

การปรับปรุงกระบวนการตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรดหมุน
โดยใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์

Improvement of Rotary Electrode EDM Process Using Grey Relational Analysis

กรรณชัย กัลยาศิริ^{1*}

Kannachai Kanlayasiri^{1*}

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 ด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรดหมุนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม สำหรับตัวแปรการตัดที่พิจารณาในการศึกษานี้ ได้แก่ ระยะเวลาในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน กระแสสูงสุดในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน และความเร็วรอบในการหมุนของอิเล็กโทรด สำหรับลักษณะเฉพาะของการตัดที่พิจารณาเป็นผลตอบสนองในการศึกษานี้ คือ อัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน และความหยาบผิวของชิ้นงาน ซึ่งพบว่าเงื่อนไขการตัดที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ให้ผลการตัดที่ดีขึ้น โดยทำให้อัตราการตัดเนื้อชิ้นงานเพิ่มขึ้น 101% และให้ความหยาบผิวของชิ้นงานลดลง 18.2% เมื่อเทียบกับผลตอบสนองที่ได้จากเงื่อนไขการตัดที่เคยใช้ก่อนการปรับปรุง

คำสำคัญ: การตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้า อิเล็กโทรดหมุน วิธีการหาค่าที่เหมาะสม วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

* Corresponding author : โทรศัพท์ 02-7390653 โทรสาร 02-7392392 Email-kkannac@kmitl.ac.th

Abstract

This paper presents an improvement technique for cutting DC 53 tool steel using rotary electrode electric-discharge machining. The improvement of the machining process was accomplished using optimal cutting conditions obtained from grey relational analysis. In this study, discharge pulse time, pulse peak current, and rotational speed of electrode were the cutting parameters, and the machining characteristics considered were material removal rate and surface roughness of the workpiece. The optimal cutting conditions acquired from grey relational analysis provided an improvement of the machining characteristics. Material removal rate was increased by 101% and surface roughness was reduced by 18.2% compared to responses of the pre-improvement cutting conditions.

Keywords : Electric-discharge Machining, Rotary Electrode, Optimization Techniques, Grey Relational Analysis

คำนำ

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตต่างๆที่ต้องใช้แม่พิมพ์ในการขึ้นรูป โดยทั่วไปแล้วโลหะที่นำมาทำเป็นแม่พิมพ์จะเป็นโลหะที่มีความแข็งและความแข็งแรงสูง มีความต้านทานต่อการสึกหรอได้ดี และทนต่อแรงกระแทกได้ดี ซึ่งโลหะเหล่านี้จะทำการขึ้นรูปได้ยากด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบทั่วไป (conventional machining processes) เช่น การกัด การกลึง หรือการเจาะ ในปัจจุบันกระบวนการขึ้นรูปวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการขึ้นรูปโลหะแม่พิมพ์ คือ กระบวนการตัดด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้า (electric-discharge machining: EDM) ซึ่งเป็นกระบวนการตัดที่ใช้กับการตัดวัสดุที่นำไฟฟ้าได้และเป็นวัสดุที่ตัดได้ยาก เช่น โลหะที่มีความแข็งแรงสูง [1-4] เนื่องจากกระบวนการตัดเนื้อวัสดุด้วยวิธี EDM จะเกิดขึ้นโดยการจ่ายประจุไฟฟ้าจากอิเล็กโทรดไปยังชิ้นงานผ่านของเหลวไดอิเล็กทริก (di-electric fluid) ในขณะที่มีสภาพเป็นไอออน พื้นที่เล็กๆที่เกิดการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าจะเกิดความร้อนที่สูงมากจนกระทั่งเกิดการหลอมละลายหรือการกลายเป็นไอของวัสดุชิ้นงาน และถูกพัดพาออกไปโดยของเหลวไดอิเล็กทริก เนื่องจากการตัดเนื้อวัสดุเกิดขึ้นจากความร้อนทำให้เกิดการหลอมละลายหรือกลายเป็นไอ ดังนั้นความแข็งแรงของวัสดุชิ้นงานจะไม่มีผลต่อกระบวนการตัดด้วยวิธีนี้ โดยทั่วไปแล้วในการตัดชิ้นงานด้วยวิธี EDM จะมีลักษณะเฉพาะของการตัด

(machining characteristics) ที่มีผลต่อต้นทุนในการผลิต และคุณภาพของชิ้นงานที่ได้ คือ อัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน (material removal rate) และความหยาบผิวของชิ้นงาน (surface roughness) [5-8]

เนื่องจากการตัดด้วยวิธี EDM เป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนสูงมาก ทำให้ยากต่อการเลือกเงื่อนไขการตัด (cutting conditions) หรือตัวแปรการตัด (cutting parameters) ที่เหมาะสมกับวัสดุแต่ละชนิด ในการตัดวัสดุด้วยวิธี EDM ผู้ปฏิบัติงานมักทำการเลือกเงื่อนไขการตัดจากคู่มือของผู้ผลิตเครื่องจักรที่ได้แนะนำไว้โดยคร่าวๆ หรือเลือกโดยใช้ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากการเลือกเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมกับการตัดวัสดุแต่ละชนิดเป็นขั้นตอนที่ทำได้ยาก วิธีการหาค่าที่เหมาะสม (optimization techniques) แบบต่างๆจึงได้ถูกนำมาใช้ในการเลือกเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ลักษณะเฉพาะของการตัดตามที่ต้องการ วิธีการเหล่านี้ได้แก่ วิธีการทาгуชิ (Taguchi method) วิธีการพื้นผิวผลตอบสนอง (response surface methodology) เจนเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithms) ฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic) และวิธีการที่เกิดขึ้นจากการผสมกันระหว่างวิธีการเหล่านี้ [9-14]

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 ด้วยวิธี EDM แบบอิเล็กโทรดหมุนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ (grey

relational analysis) เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรการตัดที่ทำการศึกษาในบทความนี้ได้แก่ระยะเวลาในการสปาร์คของอิเล็กโตรดกับชิ้นงาน กระแสสูงสุดในการสปาร์คของอิเล็กโตรดกับชิ้นงาน และความเร็วรอบในการหมุนของอิเล็กโตรด ส่วนลักษณะเฉพาะของการตัดหรือผลตอบสนองที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน และความหยาบผิวของชิ้นงาน และจะทำการเปรียบเทียบผลตอบสนองที่ได้หลังจากการปรับปรุงกับผลตอบสนองที่ได้จากเงื่อนไขการตัดที่เคยใช้ก่อนการปรับปรุง

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้ทำเป็นชิ้นงานทดสอบ คือ เหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 ผลิตโดย Daido Steel Co. Ltd. ประเทศญี่ปุ่น เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือที่นิยมใช้ทำแม่พิมพ์สำหรับงานเย็น (cold working) โดยส่วนผสมทางเคมีของเหล็กกล้าเครื่องมือชนิดนี้ คือ 1.00 wt% C, 1.00 wt% Si, 0.40 wt% Mn, 0.017 wt% P, 0.002 wt% S, 8.00 wt% Cr, 2.0 wt% Mo, 0.30 wt% V และส่วนผสมที่เหลือเป็น Fe สำหรับเครื่อง EDM ที่ใช้ตัดชิ้นงานทดสอบในการทดลองนี้ คือ Sodick AQ35L ซึ่งเป็น ram EDM และใช้ kerosene เป็นของเหลวไดอิเล็กทริก โดยใช้อิเล็กโตรดที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกทำมาจากทองแดงผสม (copper alloy ASTM C18150) ที่ผลิตโดย James Coppel Lee ประเทศออสเตรเลีย โดยอิเล็กโตรดมีส่วนผสมดังนี้

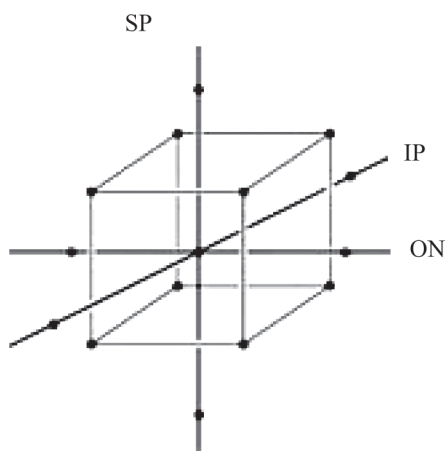
0.70-0.91 wt% Cr, 0.031-0.041 wt% Zr และส่วนผสมที่เหลือเป็น Cu หลังจากการตัดด้วย EDM ชิ้นงานทดสอบจะถูกเป่าให้แห้งก่อนที่จะนำไปชั่งน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจากการตัดเพื่อคำนวณหาอัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน โดยเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งน้ำหนักชิ้นงานในการทดลองนี้ คือ Oertling, UK มีความละเอียด 0.01 g หลังจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบไปวัดความหยาบผิวที่เกิดจากการตัด เครื่องมือที่ใช้วัดความหยาบผิวของรอยตัดคือ Tokyo Seimitsu รุ่น Surfcom 480A โดยใช้ cut-off length และ scan length เท่ากับ 2.50 และ 12.50 mm ตามลำดับ โดยค่าความหยาบผิวที่ศึกษาในการทดลองนี้คือ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเชิงตัวเลข (arithmetic mean roughness: Ra)

ตัวแปรการตัดที่ทำการศึกษาในบทความนี้ได้แก่ระยะเวลาในการสปาร์คของอิเล็กโตรดกับชิ้นงาน (ON) กระแสสูงสุดในการสปาร์คของอิเล็กโตรดกับชิ้นงาน (IP) และความเร็วรอบในการหมุนของอิเล็กโตรด (SP) โดยก่อนการศึกษาในครั้งนี้ตัวแปรการตัดที่ใช้ตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 คือ ON = 300 μ sec, IP = 40 A และ SP = 10 rpm ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ตัวแปรการตัดเหล่านี้เป็นค่ากลางในการออกแบบการทดลอง โดยใช้หลักการพื้นผิวผลตอบสนอง (response surface) แบบ central composite design (CCD) ช่วยในการออกแบบการทดลอง ซึ่งระดับของตัวแปรการตัดที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรการตัดและระดับของตัวแปรการตัดที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรการตัด	ระดับของตัวแปรการตัด				
	1	2	3	4	5
ON (μ sec)	250	271.13	300	328.87	350
IP (A)	20	28.45	40	51.55	60
SP (rpm)	5	7.11	10	12.89	15

ในการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการพื้นผิว
ผลตอบสนองแบบ CCD นั้นสามารถแบ่งการทดลอง
ออกเป็น 3 ส่วน คือ (1) การทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^f
เมื่อ f คือ จำนวนของตัวแปรการตัด ดังนั้นเงื่อนไขในการ
ทดลองทั้งหมดในส่วนนี้จึงมี 2^3 หรือ 8 เงื่อนไข (2) การ
ทดลองที่จุดศูนย์กลาง สำหรับในการทดลองนี้มี 1 เงื่อนไข
และ (3) การทดลองที่จุดปลายของแกน สำหรับการ
ทดลองที่มีค่า $f = 3$ จะต้องมี 6 เงื่อนไข ดังนั้นในการ
ทดลองนี้จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง
รูปที่ 1 แสดงการออกแบบการทดลองบนหลักการของ
พื้นผิวผลตอบสนองแบบ CCD ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้



รูปที่ 1 การออกแบบการทดลองบนหลักการของพื้นผิว
ผลตอบสนองแบบ CCD

สำหรับวิธีการหาค่าตัวแปรการตัดที่เหมาะสมที่
นำมาใช้ในบทความนี้ คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ
เกรย์ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสม
สำหรับปัญหาหรือกระบวนการที่มีผลตอบสนองหลาย
อย่าง (multiple response optimization) การวิเคราะห์
ความสัมพันธ์แบบเกรย์เป็นการเปรียบเทียบอิทธิพลของ
ตัวแปรแต่ละตัวที่ระดับต่างๆที่มีต่อผลตอบสนองทั้งหมด

ของกระบวนการโดยผ่านตัวแปรที่เรียกว่า เกรดความ
สัมพันธ์แบบเกรย์ (grey relational grade) ถ้าระดับใดของ
ตัวแปรหนึ่งๆให้ผลตอบสนองที่ใกล้เคียงค่าอ้างอิงมากก็
จะมีค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์มาก และ
กระบวนการนั้นจะได้ผลตอบสนองที่ดีถ้าเลือกใช้ระดับ
ของตัวแปรต่างๆที่มีค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบ
เกรย์สูงสุด ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์นั้นจะ
เริ่มต้นด้วยการแปลงผลตอบสนองที่อยู่ในรูปของข้อมูล
ดิบให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min_{all(i)} x_i^{(0)}(k)}{\max_{all(i)} x_i^{(0)}(k) - \min_{all(i)} x_i^{(0)}(k)} \quad (1)$$

$$x_i^*(k) = \frac{\max_{all(i)} x_i^{(0)}(k) - x_i^{(0)}(k)}{\max_{all(i)} x_i^{(0)}(k) - \min_{all(i)} x_i^{(0)}(k)} \quad (2)$$

เมื่อ $x_i^*(k)$ คือ ผลตอบสนองที่ได้จากการแปลงข้อมูล
ดิบที่ i^{th} ของการทดลอง k , $x_i^{(0)}(k)$ คือผลตอบสนอง
ที่อยู่ในรูปของข้อมูลดิบที่ i^{th} ของการทดลอง k ,
 $\min_{all(i)} x_i^{(0)}(k)$ คือ ผลตอบสนองที่อยู่ในรูปของข้อมูล
ดิบที่มีค่าน้อยที่สุดของการทดลอง k และ $\max_{all(i)} x_i^{(0)}$
คือ ผลตอบสนองที่อยู่ในรูปของข้อมูลดิบที่มีค่ามากที่สุด
ของการทดลอง k โดยสมการที่ (1) ใช้ในการแปลงข้อมูล
เมื่อกระบวนการหรือการทดลองนั้นต้องการผลตอบสนอง
ในรูปแบบที่ยิ่งมีค่ามากยิ่งดี (the larger-the-better) ส่วน
สมการที่ (2) ใช้ในการแปลงข้อมูลเมื่อกระบวนการหรือ
การทดลองนั้นต้องการผลตอบสนองในรูปแบบที่ยิ่งมีค่า
น้อยยิ่งดี (the smaller-the-better) สำหรับในการศึกษานี้
ผลตอบสนองในกรณีของอัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน เป็น
ผลตอบสนองในรูปแบบที่ยิ่งมีค่ามากยิ่งดี ส่วนผลตอบ
สนองในกรณีของความหนาผิวของชิ้นงาน เป็นผลตอบ
สนองในรูปแบบที่ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี

หลังจากได้แปลงผลตอบสนองให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แล้วจะนำค่าผลตอบสนองดังกล่าวมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ (grey relational coefficient) ซึ่งเป็นตัวแปรที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบสนองที่ได้จากการทดลองกับผลตอบสนองอ้างอิงหรือผลตอบสนองในกรณีอุดมคติ โดยสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (3)$$

เมื่อ $\xi_i(k)$ คือ สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ของผลตอบสนองที่ i^{th} ของการทดลอง k และ ξ คือ สัมประสิทธิ์ความแตกต่าง (distinguishing coefficient) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยที่ $\Delta_{\min}, \Delta_{\max}$ และ Δ_{0i} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4), (5) และ (6) ตามลำดับ

$$\Delta_{\min} = \min_{\forall j \in i} \min_{\forall k} |x_0^*(k) - x_j^*(k)| \quad (4)$$

$$\Delta_{\max} = \max_{\forall j \in i} \max_{\forall k} |x_0^*(k) - x_j^*(k)| \quad (5)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0^*(k) - x_i^*(k)| \quad (6)$$

เมื่อ $\Delta_{0i}(k)$ คือ ผลต่างระหว่างผลตอบสนองในกรณีอุดมคติ $x_0^*(k)$ กับผลตอบสนองจากการทดลอง $x_i^*(k)$ โดยที่เกรคความสัมพันธ์แบบเกรย์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$\gamma_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \quad (7)$$

เมื่อ γ_i คือ เกรคความสัมพันธ์แบบเกรย์ของผลตอบสนองที่ i^{th} ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ของผลตอบสนองที่ i^{th} จำนวน n การทดลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์นั้นจะเริ่มต้นด้วยการแปลงผลตอบสนองที่อยู่ในรูปของข้อมูลดิบให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 โดยใช้สมการที่ (1) ในกรณีของอัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน (MRR) เนื่องจากเป็นผลตอบสนองในรูปแบบที่ยังมีค่ามากยิ่งขึ้นดี และใช้สมการที่ (2) ในกรณีของความหยาบผิวของชิ้นงาน (Ra) เนื่องจากเป็นผลตอบสนองในรูปแบบที่ยังมีค่าน้อยยิ่งขึ้นดี ผลตอบสนองที่อยู่ในรูปของข้อมูลดิบและผลของการแปลงผลตอบสนองให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ของการศึกษานี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่า หลังจากแปลงผลตอบสนองแล้ว ในกรณีของ MRR อัตราการตัดเนื้อชิ้นงานต่ำสุดจะแปลงค่าได้เท่ากับ 0 และอัตราการตัดเนื้อชิ้นงานสูงสุดจะแปลงค่าได้เท่ากับ 1 ส่วนในกรณีของ Ra จะได้ผลออกมาในทางตรงกันข้าม คือ ความหยาบผิวต่ำสุดจะแปลงค่าได้เท่ากับ 1 และความหยาบผิวสูงสุดจะแปลงค่าได้เท่ากับ 0 โดยที่การทดลองที่ 10 คือ เงื่อนไขการตัดที่ใช้ตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 ก่อนการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

สำหรับผลตอบสนองที่แปลงให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แล้ว จะถูกนำไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์และเกรคความสัมพันธ์แบบเกรย์โดยใช้สมการที่ (3) และ (7) ตามลำดับ ซึ่งผลจากการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความแตกต่าง (ξ) เท่ากับ 0.5 เนื่องจากได้ให้ความสำคัญกับผลตอบสนองทั้งสองในระดับที่เท่ากัน จากตารางที่ 3 การทดลองที่ 10 คือ เงื่อนไขการตัดที่ใช้ตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 ก่อนการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีค่าเกรคความสัมพันธ์แบบเกรย์เท่ากับ 0.5728 ส่วนการทดลองที่มีค่าเกรคความสัมพันธ์แบบเกรย์สูงสุด คือ การทดลองที่

ตารางที่ 2 ผลตอบสนอง MRR และ Ra

การทดลองที่	ON	IP	SP	MRR (mm ³ /min)	Ra (μm)	MRR [0-1]	Ra [0-1]
1	1	3	3	0.170	6.930	0.0749	0.9636
2	2	2	2	0.128	7.409	0.0000	0.8345
3	2	2	4	0.297	7.448	0.3012	0.8240
4	2	4	4	0.477	8.163	0.6221	0.6313
5	2	4	2	0.605	10.058	0.8503	0.1205
6	3	5	3	0.488	9.972	0.6417	0.1437
7	3	3	5	0.606	8.025	0.8520	0.6685
8	3	3	1	0.416	8.496	0.5134	0.5415
9	3	1	3	0.421	6.795	0.5223	1.0000
10	3	3	3	0.289	7.469	0.2870	0.8183
11	4	2	4	0.472	7.163	0.6132	0.9008
12	4	2	2	0.405	7.425	0.4938	0.8302
13	4	4	4	0.689	10.505	1.0000	0.0000
14	4	4	2	0.214	9.370	0.1533	0.3059
15	5	3	3	0.544	7.006	0.7415	0.9431

15 ซึ่งมีค่าเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์เท่ากับ 0.7785 ดังนั้นในจำนวนการทดลองทั้งหมด การทดลองที่ 15 เป็นการทดลองที่ให้ผลการตัดที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาผลตอบสนองทั้งสองอย่างพร้อมๆกัน โดยการทดลองนี้มีการตั้งเงื่อนไขการตัด ON ที่ระดับ 5 คือ 350 μsec, IP ที่ระดับ 3 คือ 40 A และ SP ที่ระดับ 3 คือ 10 rpm แต่เงื่อนไขการตัดนี้อาจจะไม่ใช่ว่าเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้

ในการเลือกตัวแปรการตัดที่เหมาะสมด้วยวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์นั้น จะทำการเลือกจาก

ค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์สำหรับแต่ละระดับของตัวแปรการตัด โดยจะเลือกระดับที่มีค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์สูงสุดของตัวแปรนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่ได้สำหรับการศึกษานี้ คือ ON ที่ระดับ 5 คือ 350 μsec, IP ที่ระดับ 1 คือ 20 A และ SP ที่ระดับ 5 คือ 15 rpm ในการหาค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์สำหรับแต่ละระดับของตัวแปรการตัดนั้น ทำได้โดยการหาค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์ของทุกๆการทดลองที่มีระดับนั้นๆของของตัวแปรการตัดชนิดนั้นเป็นองค์ประกอบ

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์และเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์

การทดลองที่	สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์		เกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์
	MRR	Ra	
1	0.3508	0.9322	0.6415
2	0.3333	0.7513	0.5423
3	0.4171	0.7396	0.5784
4	0.5695	0.5756	0.5725
5	0.7695	0.3624	0.5660
6	0.5826	0.3686	0.4756
7	0.7717	0.6013	0.6865
8	0.5068	0.5217	0.5142
9	0.5114	1.0000	0.7557
10	0.4122	0.7335	0.5728
11	0.5638	0.8345	0.6991
12	0.4969	0.7465	0.6217
13	1.0000	0.3333	0.6667
14	0.3713	0.4187	0.3950
15	0.6592	0.8979	0.7785

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์

ตัวแปรการตัด	ค่าเฉลี่ยของเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์สำหรับแต่ละระดับของตัวแปรการตัด				
	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3	ระดับ 4	ระดับ 5
ON	0.6415	0.5648	0.6010	0.5956	0.7785
IP	0.7557	0.6104	0.6387	0.5501	0.4756
SP	0.5142	0.5313	0.6448	0.6292	0.6865

ในขั้นตอนสุดท้ายของการศึกษานี้ ได้นำเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ไปทำการทดลอง เพื่อหาค่าผลตอบแทนเปรียบเทียบกับผลตอบแทนของเงื่อนไขการตัดที่ใช้ก่อนการปรับปรุงด้วยผลการศึกษารั้งนี้ ซึ่งพบว่าหลังจากเปลี่ยนเงื่อนไขการตัดเดิมมาเป็นเงื่อนไขการตัดที่ได้จากผลการศึกษารั้งนี้ ผลตอบแทนที่ได้ดีขึ้นกว่าการใช้เงื่อนไขการตัดเดิม โดยเงื่อนไขการตัดเดิมที่ใช้ตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 คือ $ON = 300 \mu\text{sec}$, $IP = 40 \text{ A}$ และ $SP = 10 \text{ rpm}$ และให้อัตราการตัดเนื้อชิ้นงานเท่ากับ $0.289 \text{ mm}^3/\text{min}$ และความหยาบผิวของชิ้นงานเท่ากับ $7.469 \mu\text{m}$ ส่วนผลตอบแทนของเงื่อนไขการตัดที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ คือ อัตราการตัดเนื้อชิ้นงานเท่ากับ $0.581 \text{ mm}^3/\text{min}$ และความหยาบผิวของชิ้นงานเท่ากับ $6.111 \mu\text{m}$ ซึ่งเห็นได้ว่า เงื่อนไขการตัดที่ได้จากการปรับปรุงด้วยวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ให้ผลตอบแทนทั้งสองอย่างดีกว่าเงื่อนไขการตัดเดิม โดยให้อัตราการตัดเนื้อชิ้นงานเพิ่มขึ้นจาก $0.289 \text{ mm}^3/\text{min}$ เป็น $0.581 \text{ mm}^3/\text{min}$ หรือเพิ่มขึ้น 101% และให้ความหยาบผิวของชิ้นงานลดลงจาก $7.469 \mu\text{m}$ เหลือ $6.111 \mu\text{m}$ หรือลดลง 18.2%

สรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ DC 53 ด้วยวิธีการจ่ายประจุไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรดหมุนโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสม ซึ่งในบทความนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรการตัด คือ ระยะเวลาในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน (ON) กระแสสูงสุดในการสปาร์คของอิเล็กโทรดกับชิ้นงาน (IP) และความเร็วนรอบในการหมุนของอิเล็กโทรด (SP) และผลตอบแทน คือ อัตราการตัดเนื้อชิ้นงานและความหยาบผิวของชิ้นงาน โดยเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษานี้ คือ ON เท่ากับ $350 \mu\text{sec}$, IP เท่ากับ 20 A และ SP เท่ากับ 15 rpm ซึ่งทำให้อัตราการตัดเนื้อชิ้นงาน

เพิ่มขึ้น 101% และให้ความหยาบผิวของชิ้นงานลดลง 18.2% เมื่อเทียบกับผลตอบแทนที่ได้จากเงื่อนไขการตัดที่เคยใช้ก่อนการปรับปรุง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Snoyes, R. and Van Dijck, F. (1972). Plasma channel diameter growth affects stock removal. **CIRP Annual**, **21**, 39-40.
- [2] Pandit, S.M. and Rajurkar, K.P. (1983). A stochastic approach to thermal modeling applied to electro-discharge machining. **Journal of Heat Transfer**, **105**, 555-562.
- [3] Pandey, P.C. and Jilani, S.T. (1986). Plasma channel growth and the resolidified layer in EDM. **Precision Engineering**, **8**, 104-110.
- [4] Shankar, P., Jain, V.K. and Sundarajan, T. (1997). Analysis of spark profile during EDM process. **Machining Science and Technology**, **1**, 195-217.
- [5] Guu, Y.H. and Hocheng, H. (2001). Improvement of fatigue life of electrical discharge machined AISI D2 tool steel by TiN coating. **Materials Science and Engineering A**, **318**, 155-162.
- [6] Jeelani, S. and Collins, M.R. (1988). Effect of electric discharge machining on the fatigue life of Inconel 718. **International Journal of Fatigue**, **10**, 121-125.
- [7] Abu Zeid, O.A. (1997). On the effect of electrodischarge machining parameters on the fatigue life of AISI D6 tool steel. **Journal of Materials Processing Technology**, **68**, 27-32.
- [8] Ramulu, A., Paul, G. and Patel, J. (2001). EDM surface effects on the fatigue strength of a 15 vol% SiC_p/Al metal matrix composite material. **Composite Structures**, **54**, 79-86.

- [9] Kansal, H.K., Singh, S. and Kumar, P. (2005). Parametric optimization of powder mixed EDM by response surface methodology. **Journal of Materials Processing Technology**. **169**, 427–436.
- [10] Keskin, Y., Kalkaci, H.S. and Kizil, M. (2006). An experimental study for determination of effects of machining parameters on surface roughness in EDM. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. **28**, 1118–1121.
- [11] Kuriakose, S. and Shunmugam, M.S. (2005). Multi-objective optimization of wire EDM process by non-dominated sorting GA. **Journal of Materials Processing Technology**. **170**, 133–141.
- [12] Mandal, D., Pal, S.K. and Saha, P. (2007). Modeling of EDM process using BP neural network and multi-objective optimization using non-dominating sorting GA. **Journal of Materials Processing Technology**. **186**, 154–162.
- [13] Tzeng, Y. and Chen, F. (2007). Multi-objective optimization of high speed electric discharge machining process using a Taguchi fuzzy-based approach. **Materials & Design**. **28**, 1159–1168.
- [14] Yuan, J., Wang, K., Yu, T. and Fang, M. (2008). Reliable multi-objective optimization of high-speed WEDM process based on Gaussian process regression. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**. **48**, 47–60.