การออกแบบรูปแบบการทดลองเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กเพลาตันคาร์บอนต่ำระหว่างอุณหภูมิและสารตัวกลางลดการเย็นตัวมี 2 ปัจจัยการทดลอง 3 ระดับ

Design of Experiment Model to Compare the Hardness of Low Carbon Steel Shaft by Using Temperatures and Cooling Mediums Consisting of Two Factors with Three Levels

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา[1*] ไชยา โฉมเฉลา[2]

[1*]สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

[2]สาขาวิชาโลหะการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

Corresponding author, E-mail: udompong.jo@gmail.com, chaiya_npu@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการออกแบบรูปแบบการทดลองเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กเพลาตันคาร์บอนต่ำระหว่างอุณหภูมิและชนิดสารตัวกลางลดการเย็นตัว มี 2 ปัจจัยการทดลองที่ 3 ระดับการทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองแฟคทรอเรียล (Factorial Designs) สามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเป็นไปได้ของการเพิ่มความแข็งของหัวค้อนย้ำหมุดด้วยกระบวนการชุบแข็งและหาระดับความเหมาะสมของอุณหภูมิและชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ทั้งยังได้ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยด้วยซึ่งจะบ่งบอกถึงความเหมาะสมในการออกแบบการทดลอง

ผลการวิจัยพบว่า ถ้าอุณหภูมิสูงที่ 900 ℃ จะให้ผลที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างเหล็กเป็นออสเทนไนท์และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยน้ำประปาจะทำให้ค่าความแข็งที่ผิวชิ้นงานมีมากขึ้น จากเดิมที่ไม่ผ่านกระบวนการมีค่าประมาณ 90 HRB มีค่าเพิ่มขึ้นที่ได้จากการทดลองประมาณ 111 HRB เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 23.3 และอุณหภูมิที่ต่ำลงมา สารตัวกลางลดอุณหภูมิ ได้แก่ น้ำผสมเกลือ, น้ำมัน จะให้ค่าความแข็งในการชุบผิวน้อยลงมาเป็นลำดับ โดยไม่มีผลกระทบร่วมกันจากค่า F เท่ากับ 0.74 ตกอยู่ในเขตสมมติฐานหลักและค่า P-Value เท่ากับ 0.574 มากกว่าที่ ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05

คำสำคัญ: วิธีการทดลอง, เหล็กเพลาตันคาร์บอนต่ำ, การชุบแข็ง, ความแข็งของเหล็กกล้า, สารตัวกลางลดการเย็นตัว

ABSTRACT

This research, a factorial designs which several factors can be studied at the same time, was the design of experiments model to compare the hardness of low carbon steel shaft by using temperature and cooling mediums which have two factors with three experimental levels. The objectives were to seek for the feasibility of increasing the hardness of the hammer head riveted by the hardening process and find out the appropriate level of temperature and types of cooling mediums for lowering the temperature, and to study the joint effects of factors for indicating the suitability of the experimental design.

The results showed that when the steel structure was changed to be Austenite of the temperature at 900℃ and cooled rapidly with tab water, the surface hardness is higher. In other word, the original hardness which was not treated was about 90 HRB increased to 111 HRB or 23.3% after the experiment as well as the lower temperature. Considering to the other cooling mediums by water mixed with salt, oil provided less hardness of surface hardening, respectively. There was no joint effects of F = 0.74 which was in the core assumptions and the P-Value was 0.574 rather than the significance level (α) of 0.05.

Keywords: Experiment, Low Carbon Steel Shaft, Hardening, The hardening of Steel, Cooling Mediums

1. บทนำ

ในการศึกษาของนักศึกษาในระดับ ปวช. วิชาชีพ ,ปวส. วิชาชีพ หรือปริญญาตรีทางช่างอุตสาหกรรม มีทั้งวิชาทฤษฎีและปฏิบัติ ซึ่งการฝึกปฏิบัติงานอยู่ในรูปแบบจำลองสถานการณ์ แต่การฝึกปฏิบัติงานในสาขาวิชาจะต้องผ่านการฝึกภาคปฏิบัติวิชาช่างพื้นฐานอุตสาหกรรม ซึ่งในการฝึกใช้เครื่องมือช่าง ส่วนมากจะใช้ตะไบในการแปรรูปชิ้นงานมากที่สุดในการฝึกปฏิบัติ เพื่อเสริมทักษะในแต่ละด้าน การใช้เครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และเสริมสร้างความอดทน นักศึกษาทุกคนจะต้องฝึกตะไบเหล็กเพลาเหลี่ยมตันเป็นโลหะเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ทำการตะไบตกแต่งชิ้นงานให้เป็นรูปร่างตามใบงาน เช่น หัวค้อนย้ำหมุด ตามแบบ ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 หัวค้อนย้ำหมุดที่ผ่านการชุบผิวแข็ง

จากภาพตัวอย่างงานจะต้องนำชิ้นงานไปเพิ่มความแข็งของชิ้นงานด้วยกระบวนการชุบแข็ง ซึ่งการปฏิบัติงานในอดีต จะมีการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 850°C ถึง 870°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการชุบน้ำมัน มีระดับค่าเฉลี่ยความแข็งของผิวงานประมาณ 95 HRB [4] จากเดิมชิ้นงานจะมีค่าความแข็งเฉลี่ย 90 HRB จะมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 5.5 และเมื่อนำชิ้นงานไปใช้ปฏิบัติงานด้วยการย้ำหมุดได้ไม่นานนักสภาพหัวค้อนทุกตัวจะมีสภาพผิดรูป หัวและปลายค้อนบานออกเป็นลักษณะดอกเห็ดเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นประจำ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพค้อนย้ำหมุดนี้ให้มีความแข็งที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการชุบแข็งผิวโลหะเพื่อต้องการให้ชิ้นงานในการฝึกของนักศึกษาทนต่อแรงกระแทกโดยไม่ทำให้เสียรูปหรือมีสภาพการใช้งานที่นานยิ่งกว่าเดิม การทดลองในครั้งนี้ได้กำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบแฟคทอเรียล กรณี 2 ปัจจัย คือ ระดับอุณหภูมิ และชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิของชิ้นงาน โดยชนิดของระดับอุณหภูมิมีอยู่ 3 ระดับเป็นระดับของอุณหภูมิเลยแนวเส้นวิกฤตเริ่มมีโครงสร้างเป็นออสเทนไนท์ ประมาณ 30°C ถึง 50°C การทดลองนี้จะเริ่มที่อุณหภูมิ 800°C, 850°C และ 900°C [1] ส่วนชนิดของตัวกลางที่ผู้วิจัยนำมาใช้ทดสอบในการลดอุณหภูมิมีอยู่ 3 ชนิด คือ ใช้น้ำมัน (ซึ่งเป็นแบบเดิมที่ใช้) น้ำผสมเกลือ และน้ำประปา ชิ้นงานที่นำมาทำการทดลองจะมีขนาด 1 นิ้ว X 1 นิ้ว X 1 นิ้ว จะใช้จำนวน n ชิ้นทำการทดลองร่วมปัจจัยแต่ละจุดของชนิดของวัสดุที่ระดับอุณหภูมิและชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาความเป็นไปได้ของการเพิ่มความแข็งของหัวค้อนย้ำหมุดด้วยกระบวนการชุบแข็ง
2. เพื่อหาระดับความเหมาะสมที่อุณหภูมิและชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ

3. ขอบเขตการวิจัย

- การทดลองนี้ใช้เหล็กเพลาตันคาร์บอนต่ำในการทดสอบเท่านั้น
- อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ 800°C, 850°C และ 900°C
- ชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิมีอยู่ 3 ชนิด คือ ใช้น้ำมัน (ซึ่งเป็นแบบเดิมที่ใช้) น้ำผสมเกลือ และน้ำประปา

3.1 ตัวแปรอิสระ

ในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการศึกษาปัจจัยที่มีประสิทธิภาพในด้านความแข็งของผิวชิ้นงาน ประกอบไปด้วย 2 ปัจจัยๆละ 3 ระดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยในการออกแบบการทดลอง [1]

ปัจจัย (Factor)	ระดับ (Level)
อุณหภูมิการให้ความร้อน	1. 800 °C 2. 850 °C 3. 900 °C
ปัจจัย (Factor)	ระดับ (Level)
ชนิดของสารตัวกลางลดอุณหภูมิ	1. น้ำมัน (แบบเดิมที่ใช้) 2. น้ำผสมเกลือ 3. น้ำประปา

3.2 ตัวแปรตาม

ค่าความแข็งของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องทดสอบ ด้วยวิธีการทดสอบความแข็งแบบรอคเวลล์สเกลบี (HRB) ดังรูปที่ 2 และทำตามรูปแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Version 14 เพื่อศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยต่างๆ พร้อมกัน การจัดลำดับการทดลองครั้งนี้เป็นไปตามแบบสุ่มตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้แล้ว

รูปที่ 2 เครื่องวัดค่าความแข็ง Rockwell แบบ B

3.3 สมมติฐานการทดลอง

- อุณหภูมิ

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$

$H_1: \tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

- สารตัวกลางลดอุณหภูมิ

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$

$H_1: \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

- การ interaction

$H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0$

$H_1: (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

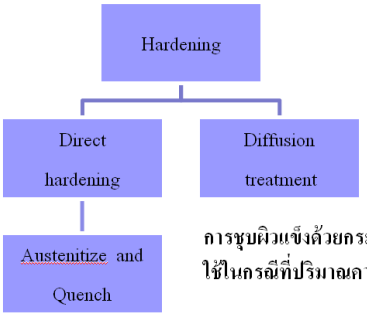
4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การอบชุบเหล็กกล้า (Heat Treatment of Steels)

หมายถึง การรวมเอา การทำให้ร้อน การทำให้เย็น เวลา และการประยุกต์ ใส่เข้าไปในโลหะหรือโลหะผสมในสภาพที่ยังเป็นของแข็งทำให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ [2]

การอบชุบที่สำคัญและใช้กันมาก มี 4 แบบ ดังนี้

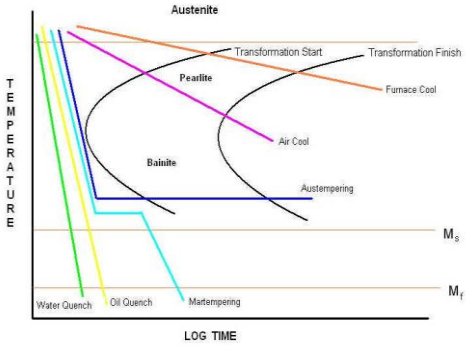
4.1.1 การชุบแข็ง (Hardening) หมายถึง การอบเหล็กให้เกิดโครงสร้างออสเทนไนท์และชุบเพื่อให้จะเกิดโครงสร้างมาเทนไซท์เพื่อเพิ่มความแข็ง จะเกิดได้ก็ต่อเมื่อเหล็กนั้นเย็นตัวเร็วกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤติ ดังรูปที่ 3-4



รูปที่ 3 กระบวนการการชุบแข็ง [2]

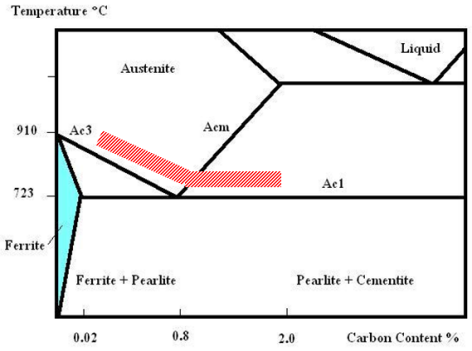
ความแข็งของเหล็กที่ผ่านการชุบจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 อย่าง คือ

1. ปริมาณโครงสร้างออสเทนไนท์ของเหล็ก
2. ปริมาณคาร์บอนในเหล็กที่เพียงพอ ถ้าเปอร์เซ็นต์คาร์บอนมีมาก มาร์เทนไซต์จะเกิดได้ง่ายและเกิดในปริมาณมาก แต่ถ้ามีเปอร์เซ็นต์คาร์บอนน้อย เฟสมาร์เทนไซท์จะเกิดน้อยหรือไม่เกิดเลย
3. อัตราการเย็นตัวในการชุบ ถ้าเย็นตัวเร็ว โอกาสที่ออสเทนไนท์ จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ก็มีมาก ถ้าเย็นตัวช้าๆ ออสเทนไนท์จะเปลี่ยนเป็นเฟอร์ไรท์กับซีเมนไตต์ ตามเฟสไดอะแกรม [4] ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 Time-Temperature transformation diagram (TTT) [4]

โดยเผาเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ 800-900 ^{o}C ถ้าคาร์บอน < 0.8%ให้ใช้อุณหภูมิเลยเส้น A_{C3} ประมาณ 50-75 ^{o}C , ถ้าคาร์บอน > 0.8% ให้ใช้อุณหภูมิเลยเส้น A_{C1} ประมาณ 50-75 ^{o}C ทำให้เกิดโครงสร้างออสเทนไนท์ แช่อุณหภูมิไว้ประมาณ 1 ชม. หรือความหนา 25 มม. เอาออกจากเตาทำให้เย็นโดยเร็ว ด้วยการจุ่มในน้ำหรือในน้ำมัน โครงสร้างออสเทนไนท์ จะเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 อัตราอุณหภูมิการชุบแข็งสำหรับเหล็กกล้า [2]

4.1.2 การอบคืนตัว (Tempering) เป็นการอบที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้เหล็กมีคุณสมบัติเหมาะในการใช้งานภายหลังจากการชุบแข็งเพื่อลดความเค้น เพิ่มความเหนียว ลดความเปราะลง เนื่องจากเหล็กที่ผ่านการชุบย่อมเกิดความเค้นขึ้นภายใน ถึงมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ขาดความเหนียวทำให้เปราะ หลังจากชุบแข็งแล้วจึงต้องนำมาอบ Tempering ก่อนนำไปใช้งานจริง

4.1.3 การอบอ่อน (Annealing) หมายถึง การอบและปล่อยให้เหล็กเย็นตัวอย่างช้าๆ เพื่อให้เหล็กมีความอ่อนตัว (Softening) หรือเพื่อทำให้เหล็กมีความเหนียว (Toughening) เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กที่ผ่านการขึ้นรูปเย็น (Cold Working) หรือการหล่อ (Casting) มักจะมีความแข็งมากและสมบัติทางกลที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้การกลึงหรือไสทำได้ยาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดความแข็งของเหล็กเพื่อให้การแปรรูปขั้นต่อไปทำได้ง่ายขึ้น

4.1.4 Normalizing (การอบปกติ) คือ การอบและมีอัตราเย็นตัวปานกลาง เป็นการลดขนาดของเม็ดเกรน (Grain Size) ของเหล็ก เพื่อทำให้คุณสมบัติของเหล็กสม่ำเสมอ (Homogenous) แต่ยังคงความแข็งแรงไว้ได้ โดยทั่วไปเหล็กที่ผ่านการหล่อ (Casting) หรือการรีดร้อนขึ้นรูป เช่น เหล็กรูปพรรณรีดร้อน (Hot-rolled bars) มักจะมีความแข็งหรือความเหนียวไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งแท่ง เนื่องจากการเย็นตัวที่ไม่เสมอกัน

4.2 การเตรียมชิ้นงานและชนิดของตัวกลางลดอุณหภูมิทดลอง

4.2.1 เหล็กเพลาเหลี่ยมตัน ทำการตกแต่งผิวงานให้เรียบด้วยการกลึงปาดผิวหน้า ขนาด 1 นิ้ว X 1 นิ้ว X 1 นิ้ว [1] จะใช้จำนวน n ชิ้นจากการหาสมการที่ 1 [5]

$$\emptyset^2 = \frac{n\sum_{i=1}^{a}\tau_i^2}{a\sigma^2} \quad (1)$$

เมื่อ n คือ ขนาดการทดลองซ้ำ, a คือ ระดับปัจจัยการทดลอง, σ คือ ความแปรปรวนของ Error

4.2.2 ชนิดของตัวกลาง มีน้ำมัน (ซึ่งเป็นแบบเดิมที่ใช้) น้ำผสมเกลือ และน้ำประปา

4.3 การหาขนาดจำนวนชิ้นงาน (n) เพื่อใช้ในการทดลองร่วมแต่ละปัจจัย [5] โดยต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักด้วยความน่าจะเป็นอย่างน้อย 0.90 และได้ทำการสุ่มชิ้นงานที่ผ่านการชุบผิวด้วยวิธีการแบบเดิมมาจำนวน 5 ชิ้น มีผลค่าเฉลี่ยความแข็งดังนี้

$\mu_1 = 95.56$ HRB , $\mu_2 = 101.02$ HRB , $\mu_3 = 93.80$ HRB

$\mu_4 = 98.16$ HRB , $\mu_5 = 96.34$ HRB

ใช้ค่า $\alpha = 0.05$ จะได้ค่า $\bar{\mu} = 96.58$ และ

$$\tau_1 = \mu_1 - \bar{\mu} = 95.56 - 96.58 = -1.02$$

$$\tau_2 = \mu_2 - \bar{\mu} = 101.02 - 96.58 = 4.44$$

$$\tau_3 = \mu_3 - \bar{\mu} = 93.80 - 96.58 = -2.78$$

$$\tau_4 = \mu_4 - \bar{\mu} = 98.16 - 96.58 = 1.58$$

$$\tau_5 = \mu_5 - \bar{\mu} = 96.34 - 96.58 = -0.24$$

ดังนั้น $\sum_{i=1}^{5}\tau_i^2 = 31.04$ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งผิวชิ้นงานไม่เกิน 2.49 HRB โดยใช้สมการที่ 2 [5]

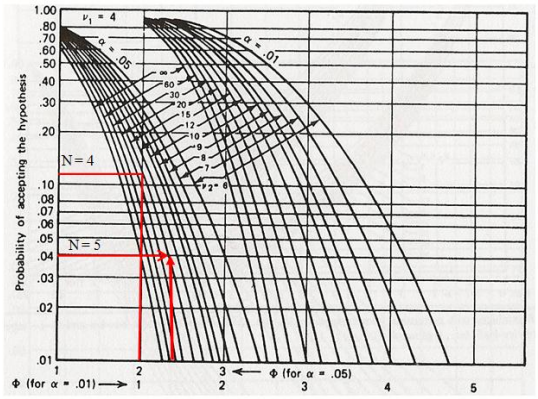
$$\emptyset^2 = \frac{n\sum_{i=1}^{5}\tau_i^2}{a\sigma^2} = \frac{n(31.04)}{5(2.49)^2} = 1n \quad (2)$$

ตารางที่ 2 การหาคำตอบในการหาค่า N ในการทดลอง

N	$\emptyset^2$	$\emptyset$	a(n – 1)	β	$\beta - 1$
4	4	2	15	0.13	0.87
5	5	2.23	20	0.04	0.96

เราใช้เส้นโค้ง OC Curve สำหรับ a – 1 = 5 – 1 = 4 ได้ $v_1 = 4$ โดยกำหนดค่า N = 4 และ 5 ตามลำดับที่ $\alpha = 0.05$ [5]

ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การค่าจำนวนชิ้นงานทำการทดลอง ด้วยกราฟ OC [5]

จากการคำนวณจำนวนชิ้นงานที่จะต้องทดลองซ้ำใน 2 ปัจจัยการทดลองในแต่ละระดับ จะต้องทดลองซ้ำ 5 ชิ้น ด้วยกันจึงมีความน่าจะเป็นเกินค่า 0.90 แต่เนื่องจากจำนวนชิ้นงานทดลองเมื่อทำการศึกษาจากงานวิจัยการเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางระหว่างการอบชุบและการเชื่อมพอกผิวสำหรับงานต้านทานการเสียดสี [1] ซึ่งเป็นการทดลองในการเพิ่มความแข็งของผิวชิ้นงานเหมือนกัน และใช้กรรมวิธีการชุบน้ำมันให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นสูงสุด ใช้ชิ้นทดลอง 3 ชิ้นงานในแต่ละปัจจัยการทดลอง จากผลที่ได้คำนวณค่า N ที่สมมุติ 4 ชิ้นงานในการทดลองซ้ำมีระดับคะแนนที่ใกล้ 0.90 ห่างเพียง 0.03 และเมื่อเทียบกับงานวิจัยดังกล่าวแล้วก็ถือว่ามากกว่าจำนวน 1 ชิ้นงาน แต่ถ้าจะใช้จำนวน N ที่ 5 ชิ้นงานก็ให้ถือว่ามีความน่าจะเป็นในค่าผลการทดลองอยู่ในระดับที่สูง แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูงตามมาด้วย จึงพิจารณาใช้การทดลองค่า N = 4 ชิ้นงานในการทดลองซ้ำในทดลอง 2 ปัจจัยในแต่ละระดับการทดลอง

4.4 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Version 14

เมื่อได้จำนวนชิ้นตามที่ได้กำหนดไว้ในข้างต้น ของแต่ละปัจจัยในแต่ละระดับมีจำนวน 4 ชิ้น [1] ดังนั้น ชิ้นงานที่ต้องเตรียมเพื่อการทดลองครั้งจำนวน 36 ตามการออกแบบการทดลองที่ 2 ปัจจัยการทดลองในแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ เพื่อทำการออกแบบรูปแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Version 14 [3] ผลที่ได้ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A (อุณหภูมิ)	B (ชนิดของตัวกลาง)
1	1	1	1	1	1
16	2	1	1	3	1
33	3	1	1	2	3
9	4	1	1	3	3
4	5	1	1	2	1
23	6	1	1	2	2
24	7	1	1	2	3
8	8	1	1	3	2
31	9	1	1	2	1
27	10	1	1	3	3
32	11	1	1	2	2
28	12	1	1	1	1
22	13	1	1	2	1
12	14	1	1	1	3
10	15	1	1	1	1
7	16	1	1	3	1
2	17	1	1	1	2
34	18	1	1	3	1
36	19	1	1	3	3
15	20	1	1	2	3
19	21	1	1	1	1
5	22	1	1	2	2
17	23	1	1	3	2
11	24	1	1	1	2
29	25	1	1	1	2
30	26	1	1	1	3
21	27	1	1	1	3
35	28	1	1	3	2
14	29	1	1	2	2

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Version 14 (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A (อุณหภูมิ)	B (ชนิดของตัวกลาง)
13	30	1	1	2	1
20	31	1	1	1	2
3	32	1	1	1	3
18	33	1	1	3	3
6	34	1	1	2	3
25	35	1	1	3	1
26	36	1	1	3	2

4.5 วิธีการทดลอง

4.5.1 จากการกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ได้เตรียมชิ้นงานจำนวน 36 ชิ้น และทำการสุ่มหยิบชิ้นงานเพื่อกำหนดหมายเลขชิ้นงาน ตั้งแต่หมายเลข 1 – 36 หมายเลขในแต่ละชิ้นงานจะถูกกำหนดให้เป็นเซตเดียวกันในระดับอุณหภูมิเดียวกันเพื่อควบคุมปัจจัยทางด้านอุณหภูมิไม่ให้มีผลต่อการทดลองในแต่ละช่วงอุณหภูมิที่ได้กำหนดไว้ที่ 800°C, 850°C และ 900°C ส่วนชนิดของตัวกลางที่ใช้ทั้ง 3 ชนิด คือ ใช้น้ำมัน (ซึ่งเป็นแบบเดิมที่ใช้), น้ำผสมเกลือ และน้ำประปา ในแต่ละชนิดของตัวกลางจะใช้จำนวนชิ้นงาน 4 ชิ้น ดังนั้นจะมีจำนวนชิ้นงาน 12 ชิ้น ที่ต้องเข้าเตาอบที่อุณหภูมิเดียวกัน การกำหนดหมายเลขชิ้นงานจะให้ StdOrder ในลำดับที่ 1 เป็นชิ้นงานที่ 1 เป็นข้อมูลการทดลองที่ A1(อุณหภูมิ) และ B1 (ชนิดของตัวกลาง) และในลำดับที่ 2 ที่ StdOrder เป็นชิ้นงานที่ 16 เป็นข้อมูลการทดลองที่ A3 (อุณหภูมิ) และ B1 (ชนิดของตัวกลาง) ทำจนครบจำนวน 36 ชิ้น [4] ก็จะได้ชิ้นงานที่เข้าตู้อบที่ของอุณหภูมิทั้ง 3 ระดับ

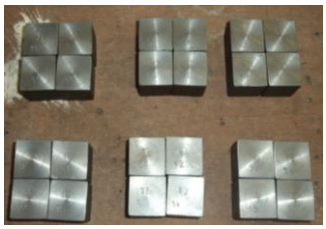
4.5.2 การตั้งอุณหภูมิจะแช่ทิ้งไว้ตามที่กำหนดไว้ที่ 20 นาที [4] เมื่อครบเวลาที่ได้กำหนดจะนำชิ้นงานมาจุ่มสารตัวกลางลดอุณหภูมิของแต่ละชนิดที่ได้กำหนดไว้ทันที ณ เวลาที่จุ่มชิ้นงานจะต้องกวนสารหรือเขย่าชิ้นงานไปด้วย ทุกเซตที่ทดลอง ณ อุณหภูมิที่ต่างกัน

4.5.3 นำชิ้นงานไปทำการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องร็อค เวล ชิ้นงาน 1 ชิ้นจะกดทดสอบค่าความแข็ง 3 ครั้งที่ไม่ใช้ตำแหน่งเดียวกัน แล้วใช้ค่าเฉลี่ยเป็นผลการทดลองที่ได้

4.5.4 นำผลที่ได้จากการทดลองครั้งนี้ในโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการออกทดลองแบบแฟคทรอเรียลกรณี 2 ปัจจัยๆ ละ 3 ระดับ

4.6 ลักษณะชิ้นงานในการทดลอง

ชิ้นงานมีทั้งหมด 36 ชิ้นจะกลึงปาดผิวเรียบงานทั้งสองด้านมีความหนา 1 นิ้ว และทำการสุ่มหยิบชิ้นงานตอกหมายเลข ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ชิ้นงานทดลองที่ได้ตอกหมายเลขและรหัสทดลอง

ชิ้นงานจะทดลองในอุณหภูมิที่ 800°C, 850°C และ 900°C ใช้สัญลักษณ์ อักษร B, T และ X ตามลำดับชนิดของสารตัวกลาง ได้แก่ น้ำมัน, น้ำผสมเกลือ, และน้ำประปา จะใช้หมายเลข 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น ชิ้นงานหมายเลข 1, B1 หมายถึง ชิ้นงานนี้ทดลองที่อุณหภูมิ 800°C ลดอุณหภูมิชิ้นงานด้วยน้ำมัน ตามตารางที่ 4 แบบการออกแบบการทดลอง เป็นการทำงานที่ 1 เป็นต้น

4.7 สารตัวกลางลดอุณหภูมิทั้ง 3 ชนิด

สารตัวกลางทั้ง 3 ชนิด จะอยู่ในอุณหภูมิห้องและการทดลองที่อุณหภูมิทั้ง 3 ระดับจะเปลี่ยนใหม่ทุกครั้ง ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 ชนิดของสารตัวกลางลดอุณหภูมิทั้ง 3 ชนิด

5. ผลการวิจัย

การนำชิ้นงานเดิม (Original) ที่ยังได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติความแข็งด้วยเครื่องทดสอบ ทำการทดสอบ 3 ครั้ง ในตำแหน่งที่ต่างกันบนชิ้นงานเดียวกันเพื่อค่าเฉลี่ยเป็นผลการทดลอง มีค่าความแข็งที่ 90.33 HRB และผลที่ได้จากการทดสอบชิ้นงานทั้งหมดตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลการวัดค่าความแข็งตามแผนการออกแบบทดลองของโปรแกรม Minitab Version 14

เบอร์ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	A	B	ผลการทดลอง			ผลเฉลี่ย
				ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
B1 800	1	1	1	93	97.2	96.5	95.57
	28	1	1	96.8	94.7	97.8	96.43
	10	1	1	93.4	99.8	99	97.40
	19	1	1	93.5	91.8	96.1	93.80
B2 800	2	1	2	102.2	102.1	102.9	102.40
	11	1	2	107.2	107.7	106.9	107.27
	29	1	2	103.4	101.5	104.8	103.23
	20	1	2	102.6	105	106.9	104.83
B3 800	12	1	3	103.8	105.8	109.8	106.47
	30	1	3	113.8	109.8	113.4	112.33
	21	1	3	107.4	104.9	104.3	105.53
	3	1	3	107.1	109.2	114.6	110.30
T1 850	22	2	1	97.7	100.8	99.2	99.23
	13	2	1	97.9	100.5	98.7	99.03
	4	2	1	96.9	99	96.9	97.60
	31	2	1	94.2	98.5	101.8	98.17

ตารางที่ 4 ผลการวัดค่าความแข็งตามแผนการออกแบบทดลองของโปรแกรม Minitab Version 14 (ต่อ)

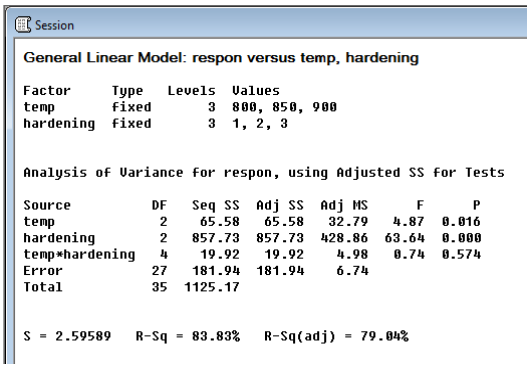
เบอร์ชิ้นงาน	ชิ้นงาน	A	B	ผลการทดลอง			ผลเฉลี่ย
				ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
T2 850	5	2	2	100.7	103.9	105.8	103.47
	14	2	2	104	107.4	103.8	105.07
	23	2	2	102	108.9	108.5	106.47
	32	2	2	98.7	100.4	95	98.03
T3 850	6	2	3	107.2	112.4	113.5	111.03
	33	2	3	107.4	110	112.5	109.97
	24	2	3	110.4	116.1	111.8	112.77
	15	2	3	106.1	110.2	107.8	108.03
X1 900	25	3	1	99.9	101.1	105.4	102.13
	16	3	1	95.6	102.9	100.7	99.73
	7	3	1	93.9	99.2	105.5	99.53
	34	3	1	98.7	103.2	103.3	101.73
X2 900	17	3	2	99.8	111.2	109	106.67
	35	3	2	105.7	104.3	111.9	107.30
	26	3	2	101.8	103.8	110.3	105.30
	8	3	2	99	106.7	108.8	104.83
X3 900	18	3	3	104.9	105.4	105	105.10
	9	3	3	110.8	114.1	111.4	112.10
	27	3	3	115.4	115.9	113.8	115.03
	36	3	3	112.8	117.9	114.7	115.13

โดยเมื่อเทียบกับชิ้นงานเดิมไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

ตารางที่ 5 ค่าความแข็งชิ้นงานเดิมไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ

ชิ้นงาน	ผลการทดลอง			ผลเฉลี่ย
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	
ชิ้นงานเดิมไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัติ	89.1	88.6	93.3	90.33

ผลจากการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab Version 14 และวิเคราะห์รูปแบบการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 9



Session

General Linear Model: respon versus temp, hardening

Factor Type Levels Values
temp fixed 3 800, 850, 900
hardening fixed 3 1, 2, 3

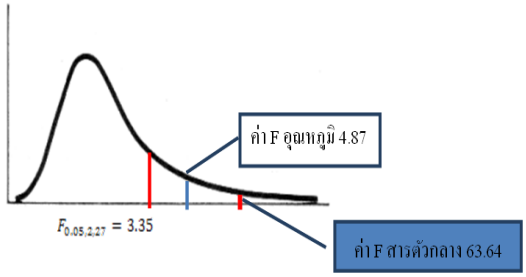
Analysis of Variance for respon, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
temp	2	65.58	65.58	32.79	4.87	0.016
hardening	2	857.73	857.73	428.86	63.64	0.000
temp*hardening	4	19.92	19.92	4.98	0.74	0.574
Error	27	181.94	181.94	6.74		
Total	35	1125.17				

S = 2.59589 R-Sq = 83.83% R-Sq(adj) = 79.04%

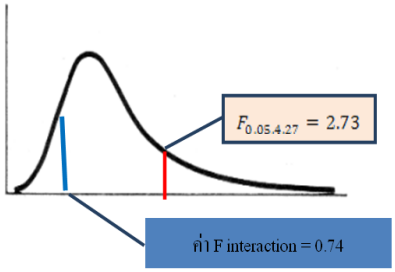
รูปที่ 9 ชนิดของสารตัวกลางลดอุณหภูมิทั้ง 3 ชนิด

ผลการทดลองของการวิเคราะห์ความแปรปรวน ในผลหลักของอุณหภูมิและสารตัวกลางลดอุณหภูมิที่$F_{0.05,2,27} = 3.35$ มีค่าเท่ากัน ค่า F อุณหภูมิ เท่ากับ 4.87 และค่า F สารตัวกลางลดอุณหภูมิ เท่ากับ 63.64 ผลที่ได้ตกเขตพื้นที่วิกฤต แสดงว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ α = 0.05 ดังแสดงในรูปที่ 10

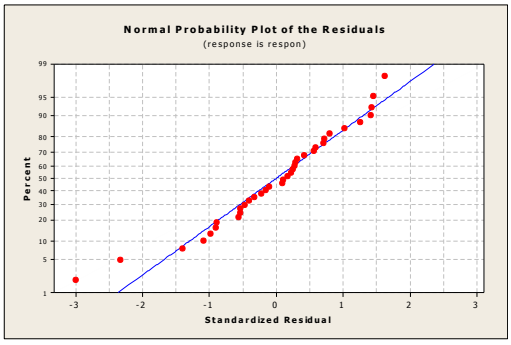


รูปที่ 10 ค่าแสดงผลของปัจจัยหลักในกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ F

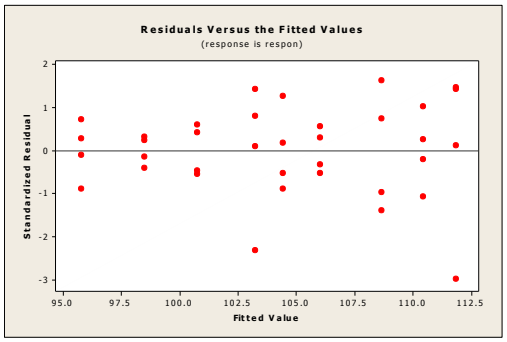
ผลของการ Interaction ที่เกิดจากอุณหภูมิและสารตัวกลางลดอุณหภูมิ ที่ $F_{0.05,4,27} = 2.73$ จากผลการรันโปรแกรม มีค่า F เท่ากับ 0.74 ตกอยู่ในเขตสมมติฐานหลัก และค่า Pเท่ากับ 0.574 มากกว่าที่ α = 0.05 แสดงว่าไม่มีผลกระทบร่วมกัน, โดยใช้กราฟแสดงการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ และ Dot Diagram ของส่วนตกค้าง, กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับ $\hat{y}_{ijk}$, กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับอุณหภูมิ และกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับชนิดของสารตัวกลางลดอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 11 ถึง 15



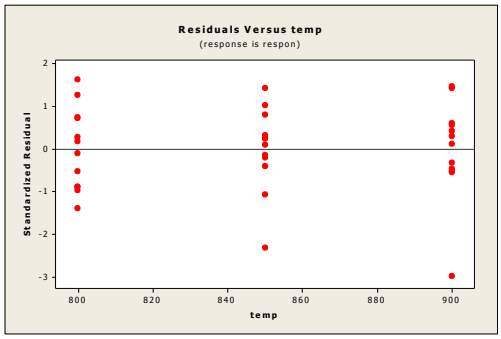
รูปที่ 11 ค่าแสดงผลของ interactionในกราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ F



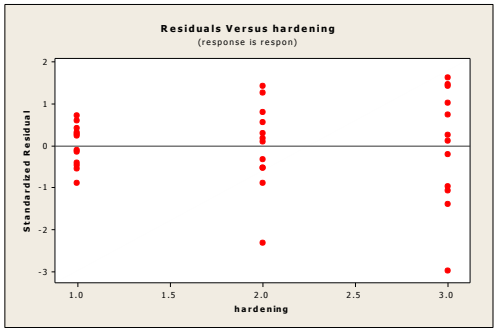
รูปที่ 12 การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ และ Dot Diagram ของส่วนตกค้าง



รูปที่ 13 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับ $\hat{y}_{ijk}$



รูปที่ 14 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับอุณหภูมิ

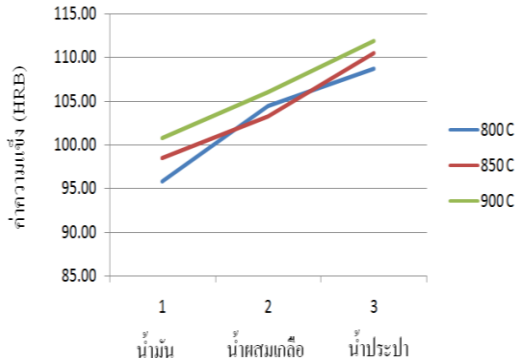


รูปที่ 15 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับชนิดของสารตัวกลางลดอุณหภูมิ

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เป็นการทดลองแฟคทอเรียล โดยการออกแบบแผนการทดลองศึกษาปัจจัยอุณหภูมิและชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ในการชุบผิวแข็งเหล็กชิ้นงานเพลาเหลี่ยมตันมีคาร์บอนผสมต่ำ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งชิ้นงาน คือ อุณหภูมิและชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ทั้งยังพบว่ามีความเป็นไปได้ในการเพิ่มความแข็งของหัวค้อนย้ำหมุดและระดับความเหมาะสมที่อุณหภูมิและชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ ซึ่งจากกราฟแสดงผลการทดลองทั้ง 2 ปัจจัยๆ ละ 3 ระดับจะเห็นได้ว่า ถ้าอุณหภูมิสูงที่ 900°C จะให้ผลที่ได้จากการเปลี่ยนโครงสร้างเหล็กเป็นออสเทนไนท์และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วด้วยน้ำประปาจะทำให้ค่าความแข็งที่ผิวชิ้นงานมีมากที่สุด จากเดิมที่ไม่ผ่านกระบวนการมีค่าประมาณ 90 HRB มีค่าเพิ่มขึ้นที่ได้จากการทดลองประมาณ 111 HRB เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 23.3 และอุณหภูมิที่ต่ำลงมา สารตัวกลางลดอุณหภูมิ คือ น้ำผสมเกลือและน้ำมัน จะให้ค่าความแข็งในการชุบผิวน้อยลงมาตามลำดับ ซึ่งไม่มีผลกระทบร่วมกันจากค่า F เท่ากับ 0.74 ตกอยู่ในเขตสมมติฐานหลัก และค่า P เท่ากับ 0.574 มากกว่าที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 เมื่อศึกษาโดยใช้กราฟผลกระทบหลักและกราฟผลกระทบร่วมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ดังรูปที่ 11 ถึง 15 และสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 กราฟเปรียบเทียบแสดงผลการทดลอง

6.2 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

เนื่องจากเหล็กเพลาตันจะมีเปอร์เซ็นคาร์บอนที่ต่ำ จะสามารถเพิ่มระดับความแข็งหรือปรับปรุงคุณสมบัติได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเหมาะกับการใช้งานบางประเภท เช่น งานเสียดสี เป็นต้น ส่วนพวกงานกระแทกจะใช้ได้ไม่ค่อยดี เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเหล็กเอง

ส่วนสารตัวกลางที่ใช้ในการชุบผิวแข็งเหล็กชิ้นงานเพลาเหลี่ยมตันมีคาร์บอนผสมต่ำ ต้องพิจารณาในการใช้งานให้เหมาะกับชนิดของชิ้นงาน เช่น น้ำเกลือจะช่วยลดการเกิดฟองที่ผิวสัมผัสระหว่างเหล็กกับน้ำ ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสเยอะขึ้น และถ่ายเทความร้อนได้เร็วขึ้น น้ำเกลือจะให้อัตราการเย็นตัวที่สูงกว่าน้ำ

ส่วนน้ำมันจะไม่มีการเดือด อาศัยการพาความร้อนอย่างเดียว จึงให้อัตราการเย็นตัวที่ต่ำ สมบัติสำคัญของน้ำมันที่จะใช้เป็นสารชุบคือ ความหนืด ถ้าหนืดมาก จะพาความร้อนได้ไม่ดี แต่ถ้าน้ำมันใสหนืดน้อย จะพาความร้อนได้ดีขึ้น เช่น การอุ่นน้ำมัน จะทำให้เพิ่มอัตราการเย็นตัวของเหล็กที่ชุบได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่เอื้อเฟื้อ วัสดุ, เครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการทดลองงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สุขอังคณา ลี และคณะ. (2555). **การเปรียบเทียบความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางระหว่างการอบชุบ และการเชื่อมพอกผิวสำหรับงานต้านทานการเสียดสี.** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2555. ชะอำ เพชรบุรี

[2] กิตติมา ศิลปษา และ สุขอังคณา ลี. (2550). **กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า.** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[3] สมบัติ สินธุเชาว์. (2555). **เอกสารประกอบการสอน การออกแบบการทดลอง.** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

[4] มนัส สถิรจินดา. (2538). **วิศวกรรมการอบชุบเหล็ก.** สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] ปารเมศ ชุติมา. (2545.) **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. **การวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อปพับลิชชิ่ง จำกัด.

[7] **ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ Minitab** 16. (2551). สืบค้นเมื่อ 4 กุมภาพันธ์2556. แหล่งที่มา http://www.overclockzone.com

[8] Montgomery, D.C. 2009. **Design and analysis of experiment.** (7th Edition), The United States of America: John Wiley & Sons.