ เปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) เมื่อค่าปัจจัย (Factor) เปลี่ยนแปลงไปนั้นส่งผล ทำให้ตัวแปรตอบสนองเปลี่ยนแปลงหรือไม่และอย่างไร เมื่อทราบความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้วสามารถออกแบบค่า ของปัจจัยให้ตรงกับค่าที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนอง เป็นไปตามที่ต้องการ [1] เทคนิคการทดลองแบบ แฟคทอเรียล ที่นิยมนำไปประยุกต์ในการหาสภาวะที่ เหมาะสมในวงการอุตสาหกรรม ได้แก่การทดลอง  $2^k$  แฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดกึ่งกลาง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ เมื่อพื้นฐานของการทดลองแบบแฟคทอเรียลมีจำนวนการ ทดลองที่ไม่มากนัก สามารถสรุปผลการศึกษาด้วย นัยสำคัญทางสถิติและง่ายต่อความเข้าใจเพื่อนำไปใช้ใน เชิงปฏิบัติ [1] ดังตัวอย่าง การลดของเสียในกระบวนการ ขึ้นรูปด้วยความร้อนถาดบรรจุสารคัดสค์ 2.5 [2] ซึ่งนำ ปัจจัยที่มีลำดับความสำคัญ 3 อันดับแรกมาทำการพิจารณา โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเชิง แฟคทอเรียล  $2^k$  ( $2^k$  Factorial Design) ซึ่งได้ทดลอง แบบ 23 ออกแบบให้ใช้ Full Factorial และทำซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งผลการทดลองสามารถลดของเสียจากเดิม 3.53% เหลือ เพียง 0.93%

นอกจากนี้ยังถูกนำไปใช้ในการศึกษาการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบแล็กเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก [3] โดยใช้หลักการทดลองแบบแฟคทอเรียลที่เพิ่มจุดกึ่งกลางประกอบด้วย 3 ปัจจัย ซึ่งผลการวิเคราะห์ได้นำมาหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimizer) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า น้ำหนักแล็กเกอร์ต่อพื้นที่ 8.5 กรัมต่อตารางเมตร อุณหภูมิบ่ม 125 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้บ่ม 13 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมมากที่สุด

### 3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ลักษณะของกรอบยึดที่มีลักษณะที่ดีและตัวอย่างลักษณะของการเสียรูปของกรอบยึดจะแสดงดังรูปที่ 4

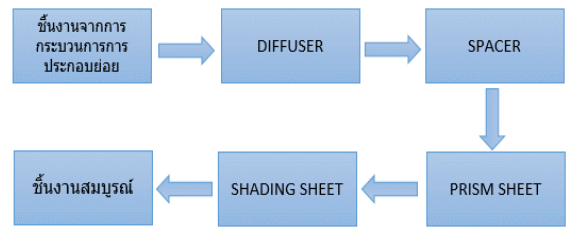


รูปที่ 4 ลักษณะของกรอบยึด; (ก) ลักษณะกรอบยึดที่ดี, (ข) ลักษณะกรอบยึดเสียรูป

#### 3.1 การคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น

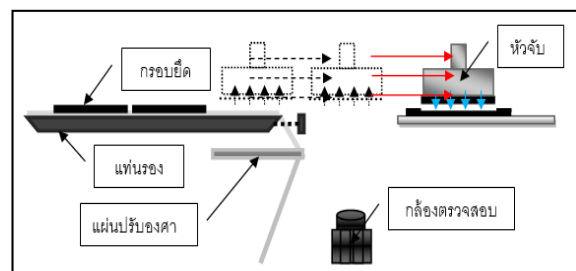
ปัญหาในการวิจัยครั้งนี้คือ การเสียรูปของกรอบยึดปัจจัยต่าง ๆ ถูกนำมารวบรวม โดยการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญเพื่อคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น

กระบวนการประกอบหลักสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 5 ซึ่งสถานีกรอบยึด (Shading sheet) จะเป็นสถานีสุดท้ายก่อนเป็นชิ้นงานสมบูรณ์ (Finish goods)

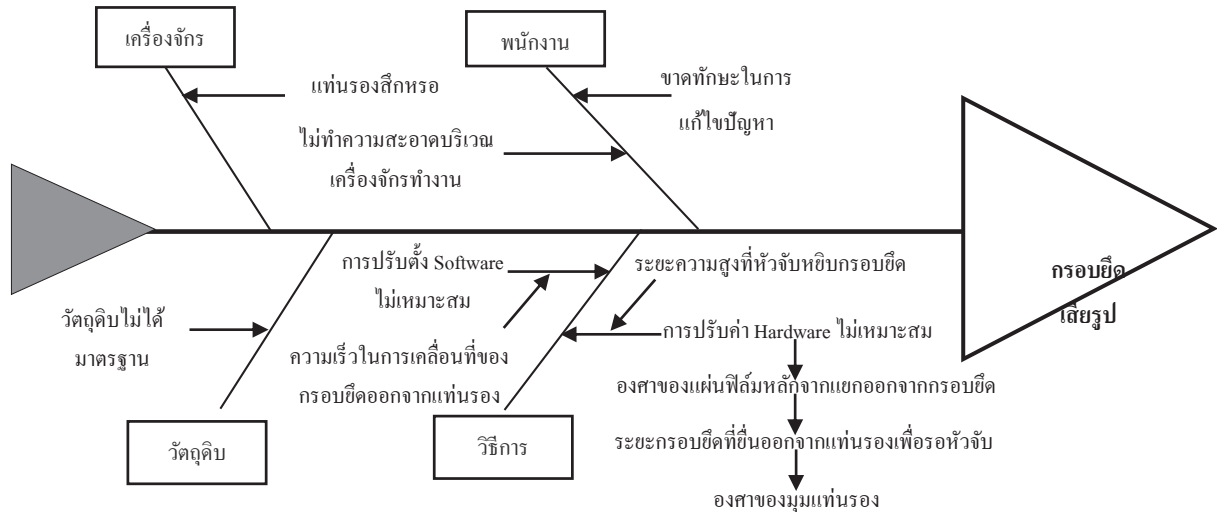


รูปที่ 5 ลำดับขั้นตอนของกระบวนการประกอบหลัก

เริ่มจากหัวจับจะเคลื่อนที่ลงมาหีบจับกรอบยึดในตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ โดยที่กรอบยึดและหัวจับจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วที่เท่ากันอย่างสม่ำเสมอ หัวจับจะใช้ลมดูดในการหีบจับกรอบยึดเพื่อแยกกรอบยึดออกจากแผ่นฟิล์ม หลังจากนั้นหัวจับที่มีกรอบยึดจะเคลื่อนไปด้านหลัง เพื่อตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของกรอบยึดว่าเป็นตามภาพมาตรฐานที่ควรจะเป็นหรือไม่ หากภาพขณะนั้นมีลักษณะตามที่กำหนด หัวจับจะสามารถทำคำสั่งต่อไปได้ แต่ถ้าหากมีลักษณะไม่ได้ตามมาตรฐาน เครื่องจักรจะมีการร้องเตือน (Alarm) ออกมา หลังจากสิ้นสุดการตรวจสอบคุณภาพของกรอบยึดแล้ว (ในกรณีที่กรอบยึดได้ตามมาตรฐาน) หัวจับจะนำกรอบยึดมาวางบน Lam-Chassis เป็นอันจบกระบวนการ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนของการประกอบกรอบยึดลงบนชิ้นงาน



รูปที่ 7 สาเหตุและปัจจัยที่สามารถส่งผลต่อการเสียรูปของกรอบขึ้น

จากนั้นวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการลดการเสียรูปของกรอบขึ้น เมื่อได้ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมแล้วให้นำผลลัพธ์ที่ได้ไปทดสอบในกระบวนการผลิตและเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

การคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสียรูปของกรอบขึ้น ขั้นตอนนี้มีการระดมความคิดเห็นจากทีมงานวิศวกรที่มีประสบการณ์และมีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิต เพื่อร่วมกันวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียด้วยแผนผังก้างปลา ดังรูปที่ 7 หลังจากกรองปัจจัยเบื้องต้น (Screening Factor) แล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปของกรอบขึ้นจะถูกออกแบบการทดลองด้วยเทคนิค Plackett-Burman

โดยจะทำการศึกษา 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low) และระดับสูง (high) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญ เมื่อสามารถกำหนดระดับปัจจัยได้ครบถ้วนแล้ว จากนั้นจะนำปัจจัยมาทำการทดลองตามข้อมูลที่กำหนด ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ( $3^k$  Factorial design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม การทดลองจะกำหนดระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low) ระดับกลาง (Medium) และระดับสูง (High)

ทั้งนี้ นีาระดับของปัจจัยที่ได้ทำการทดลองเบื้องต้นมา กำหนดค่าระดับกลาง

### 3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองและหาสถานะที่เหมาะสม (Response optimizer)

จากการทดลองจากการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ ( $3^k$  Factorial design) จะนำผลการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการเกิดของเสียอันเนื่องมาจากการเสียรูป ในกระบวนการประกอบกรอบ โดยศึกษา ระดับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

### 3.3 การเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

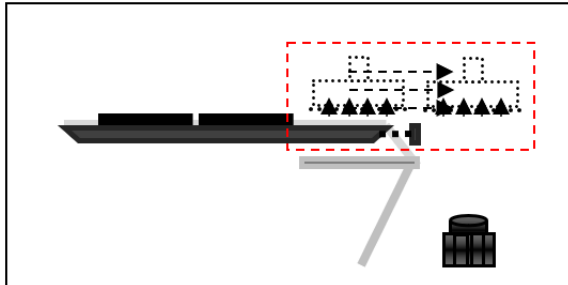
ในขั้นตอนนี้เป็นการนำผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองมาทำการทดลองจริง โดยจะเริ่มทดลองจริงในเดือนเมษายน 2559 เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยต่อเดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน 2558 ถึง สิงหาคม 2558 เท่ากับ 8.65%

## 4. ผลการดำเนินการวิจัย

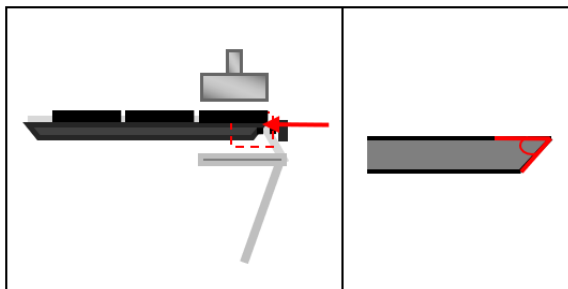
### 4.1 ผลการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น

หลังจากมีการระดมสมองและวิเคราะห์หาสาเหตุ ร่วมกับทีมวิศวกรผู้ที่มีประสบการณ์ในด้านการออกแบบและกระบวนการผลิต ในกรณีศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสียรูปของกรอบขึ้น จากผังเหตุและผล (Cause

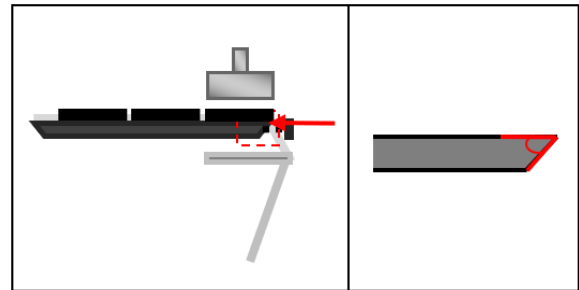
and Effect Diagram) พบว่ามีทั้งหมด 5 ปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อการเสียรูปอย่างมีนัยสำคัญ โดยทั้ง 5 ปัจจัยจะแสดงดังรูปที่ 8 ถึง 12



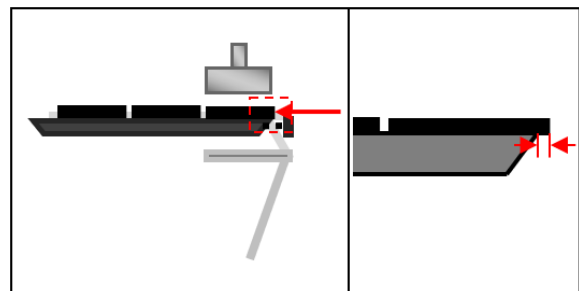
รูปที่ 8 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง



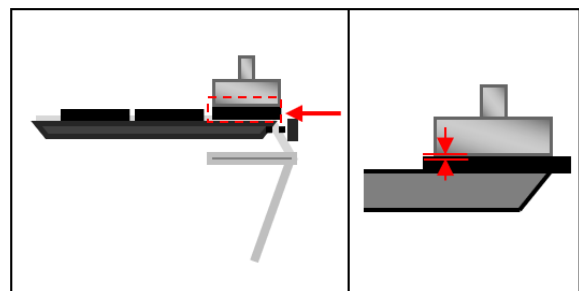
รูปที่ 9 องศาของมุมแท่นรองหลังจากแยกออกจากกรอบยึด



รูปที่ 10 องศาทิศทางแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 11 ระยะกรอบยึดที่ยื่นออกจากแท่นรองเพื่อรอหัวจับหยิบ



รูปที่ 12 ระยะความสูงที่หัวจับหยิบกรอบยึด

ตารางที่ 2 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
		ระดับต่ำ (Low)	ระดับสูง (High)	หน่วย (Unit)
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง	A	100.0	140.0	มิลลิเมตร/วินาที
องศาของมุมแท่นรอง	B	3.0	5.0	มิลลิเมตร
องศาของทิศทางแผ่นฟิล์มหลังจากแยกจากกรอบยึด	C	90.0	45.0	องศา
ระยะกรอบยึดที่ยื่นออกจากแท่นรอง เพื่อรอหัวจับหยิบ	D	0.0	5.0	มิลลิเมตร
ระยะความสูงที่หัวจับหยิบกรอบยึด	E	0.025	0.045	มิลลิเมตร

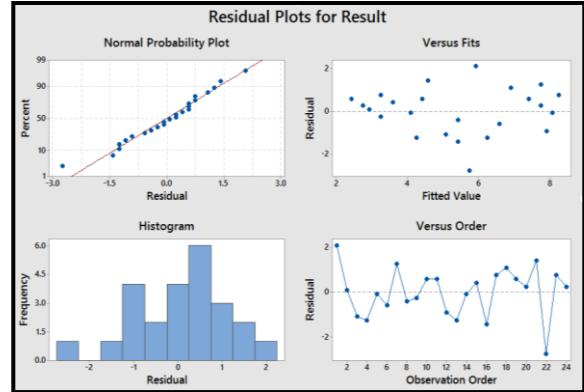
หลังจากมีการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสียรูปของกรอบยึดเบื้องต้นพบว่า ปัจจัยที่มี

ความสำคัญมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังตารางที่ 2 แสดงระดับของปัจจัยนั้นๆ (โดยทั่วไปสถานการณ์ประกอบกรอบยึดจะ

ใช้ค่าต่าง ๆ ในช่วงที่มีการระบุตารางที่ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้จริง ณ ปัจจุบัน) เพื่อใช้หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปของกรอบยึดโดยนำมาดำเนินการทดลองเบื้องต้นโดยใช้การทดลองแบบ Plackett-Burman เพื่อทดสอบถึงความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่ระดับ 0.05 โดยขั้นตอนการทดสอบ จะประกอบด้วย 5 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ และทดลองซ้ำที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ เป็นจำนวน 2 Replicate จำนวนที่ใช้ทดสอบทั้งหมดรวม 24 ครั้ง ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองแบบ Plackett-Burman

ลำดับ	A	B	C	D	E	จำนวนของเสีย (ชิ้น)
1	140	3	45	0	0.025	4
2	140	5	90	5	0.025	3
3	100	5	45	0	0.045	8
4	140	3	45	5	0.025	4
5	140	5	90	5	0.045	5
6	140	5	45	0	0.045	6
7	100	5	45	5	0.025	3
8	100	3	45	5	0.045	8
9	100	3	90	5	0.045	9
10	140	3	90	0	0.045	4
11	100	5	90	0	0.025	5
12	100	3	90	0	0.025	8
13	140	3	45	0	0.025	3
14	140	5	90	5	0.025	3
15	100	5	45	0	0.045	8
16	140	3	45	5	0.025	3
17	140	5	90	5	0.045	4
18	140	5	45	0	0.045	3
19	100	5	45	5	0.025	5
20	100	3	45	5	0.045	9
21	100	3	90	5	0.045	7
22	140	3	90	0	0.045	4
23	100	5	90	0	0.025	8
24	100	3	90	0	0.025	6



รูปที่ 13 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลของการทดลองแบบ Plackett-Burman

จากรูปที่ 13 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูล (ด้านซ้ายบนของรูป) ข้อมูลอยู่ใกล้เคียงกับเส้นปกติ จุดตัดจะเรียงตัวกันเป็นแนวเส้นตรง และลักษณะการเกิดจุดจะต้องไม่กระจุกเป็นกลุ่มๆ สามารถอนุมานได้ว่า ข้อมูลนี้มีความเหมาะสม และจากกราฟ Versus Fitted Value (ด้านขวาบน) เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยดูจากการกระจายของจุดที่แทนข้อมูล ซึ่งจากลักษณะของกราฟสามารถอธิบายได้ว่า มีการกระจายอย่างเป็นอิสระต่อกัน สำหรับข้อมูลจากกราฟ Versus Order (ด้านขวาล่าง) เป็นการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ซึ่งพบว่า ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

จากตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่ามีเพียงสองปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  แสดงว่าทั้ง 2 ปัจจัย มีผลต่อปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบกรอบยึดที่ระดับมีนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเสียในกระบวนการ

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Plackett-Burman ของปัจจัยทั้ง 5

Factorial Regression: Result versus Blocks, A, B, C, D, E					
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	81.000	13.5000	8.55	0.000
Blocks	1	0.667	0.6667	0.42	0.524
Linear	5	80.333	16.0667	10.18	0.000
A	1	60.167	60.1667	38.12	0.000
B	1	2.667	2.6667	1.69	0.211
C	1	0.167	0.1667	0.11	0.749
D	1	0.667	0.6667	0.42	0.524
E	1	16.667	16.6667	10.56	0.005
Error	17	26.833	1.5784		
Total	23	107.833			

ประกอบคือความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง (A) และระยะความสูงที่หัวจับหีบกรอบยึด (E)

4.2 ผลการทดลองแบบ 3<sup>k</sup> Factorial design

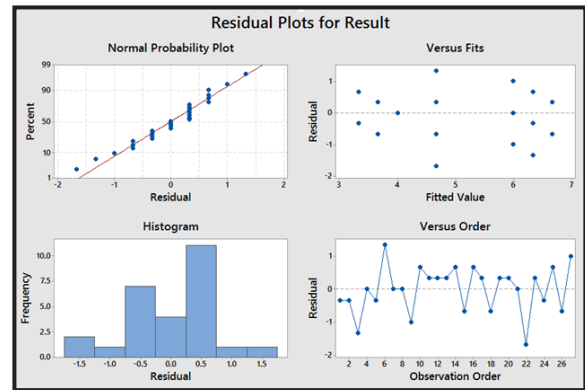
เมื่อทราบปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบกรอบ แล้วได้ดำเนินการทดลองโดยใช้การทดลองแบบ 3<sup>k</sup> Factorial Design ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปัจจัยและคุณลักษณะปัจจัยป้อนเข้า

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย			หน่วย
		ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง	
1. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง	(A)	100.0	120.0	140.0	มิลลิเมตร/วินาที
2. ระยะความสูงที่หัวจับหีบกรอบยึด	(E)	0.025	0.035	0.045	มิลลิเมตร

จากรูปที่ 14 จะเห็นได้การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) (ด้านซ้ายบน) มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการแจกแจงแบบปกติ และการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) (ด้านบนขวา) มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) และผลการตรวจสอบความเสถียรของ σ<sup>2</sup> (Variance Stability) (ด้านล่างขวา) พบว่า ค่าส่วน

โดยขั้นตอนการทดสอบ จะประกอบด้วย 2 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ และทดลองซ้ำที่ระดับปัจจัยต่างๆเป็นจำนวน 2 Replicate จำนวนที่ใช้ทดสอบทั้งหมดรวม 18 ครั้ง



รูปที่ 14 การตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลการทดลองแบบ 3<sup>k</sup> Factorial design

ตกค้าง (Residuals) มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด จึงสรุปว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์การทดสอบแบบ 3<sup>k</sup> Factorial design

General Factorial Regression: Result versus A, B						
Factor Information						
Factor	Levels	Values				
A	3	100, 120, 140				
B	3	0.025, 0.035, 0.045				
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
Model	8	39.185	4.8981	6.96	0.000	
Linear	4	34.593	8.6481	12.29	0.000	
A	2	7.630	3.8148	5.42	0.014	
B	2	26.963	13.4815	19.16	0.000	
2-Way Interactions	4	4.593	1.1481	1.63	0.210	
A*B	4	4.593	1.1481	1.63	0.210	
Error	18	12.667	0.7037			
Total	26	51.852				
Model Summary						
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
	0.838870	75.57%	64.71%	45.04%		

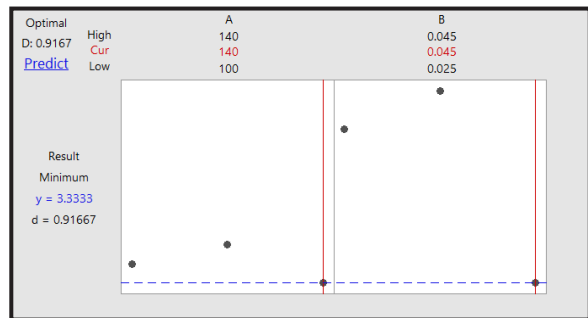
จากตารางที่ 6 พบว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรวยชืดออกจากแท่นรอง (A) และระยะความสูงที่หัวจับหยิบกรวยชืด (E) แต่ละปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า  $\alpha = 0.05$  จึงสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยทั้งสองมีผลปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบกรวยชืด ที่ระดับนัยสำคัญ  $\alpha = 0.05$

### 4.3 ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสม (Response Optimizer)

จากการวิเคราะห์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของทั้ง 2 ปัจจัย พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรวยชืดออกจากแท่นรองเท่ากับ 140.0 มิลลิเมตร/วินาที และระยะความสูงของหัวจับเท่ากับ 0.045 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 7 และรูปที่ 15

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ผลที่เหมาะสม

Response Optimization: Result						
Parameters						
Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Result	Minimum		3	7	1	1
Solution						
Solution	A	B	Result Fit	Composite Desirability		
1	140	0.045	3.33333	0.916667		
Multiple Response Prediction						
Variable	Setting					
A	140					
B	0.045					
Response	Fit	SE Fit	95% CI		95% PI	
Result	3.333	0.484	(2.316, 4.351)		(1.298, 5.368)	



รูปที่ 15 ค่าการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมที่กำหนด

### 4.4 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

เพื่อเป็นการยืนยันผลว่าจุดเหมาะสมที่ได้จากผลการวิจัยเป็นสภาวะการทำงานใหม่ที่ดีกว่าเดิมจึงนำค่าที่ได้มาทดสอบใช้จริงเป็นระยะเวลา 1 เดือน และนำข้อมูลจำนวนของเสียก่อนการทำวิจัยมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของเสียหลังการทำวิจัย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบจำนวนของเสียของการทำงานในสภาวะเดิม กับจำนวนของเสียของการทำงานในสภาวะใหม่สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลก่อน-หลังปรับปรุง

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	% การปรับปรุง
ยอดการผลิต เหล็ก (ชิ้น)	426,267	410,835	-
ของเสียเหล็ก (ชิ้น)	36,404	13,520	-
มูลค่าของเสียเหล็ก (บาท/เดือน)	125,596	46,644	-
% ของเสียเหล็ก	8.54%	3.29%	5.25%

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าสภาพการดำเนินงานก่อนปรับปรุง ช่วงเดือนเมษายน 2558 ถึง เดือนมีนาคม 2559 นั้นมีค่าเฉลี่ยของปริมาณการผลิตเท่ากับ 426,267 ชิ้นต่อเดือนและมีปริมาณของเสียเฉลี่ยที่ 36,404 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นอัตราของเสียเฉลี่ยที่ 8.54% คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 125,596 บาทต่อเดือน ซึ่งหลังจากการปรับปรุงโดยปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองเท่ากับ 140.0 มิลลิเมตร/วินาที และระยะความสูงของหัวจับเท่ากับ 0.045 มิลลิเมตร ผลที่ได้พบว่าอัตราของเสียเฉลี่ยลดลงจาก 8.54% เป็น 3.29% สามารถลดลง 5.25% หรือราวๆ 80,000 บาทต่อเดือนเลยทีเดียว

## 5. สรุปผลการทดลอง

ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้การทดลองแบบ Plackett-Burman คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง ระยะความสูงที่หัวจับยึดกรอบยึด การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการนำ

ปัจจัยหลักที่มีนัยสำคัญมาทำการออกแบบการทดลอง  $3^k$  Factorial design เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Response Optimization) พบว่าถ้าต้องการให้ค่าจำนวนของเสียเกิดขึ้นน้อยที่สุดจะต้องควบคุมปัจจัยนี้ค่าของความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรองเท่ากับ 140.0 มิลลิเมตร/วินาที ระยะความสูงของหัวจับเท่ากับ 0.045 มิลลิเมตรเมื่อพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญพร้อมกับดำเนินการพบว่าจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในสถานีการประกอบกรอบยึด มีค่าเท่ากับ 3.29% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 4.32% (ลดลง 50% จาก 8.65% ที่เป็น % ของเสียเดิม)

## 6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษา มีการผลิตชิ้นส่วนหน้าจอสมาร์ตโฟนหลายรุ่น หลายโมเดล โดยแต่ละรุ่นจะใช้ชนิดของวัสดุที่แตกต่างกัน แต่ลักษณะการประกอบยังคงประกอบโดยใช้เครื่องจักรเหมือนกัน ซึ่งสามารถนำวิธีการออกแบบการทดลอง ไปใช้ในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีเป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำที่ดีตลอดมา และขอขอบคุณ คุณพงศ์ชิน นาคัน และ คุณอิสราภาพ ลินวร ที่มีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ปัจจัยเบื้องต้น ขอขอบคุณกำลังใจดี ๆ จากบิดามารดา และสุดท้ายขอขอบคุณผู้ที่ให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Montgomery, C. D. Design and Analysis of Experiment. John Wylie & Sons, Singapore, 1991.
- [2] ชาญณรงค์ อินทรชู และระพี กาญจนะ. การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อนจากถาดฮาร์ดดิสก์ 2.5 โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. วารสารวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2556; 116 – 126.
- [3] ทศพล เกียรติเจริญผล. การออกแบบการทดลองแบบแฟลทอเรียล เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก. Ladkrabang Engineering Journal, 2009; 26: 60 - 65.