

การศึกษาประสิทธิภาพทิศทางการกัดงานที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว
โดยวิธีทาคุชิ

A STUDY OF EFFICIENCY OF MILLING DIRECTION ON SURFACE
ROUGHNESS BY USING TAGUCHI METHOD

คมพันธ์ ชมสมุทร¹ และ สุกัญญา เชิดชูงาม²

¹อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 1381 ถนนประชาราษฎร์สาย 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800, Kompan.c@rmutp.ac.th

²อาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 1381 ถนนประชาราษฎร์สาย 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800, sukanya.che@rmutp.ac.th

Kompan Chomsamutr¹ and Sukanya Cherdchoongam²

¹Lecturer, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala
University of Technology Phra Nakhon, 1381 Pracharat 1 Rd. Wongsawang, Bangsue,
Bangkok 10800, Thailand, Kompan.c@rmutp.ac.th

²Lecturer, Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala
University of Technology Phra Nakhon, 1381 Pracharat1 Rd. Wongsawang, Bangsue
Bangkok 10800, Thailand, sukanya.che@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทิศทางการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกล
อัตโนมัติ โดยใช้ทองเหลืองเป็นวัสดุทดสอบ สำหรับเครื่องกัดอัตโนมัติขนาดเล็ก โดยไม่ใช้น้ำหล่อ
เย็น ทดลองด้วยดอกกัด (End mill) ขนาด 10 มิลลิเมตร แบบ 4 ฟัน หาค่าประสิทธิภาพการกัด
ชิ้นงานโดยวัดจากค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ทำการเปรียบเทียบทิศทางการกัดชิ้นงาน 2
ทิศทาง คือการชดเชยรัศมีดอกกัดออกทางด้านซ้ายด้วย G41 (Tool path Compensation Left)
และ การชดเชยรัศมีดอกกัดออกทางด้านขวาด้วย G42 (Tool path Compensation Right) โดย
กำหนดปัจจัยการทดสอบ 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ คือ ความเร็วรอบ 1200, 1500 และ 1800
รอบต่อนาที อัตราป้อน 80, 100 และ 120 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะป้อนลึก 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร

เก็บข้อมูลการทดสอบตามวิธีทาคุชิ (Taguchi method) พบว่าชิ้นงานที่กัดด้วยทิศทางการกัดด้านซ้าย ให้ค่าความหยาบผิวน้อยกว่าชิ้นงานที่กัดด้วยทิศทางการกัดด้านขวา นั่นคือ ทิศทางการกัดทองเหลืองที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกัดอัตโนมัติขนาดเล็กโดยไม่ใช้น้ำหล่อเย็นคือ การกัดชิ้นงานด้านซ้าย (G41) โดยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวมากที่สุด คือ ระยะป้อนลึก คิดเป็นร้อยละ 77.81 รองลงมาคืออัตราป้อน และความเร็วรอบ คิดเป็นร้อยละ 14.16 และ 8.02 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ทิศทางการกัดงาน, เครื่องกัดอัตโนมัติ, วิธีการทาคุชิ

ABSTRACT

This study aimed to compare efficiency of milling direction from an automatic milling machine by using brass as a testing material to test on a mini CNC milling without the use of coolant. A series of experiments were done with a 10-millimeter, 4-flute end mill and milling efficiency was measured on surface roughness in two milling directions: tool path compensation left (G41) and tool path compensation right (G42). The experiments was controlled by 3 test factors, each with three levels: spindle speed of 1,200, 1,500 and 1,800 round per minute, feed rate of 80, 100 and 120 millimeters per minute and depth of cut of 3, 4 and 5 millimeters. From data collection by using Taguchi method, it was found that a sample milled from the left direction had less surface roughness than a sample milled from the right direction. That is, an appropriate brass milling direction for the mini milling CNC without the use of coolant was left-hand milling direction (G41). It was also found that the factor affecting to surface roughness most was depth of cut (77.81 percent), followed by feed rate and spindle speed (14.16 and 8.02 percent respectively).

KEYWORDS: Milling Direction, CNC Milling, Taguchi Method

1. บทนำ

ปัจจุบันการผลิตชิ้นส่วนโดยใช้วัสดุทองเหลืองด้วยเครื่องกัดอัตโนมัติขนาดเล็ก (Mini CNC milling) โดยส่วนมากจะปราศจากการใช้น้ำหล่อเย็นเนื่องจากข้อกำหนดในการสร้างเครื่องจักร และผู้ผลิตต้องควบคุมเวลาให้งานเสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นในการกำหนดเงื่อนไขในการตัด ได้แก่ ความเร็วตัด (Cutting speed) ความเร็วรอบ (Spindle speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องกำหนดให้มีค่าความหยาบผิว (Surface roughness) ที่ดีที่สุดในทางเทคนิคสำหรับโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่ผู้ผลิต

โดยส่วนใหญ่มองข้ามไปหรือไม่ถึง คือ ทิศทางการกัด ตามโปรแกรม G-Code ได้แก่ G41 และ G42

ทิศทางการกัดงาน G41 คือการชดเชยรัศมีดอกกัดออกทางด้านซ้าย (Tool path Compensation Left) และ G42 คือการชดเชยรัศมีดอกกัดออกทางด้านขวา (Tool path Compensation Right) เป็นการชดเชยขนาดดอกกัดตามเส้นของรูป [1] ดังนั้นการเขียนโปรแกรมงานกัดจะสามารถเขียนโปรแกรมจากขนาดกำหนดในแบบได้โดยตรง ส่วนขนาดของดอกกัดจะถูกป้อนเข้าไปเก็บไว้ในส่วนเก็บข้อมูล การชดเชยขนาดด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถเลือกใช้ดอกกัดได้หลายขนาด ANIL CHOUBEY et al [2] ได้ใช้หลักการออกแบบการทดลองในการหาเงื่อนไขการกัดงานที่เหมาะสม ด้วยวิธีการ Taguchi โดยกำหนดปัจจัยคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ระยะป้อนลึก และความกว้างในการกัด เพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิว และอัตราการเคลื่อนที่ของวัสดุที่ดีที่สุด โดยได้ค่าความเหมาะสมเท่ากัน คือความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อัตราป้อน 1000 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะป้อนลึก 0.01 มิลลิเมตร และความกว้างในการกัด 0.1 มิลลิเมตร M.A. Hadi et al [3] ได้เปรียบเทียบการกัดงานแบบ up-milling และ down-milling โดยใช้วัสดุ Inconel 718 โดยกำหนดระยะป้อนลึก (Depth of cut) ที่ 0.50, 0.75, 1.00 มิลลิเมตร อัตราป้อน (Feed rate) ที่ 0.10, 0.15, 0.20 มิลลิเมตรต่อฟัน และความเร็วตัด (Cutting speed) ที่ 100, 120, 140 เมตรต่อนาที ตามลำดับ โดยพบว่าทิศทางการกัดที่เหมาะสมคือ down-milling เมื่อใช้ค่า ความเร็วตัดต่ำกว่าการสึกหรอของเครื่องมือจะเกิดขึ้นน้อยกว่าและยังให้ค่าความหยาบผิวที่ดีกว่า Pratyusha J et al [4] ใช้วิธีการทาภูเขาชิกับวัสดุสแตนเลส AISI 304 เพื่อหาผลกระทบเงื่อนไขในการกัดงานโดยการกำหนดปัจจัยคือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และระยะป้อนลึก โดยกำหนดให้อัตราป้อนถูกควบคุมด้วยเวลา (mm/min) พบว่าระยะป้อนลึกในการกัดมีอิทธิพลในการกัดงานมากที่สุดที่ 53.65 % ความเร็วรอบที่ 29.59 % และอัตราป้อนที่ 9.92 % โดยมีค่าความผิดพลาด (Error) 6.89 % ตามลำดับ Muataz Hazza Faizi Al-Hazza et al [5] ได้หาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับผิวงานที่ดีที่สุด โดยวิธีการทาภูเขาชิสำหรับวัสดุที่มีความแข็ง 52-56 HRC โดยกำหนดปัจจัยคือ ความเร็วตัด ที่ 120-240 m/min อัตราป้อน 0.05-0.15 mm/tooth และระยะป้อนลึก 0.10 – 0.20 mm พบว่าปัจจัยที่เหมาะสมอยู่ที่ ความเร็วตัด ที่ 240 m/min อัตราป้อน 0.05 mm/tooth และระยะป้อนลึก 0.20 mm ตามลำดับ Ali Abbar Khleif et al [6] ได้ศึกษาเรื่องผลกระทบจากการกำหนดเงื่อนไขในการกัดงาน ที่ส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือและค่าความหยาบผิวชิ้นงานกับวัสดุสแตนเลส 316L โดยกำหนดความเร็วรอบของเครื่องมือที่ 350, 550, 930, และ 1100 รอบต่อนาที แล้วมาคำนวณหาความเร็วตัด (Cutting speed) จะได้ค่า 20, 31, 53, 62 เมตรต่อนาที โดยใช้ค่าระยะป้อนลึก (Depth of cut) และอัตราป้อน (Feed rate) คงที่ 2.25 มิลลิเมตร และ 50 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ หลังจากกัดชิ้นงานผ่านไป 30-69 นาที การสึกหรอของเครื่องมือจะมีค่าสูงขึ้นที่เวลา 69 นาที ที่ความเร็วตัด 20 เมตร

ต่อหน้าที และถ้าใช้เวลาคงที่ 30 นาที การสึกหรอของเครื่องมือจะมีค่าสูงสุดที่ความเร็วตัด 62 เมตรต่อหน้าที โดยให้ค่าความหยาบผิวดีที่สุด $R_a = 1.526$ ไมโครเมตร

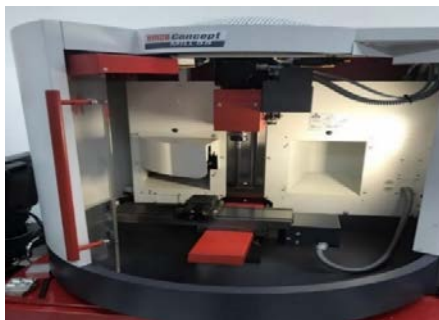
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อเปรียบเทียบทิศทางการกัดงานระหว่าง G41 และ G42 โดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) รุ่น PC-MILL55

2.2 เพื่อหาเงื่อนไขและทิศทางการกัดงานที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว (Surface roughness)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) รุ่น PC-MILL55 เครื่องหมายการค้า EMCO และใช้ระบบควบคุม EMCOTRONIC TM02



รูปที่ 1 เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) รุ่น PC-MILL55

3.2 เครื่อง Surface Roughness Tester รุ่น SJ-400 (Stylus 5 μ m) วัดความหยาบผิวมาตรฐาน ANSI 1995



รูปที่ 2 เครื่องวัดความหยาบผิว SJ400

4. วิธีการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้เก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) รุ่น PC-MILL55 เครื่องหมายการค้า EMCO และใช้ระบบควบคุม EMCOTRONIC TM02 [7] ทดลองโดยปราศจากการใช้น้ำหล่อเย็น (Coolant) ใช้วัสดุทองเหลืองและเก็บข้อมูลโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ กำหนดปัจจัยที่ต้องควบคุมทั้งหมด 4 ปัจจัย คือ ทิศทางการกัดชิ้นงาน ความเร็วรอบ (Spindle speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) นำปัจจัยทั้งหมดมาใช้ออกแบบการทดลอง โดยทดสอบกับชิ้นงานและมีค่าผลตอบสนองเป็นค่าความหยาบผิว (Surface roughness) โดยมีรายละเอียดของการกำหนดปัจจัยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วัสดุทดสอบ ปัจจัยควบคุมและระดับของปัจจัยควบคุมในการทดลอง

วัสดุทดสอบ	ปัจจัยควบคุม	ระดับของปัจจัยควบคุม
ทองเหลือง	ทิศทางการกัดชิ้นงาน (G)	2 ระดับ : Code-G41, Code-G42
	ความเร็วรอบ (N)	3 ระดับ : 1200, 1500, 1800 รอบต่อนาที
	อัตราป้อน (F)	3 ระดับ : 80, 100, 120 มิลลิเมตรต่อนาที
	ระยะป้อนลึก (D)	3 ระดับ : 3, 4, 5 มิลลิเมตร

จากตารางที่ 1 แสดงปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลองกัดชิ้นงาน ซึ่งมี 3 ปัจจัย 3 ระดับ และ 1 ปัจจัย 1 ระดับ หากทำการทดลองแบบ Full factorial design จะต้องทำการทดลองทั้งสิ้น $3^3 \times 2^1 = 54$ การทดลอง ซึ่งในการทดลองแต่ละครั้งจะมีค่าใช้จ่ายมาก เช่นค่าวัสดุ ค่าอุปกรณ์ ค่าเครื่องมือ และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายดังกล่าวจึงลดการทดลองโดยใช้วิธีทากูชิ เพื่อลดจำนวนครั้งในการทดลองโดยในแต่ละทิศทางการกัดงานจะมี 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ แผนการทดลองที่เหมาะสมคือ Orthogonal Array L9 ซึ่งมีระดับชั้นความอิสระเท่ากับ 9 และสามารถกำหนดแผนการทดลองโดยใช้ Orthogonal Array L9 ตามวิธีทากูชิตั้งแสดงในตารางที่ 2 แล้วกำหนดเงื่อนไขการทดลองตามตารางที่ 3

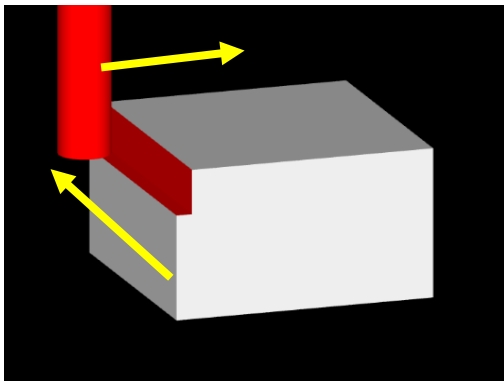
ตารางที่ 2 แผนการทดลอง (Matrix Experiment) ที่เหมาะสม Orthogonal Array L9

ลำดับการทดลอง	ระดับปัจจัย		
	1	2	3
1	1 (-)	1 (-)	1 (-)
2	1 (-)	2 (0)	2 (0)
3	1 (-)	3 (+)	3 (+)
4	2 (0)	1 (-)	2 (0)
5	2 (0)	2 (0)	3 (+)
6	2 (0)	3 (+)	1 (-)
7	3 (+)	1 (-)	3 (+)
8	3 (+)	2 (0)	1 (-)
9	3 (+)	3 (+)	2 (0)

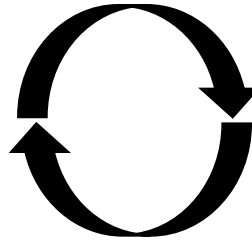
ตารางที่ 3 การกำหนดเงื่อนไขการทดลองตามแผนการทดลองโดยใช้ Orthogonal Array L9

ลำดับการทดลอง	ปัจจัยที่ทำการควบคุมในการทดลอง		
	D ระยะป้อนลึก (mm)	N ความเร็วรอบ (RPM)	F อัตราป้อน (mm/min)
1	(1) 3	(1) 1200	(1) 80
2	(1) 3	(2) 1500	(2) 100
3	(1) 3	(3) 1800	(3) 120
4	(2) 4	(1) 1200	(2) 100
5	(2) 4	(2) 1500	(3) 120
6	(2) 4	(3) 1800	(1) 80
7	(3) 5	(1) 1200	(3) 120
8	(3) 5	(2) 1500	(1) 80
9	(3) 5	(3) 1800	(2) 100

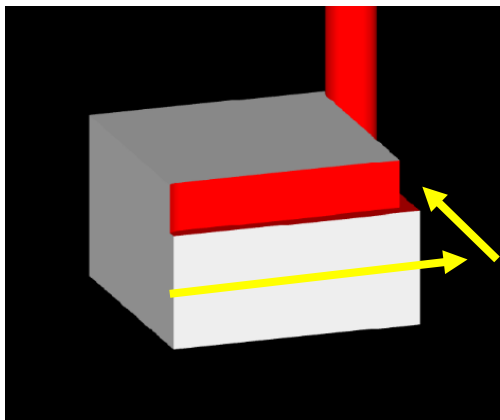
จากแผนการทดลองตามวิธีการทากูชิ โดยกำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ซึ่งไม่รวมปัจจัยของทิศทางการกัดชิ้นงานซึ่งมี 2 ระดับ คือ G41 คือการชดเชยรัศมีดอกกัดออกทางด้านซ้าย (Tool path Compensation Left) และ G42 คือการชดเชยรัศมีดอกกัดออกทางด้านขวา (Tool path Compensation Right) จึงต้องทำการทดลองตามแผนการทดลองตามวิธีทากูชิทั้ง 2 ทิศทาง ด้วยแผนเดียวแต่มีทิศทางการกัดชิ้นงานต่างกันดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ซึ่งแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของดอกกัด แต่ในความเป็นจริงของการกัดงานดอกกัดจะอยู่กับที่แต่โต๊ะชิ้นงานจะเคลื่อนที่



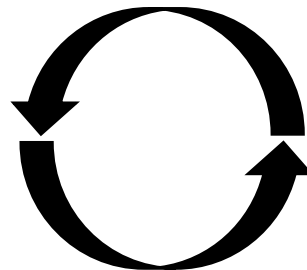
คำสั่ง G41 Tool path Compensation Left



รูปที่ 3 รูปแบบการทำงานของคำสั่งการกัด G41



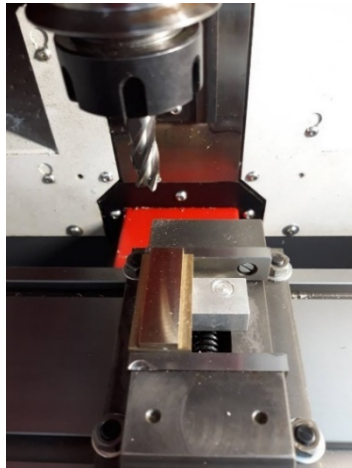
คำสั่ง G42 Tool path Compensation Right



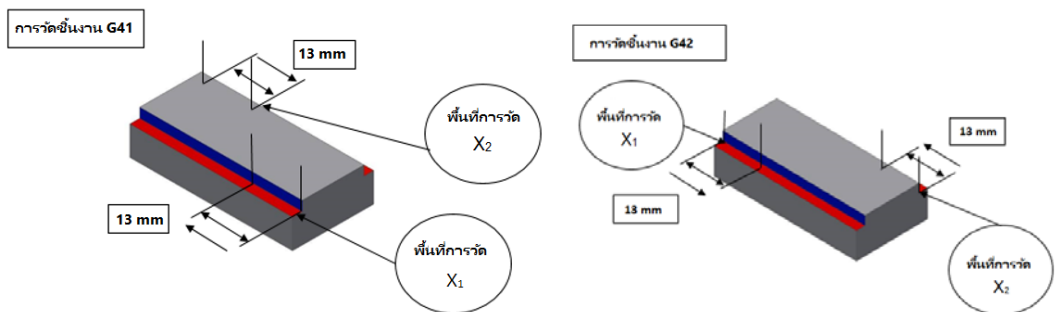
รูปที่ 4 รูปแบบการทำงานของคำสั่งการกัด G42

5. ขั้นตอนการทดลอง

ชิ้นงานทดสอบเป็นทองเหลืองขนาด 1x2x0.25 นิ้ว ผ่านการปาดหน้าผิวดิบด้านนอกออก ดังแสดงในรูปที่ 5 และทำการกัดตามทิศทาง G41 และ G42 ปราศจากการใช้น้ำหล่อเย็น โดยการกำหนดเงื่อนไขการกัดงานตาม Orthogonal Array L9 แล้วทำการวัดค่าความหยابผิวในพื้นที่ X_1 และ X_2 ตามลำดับ แล้วเฉลี่ยค่าที่วัดได้เพื่อเป็นตัวแทนของการทดลองนั้น ดังแสดงในรูปที่ 6 และได้ผลค่าความหยابผิวตามตารางที่ 4



รูปที่ 5 ชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 6 พื้นที่การวัดค่าความหยابผิว ของ G41 และ G42

ตารางที่ 4 ความหยาบผิวของทองเหลืองที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยในการทดลอง 9 ชุด ด้วยทิศทางการกัด G41 และ G42

ลำดับการทดลอง	ทิศทางการกัด G41 ปัจจัย			ความหยาบผิว : (μm)	
	D (mm)	N (RPM)	F (mm/min)	G41	G42
1	3	1200	80	0.72	1.04
2	3	1500	100	0.70	1.35
3	3	1800	120	0.66	1.04
4	4	1200	100	1.07	1.49
5	4	1500	120	1.26	1.24
6	4	1800	80	1.19	1.45
7	5	1200	120	1.15	1.70
8	5	1500	80	0.95	1.24
9	5	1800	100	0.96	1.41

6. ผลการดำเนินงาน

จากแผนการทดลองตามวิธีการทากูชี่ที่ได้กล่าวไว้ ซึ่งได้กำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ทำการวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

6.1 ค่าอัตราส่วน S/N – Ratio ของความหยาบผิว

จากการทดสอบชิ้นงานด้วยระดับปัจจัยที่แตกต่างกันได้ค่าความหยาบผิวดังตารางที่ 4 นำมาใช้ในการคำนวณหาค่า S/N – Ratio โดยค่าความหยาบผิวหาค่าอัตราส่วน S/N – Ratio ชนิดที่ค่าตอบสนองที่น้อยที่สุดคือค่าที่ดีที่สุด (the smaller – the better) ตามสมการที่ 1 และสามารถสรุปผลได้ตามตารางที่ 5

S/N – Ratio แบบ the smaller – the better

$$S / N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

เมื่อ S/N แทน อัตราส่วนของ S/N ในแต่ละ Experiment Number
 n แทน จำนวนการทดลองซ้ำในแต่ละ Experiment Number
 y_j แทน ค่าตอบสนอง (Response) ในแต่ละครั้งของการทดลองของแต่ละ Experiment Number

ตารางที่ 5 สรุปอัตราส่วน S/N – Ratio คำนวณค่าความหยาบจากผลการทดลอง 9 ชุด

ลำดับการทดลอง	ระยะป้อนลึก (mm)	ความเร็วรอบ (RPM)	อัตราป้อน (mm/min)	G41			G42			
	D	N	F	ความหยาบผิว	MSD	S/N-Ratio	ความหยาบผิว	MSD	S/N-Ratio	
1	3	1200	80	0.72	0.52	2.85	1.04	1.08	-0.34	
2	3	1500	100	0.70	0.49	3.10	1.35	1.82	-2.61	
3	3	1800	120	0.66	0.44	3.61	1.04	1.08	-0.34	
4	4	1200	100	1.07	1.15	-0.59	1.49	2.22	-3.46	
5	4	1500	120	1.26	1.59	-2.01	1.24	1.54	-1.87	
6	4	1800	80	1.19	1.42	-1.51	1.45	2.10	-3.23	
7	5	1200	120	1.15	1.32	-1.21	1.70	2.89	-4.61	
8	5	1500	80	0.95	0.90	0.45	1.24	1.54	-1.87	
9	5	1800	100	0.96	0.92	0.36	1.41	1.99	-2.98	
				Average			0.56	Average		-2.37

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าความหยาบผิวของ G41 ที่ได้อยู่ในช่วง 0.66-1.26 ไมโครเมตร และค่ากลางเบี่ยงเบนมาตรฐาน (MSD) ของค่าความหยาบผิวอยู่ระหว่าง 0.44-1.59 อัตราส่วน S/N-Ratio ที่ได้ของค่าความหยาบผิวอยู่ระหว่าง -2.01 ถึง 3.61 โดยมีค่าเฉลี่ยของ S/N-Ratio อยู่ที่ 0.56 และค่าความหยาบผิวของ G42 ที่ได้อยู่ในช่วง 1.04-1.70 ไมโครเมตร ค่ากลางเบี่ยงเบนมาตรฐาน (MSD) ของค่าความหยาบผิวอยู่ระหว่าง 1.082-2.89 อัตราส่วน S/N-Ratio ที่ได้ของค่าความหยาบผิวอยู่ระหว่าง -4.61 ถึง -0.34 โดยมีค่าเฉลี่ยของ S/N-Ratio อยู่ที่ -2.37

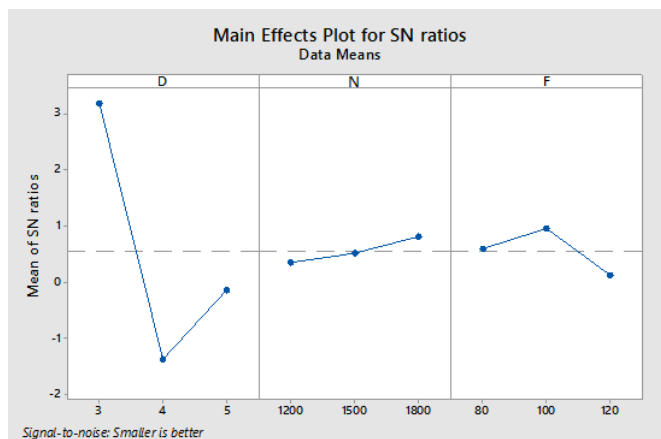
6.2 การวิเคราะห์ค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของความหยาบผิวของ G41

ค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของปัจจัยควบคุมใดมีค่ามากหมายความว่าที่ระดับปัจจัยควบคุมนั้นจะมีผลทำให้คุณภาพงานออกมาไม่ดี โดยได้ผลการวิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัยโดยอาศัยค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของความหยาบผิวดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัยโดยอาศัยค่า S/N-Ratio เฉลี่ยความหยาบผิว G41

ปัจจัย	ค่า S/N-Ratio เฉลี่ย			min	max	max-min	%main effect
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3				
D	3.19	-1.37	-0.14	-1.37	3.19	4.56	77.81
N	0.35	0.51	0.82	0.35	0.82	0.47	8.02
F	0.60	0.96	0.13	0.129	0.96	0.83	14.16
					รวม	5.86	100

จากตารางที่ 6 ค่า S/N-Ratio เฉลี่ย จะถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัย จากผลต่างของค่าของระดับปัจจัยที่สูง (max) และต่ำ (min) และทำการวิเคราะห์ร้อยละของอิทธิพลหลัก (%main effect) ของแต่ละปัจจัยดังนี้ ของปัจจัย D=77.81% ของปัจจัย N= 8.02% ของปัจจัย F=14.16% พบว่า ระยะเวลา (D) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของความหยาบผิวของชิ้นงานมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 77.81 รองลงมาคือ อัตราป้อน (F) และความเร็รรอบ (N) ตามลำดับ จากผลในตารางที่ 6 สามารถสร้างกราฟผลตอบสนอง S/N-Ratio โดยขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยที่ถูกคำนวณสำหรับแต่ละระดับปัจจัยและผลกระทบรวมได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของระดับต่าง ๆ ของปัจจัยกับค่า S/N-Ratio ของความหยาบผิว G41

จากรูปที่ 7 พบว่าที่ระดับปัจจัย N และ F ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่า S/N-Ratio ของค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน น้อยมาก เมื่อเทียบกับระดับปัจจัย D ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่า S/N-Ratio ของค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมาก โดยที่ D ระดับที่ 2 ทำให้ค่า S/N-Ratio ของค่าความหยาบผิวของชิ้นงานต่ำที่สุด โดยสรุปจากกราฟหากต้องการให้ได้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานต่ำที่สุด ควรกำหนด D ระดับที่ 2 คือ 4 มิลลิเมตร, N ระดับที่ 1 คือ 1200 เมตรต่อนาที และ F ระดับที่ 3 คือ 120 มิลลิเมตรต่อนาที

6.3 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของ G41

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง สำหรับการทดลองนี้กำหนดให้ค่าความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 8

General Linear Model: Ra versus D, N, F						
Method						
Factor coding (-1, 0, +1)						
Factor Information						
Factor	Type	Levels	Values			
D	Fixed	3	3, 4, 5			
N	Fixed	3	1200, 1500, 1800			
F	Fixed	3	80, 100, 120			
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
D	2	0.360622	0.180311	15.66	0.060	
N	2	0.003059	0.001544	0.13	0.882	
F	2	0.019622	0.009811	0.85	0.540	
Error	2	0.023022	0.011511			
Total	8	0.406356				
Model Summary						
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)	0.107290	94.33%	77.34% 0.00%
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	0.9622	0.0358	26.91	0.001		
D						
3	-0.2689	0.0506	-5.32	0.034	1.33	
4	0.2111	0.0506	4.17	0.053	1.33	
N						
1200	0.0178	0.0506	0.35	0.759	1.33	
1500	0.0078	0.0506	0.15	0.892	1.33	
F						
80	-0.0089	0.0506	-0.18	0.877	1.33	
100	-0.0522	0.0506	-1.03	0.410	1.33	
Regression Equation						
Ra = 0.9622 - 0.2689 D_3 + 0.2111 D_4 + 0.0578 D_5 + 0.0178 N_1200 - 0.0078 N_1500 - 0.0256 N_1800 - 0.0089 F_80 - 0.0522 F_100 + 0.0611 F_120						

รูปที่ 8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ S/N-Ratio ของความหยาบผิว G41

จากรูปที่ 8 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยทดสอบทั้ง 3 ปัจจัย ไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปัจจัย D ที่มีค่า P-value ใกล้ 0.05 มากที่สุด แสดงว่าระยะป้อน (D) ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ว่า ค่า D มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหยาบผิวมากที่สุด

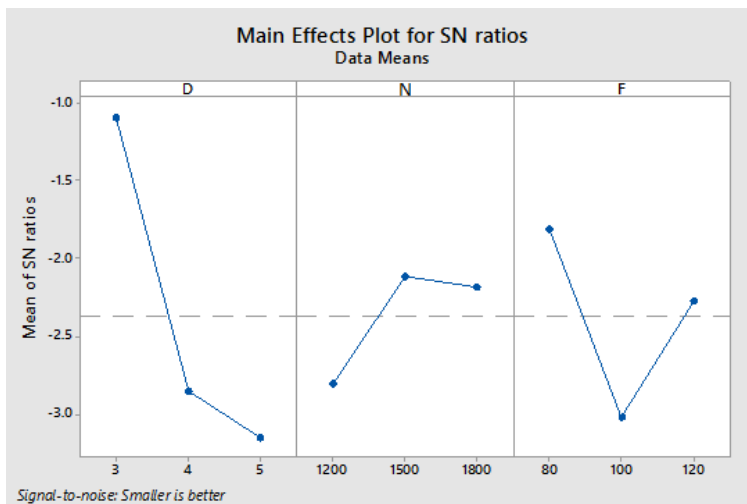
6.4 การวิเคราะห์ค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของความหยาบผิวของ G42

ค่า S/N-Ratio เฉลี่ย จะถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัย จากผลต่างของค่าของระดับปัจจัยที่สูง (max) และต่ำ (min) และทำการวิเคราะห์ร้อยละของอิทธิพลหลัก (%main effect) ของแต่ละปัจจัยดังนี้ ของปัจจัย D=52.03% ของปัจจัย N=17.26% ของปัจจัย F=30.71% พบว่า ระยะเวลาป้อนลึก (D) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า S/N-Ratio เฉลี่ยของความหยาบผิวของชิ้นงานมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 52.03 รองลงมาคือ อัตราป้อน (F) เป็นร้อยละ 30.71 และความเร็รรอบ (N) เป็นร้อยละ 17.26 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยโดยอาศัยค่า S/N-Ratio เฉลี่ยความหยาบผิว G42

ปัจจัย	ค่า S/N-Ratio เฉลี่ย			min	max	max-min	%main effect
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3				
D	-1.10	-2.86	-3.15	-3.15	-1.10	2.05	52.03
Vc	-2.80	-2.12	-2.18	-2.80	-2.12	0.68	17.26
F	-1.81	-3.02	-2.27	-3.02	-1.81	1.21	30.71
					รวม	3.94	100

จากตารางที่ 7 สามารถสร้างกราฟผลตอบสนอง S/N-Ratio โดยขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยที่ถูกคำนวณสำหรับแต่ละระดับปัจจัยและผลกระทบรวมได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของระดับต่าง ๆ ของปัจจัยกับค่า S/N-Ratio ของความหยาบผิว G42

จากรูปที่ 9 พบว่าที่ระดับปัจจัย V และ F ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่า S/N-Ratio ของค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน น้อยมาก เมื่อเทียบกับระดับปัจจัย D ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่า S/N-Ratio ของค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมาก โดยที่ D ระดับที่ 3 ทำให้ค่า S/N-Ratio ของค่าความหยาบผิวของชิ้นงานต่ำที่สุด โดยสรุปจากกราฟหากต้องการให้ได้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานต่ำที่สุด ควรกำหนด D ระดับที่ 3 คือ 5 มิลลิเมตร, V ระดับที่ 1 คือ 1200 เมตรต่อนาที และ F ระดับที่ 2 คือ 100 มิลลิเมตรตอรอบ

6.5 การวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน G42

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง สำหรับการทดลองนี้กำหนดให้ความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 10

General Linear Model: Ra versus D, Vc, F						
Method						
Factor coding (-1, 0, +1)						
Factor Information						
Factor	Type	Levels	Values			
D	Fixed	3	3, 4, 5			
Vc	Fixed	3	1200, 1500, 1800			
F	Fixed	3	80, 100, 120			
Analysis of Variance						
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	
D	2	0.15976	0.07988	1.20	0.454	
Vc	2	0.03042	0.01521	0.23	0.814	
F	2	0.04509	0.02254	0.34	0.747	
Error	2	0.13282	0.06641			
Total	8	0.36809				
Model Summary						
	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
	0.257704	63.92%	0.00%	0.00%		
Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	1.3289	0.0859	15.47	0.004		
D						
3	-0.186	0.121	-1.53	0.266	1.33	
4	0.064	0.121	0.53	0.649	1.33	
Vc						
1200	0.081	0.121	0.67	0.573	1.33	
1500	-0.052	0.121	-0.43	0.709	1.33	
F						
80	-0.086	0.121	-0.70	0.554	1.33	
100	0.088	0.121	0.72	0.545	1.33	
Regression Equation						
Ra = 1.3289 - 0.186 D_3 + 0.064 D_4 + 0.121 D_5 + 0.081 Vc_1200 - 0.052 Vc_1500 - 0.029 Vc_1800 - 0.086 F_80 + 0.088 F_100 - 0.002 F_120						

รูปที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ S/N-Ratio ของความหยาบผิว G42

จากรูปที่10 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยทดสอบทั้ง 3 ปัจจัย ไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีปัจจัย D ที่มีค่า P-value ใกล้ 0.05 มากที่สุด แสดงว่าระยะป้อน (D) ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ว่าค่า D มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหยาบผิวมากที่สุด

7. อภิปรายผลการดำเนินงาน

7.1 ความสัมพันธ์ของความหยาบผิวและเงื่อนไขในการกัดงาน

จากเงื่อนไขการกัดชิ้นงานที่ได้กำหนดไว้ 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle Speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ทำการทดสอบกับชิ้นงาน ทองเหลือง ได้ผลดังนี้

ทิศทางการกัดงาน G41 ค่าความหยาบผิวมีความความสัมพันธ์กับการกำหนดค่าระยะป้อนลึก (Depth of cut) ส่วน ความเร็วรอบ (Spindle Speed) และอัตราป้อน (Feed rate) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงค่าระยะป้อนลึก (Depth of cut) จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิวของชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการกัดโดยไมใช้น้ำหล่อเย็น แต่การเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบ (Spindle Speed) และ อัตราป้อน (Feed rate) จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

ส่วนที่ทิศทางการกัดงาน G42 ค่าความหยาบผิวไม่มีความความสัมพันธ์กับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบ (Spindle Speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) จะไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

7.2 องค์ประกอบเงื่อนไขในการกัดงานที่เหมาะสมที่สุด

จากเงื่อนไขการกัดชิ้นงานที่ได้กำหนดไว้ 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle Speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ทำการทดสอบกับชิ้นงานทองเหลือง พบว่ามีองค์ประกอบเงื่อนไขในการกัดงานที่เหมาะสมที่สุดคือ

ทิศทางการกัดงาน G41 สมควรกำหนดค่าความเร็วรอบ (Spindle Speed) ระดับที่ 1 คือ 1200 รอบ/นาที ค่าอัตราป้อน (Feed rate) ระดับที่ 3 คือ 120 มิลลิเมตร/นาที และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ระดับที่ 2 คือ 4 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานน้อยที่สุด โดยจากการทดสอบได้ค่าความหยาบผิวที่ 0.84 ไมโครเมตร

ทิศทางการกัดงาน G42 สมควรกำหนดค่าความเร็วรอบ (Spindle Speed) ระดับที่ 1 คือ 1200 รอบ/นาที ค่าอัตราป้อน (Feed rate) ระดับที่ 2 คือ 100 มิลลิเมตร/นาที และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ระดับที่ 3 คือ 5 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานน้อยที่สุด โดยจากการทดสอบได้ค่าความหยาบผิวที่ 1.60 ไมโครเมตร

8. สรุปผลการดำเนินงาน

จากเงื่อนไขการกัดชิ้นงานที่ได้กำหนดไว้ 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Spindle Speed) อัตราป้อน (Feed rate) และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ทำการทดสอบกับชิ้นงานทองเหลือง โดยทิศทางการกัดงาน G41 และ G42 พบว่า ทิศทางที่เหมาะสมสำหรับการกัดทองเหลือง คือ ทิศทางการกัดงาน G41 เพราะให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีกว่า ได้ค่าความหยาบผิวที่ 0.84 ไมโครเมตร โดยกำหนดค่าความเร็วรอบ (Spindle Speed) ระดับที่ 1 คือ 1200 รอบ/นาที ค่าอัตราป้อน (Feed rate) ระดับที่ 3 คือ 120 มิลลิเมตร/นาที และระยะป้อนลึก (Depth of cut) ระดับที่ 2 คือ 4 มิลลิเมตร

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องวิจัย และอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง

References

- [1] Chalie Trakankool. CNC Technology. 14th ed. Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan); 2550. (In Thai)
- [2] Anil C, Vedansh C, Jyoti V. Optimization of process parameters of CNC Milling machine for mild steel using Taguchi design and Single to noise ratio Analysis. International Journal of Engineering Research & Technology 2012;1(6).
- [3] Hadi MA, Ghani JA, Che Haron CH, Hasim MS. Comparison between up-milling and down-milling operations on tool wear in milling Inconel 718. Procedia Engineering 2013;68:647-53
- [4] Pratyusha J, Ashok kumar U, Laxminarayana P. Optimization of process parameters for milling using Taguchi methods. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering 2013;2(6):129-35.
- [5] Muataz Hazza Faizi Al-Hazza, Nur Asmawiyah bt Ibrahim, Erry T.Y. Adesta Ahsan Ali Khan and Atiah Bt. Abdullah Sidek. Surface roughness optimization using Taguchi method of high speed end milling for hardened steel D2. International Conference on Mechanical, Automotive and Aerospace Engineering 2017;184:012047.

- [6] Ali Abbar Khleif and Mostafa Adel Abdullah. Effect of Cutting Parameters Wear and Surface Roughness of Stainless Steel (316) Using Milling Process. Al-Nahrain University, College of Engineering Journal (NUCEJ) 2016;19(2):286-92.
- [7] Emco Maier. Software description Emco winNC EMCOTRONIC M2. Hallein, Austria: Emco Maier; 1995. p.49-51.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ดร.คมพันธ์ ชมสมุทร ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email : kompan.c@rmutp.ac.th ปริญญาเอก (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555

งานวิจัยที่สนใจ: CNC Machine, Maintenance Engineering and Productivity improvement



ดร.สุกัญญา เชิดชูงาม ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 Email : sukanya.che@rmutp.ac.th ปริญญาเอก (ปร.ด.) สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2558

งานวิจัยที่สนใจ: Engineering Statistics, Simulation, Modeling and control system