บทที่ 1
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันกรรมวิธีการแปรรูปโลหะ ได้พัฒนาออกไป อย่างกว้างขวาง พร้อม ๆ กับการพัฒนากรรมวิธีเดิมที่ใช้อยู่ให้มีประสิทธิภาพและความสามารถสูงขึ้น ก็ได้มีการคิดค้นหากรรมวิธีใหม่ ๆ เพื่อให้สัมพันธ์กับวิทยาการด้านอื่น ๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นด้วยเช่นกัน ในบรรดากรรมวิธีต่าง ๆ ของการแปรรูปโลหะแบบพิเศษ (non-traditional machining) นั้น กรรมวิธีอีดีเอ็ม (Electrical Discharge Machining) ซึ่ง B.R. และ N.I.Lazarenko นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ได้พัฒนาขึ้นเมื่อปี 1943 (1) ได้รับการสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นกรรมวิธีที่สามารถใช้กับงานซึ่งเป็นการยากที่จะใช้กรรมวิธีแบบธรรมดาได้ เช่น งานแปรรูปโลหะซึ่งมีความแข็งสูง, งานที่ต้องการความละเอียดเที่ยงตรง หรืองานที่มีรูปร่างซับซ้อน เป็นต้น (2) ซึ่งนับว่ามีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมบางประเภทเป็นอย่างยิ่ง เช่น อุตสาหกรรมการทำแม่พิมพ์ เป็นต้น

ถึงแม้ว่ากรรมวิธีอีดีเอ็ม ได้รับการพัฒนามาใช้ในวงการอุตสาหกรรมทั่วโลกแล้วก็ตาม แต่การศึกษาปรากฏการณ์ของขบวนการอีดีเอ็มนั้น นักวิทยาศาสตร์ยังต้องประสบกับความยุ่งยากอยู่ไม่น้อย ทั้งนี้เนื่องจากอีดีเอ็มเป็นขบวนการที่มีความซับซ้อนในทางวิทยาศาสตร์มาก ปัจจุบันการศึกษาทางฟิสิกส์ของอีดีเอ็มได้อาศัยทฤษฎีพื้นฐานเป็นหลักอยู่สามทฤษฎี คือ ทฤษฎีทางอีเล็คโตรเมคานิคส์, ทฤษฎีทางเทอร์โมเมคานิคส์,และทฤษฎีทางเทอร์โมอีเล็คตริค ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจในทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ชั้นสูง (3-5)

เพื่อเป็นการประยุกต์สำหรับการใช้งานในทางวิศวกรรมให้มีความง่ายขึ้น การศึกษาโดยการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ในเชิงปริมาณและคุณภาพ ระหว่างเงื่อนไขของการทำงานต่าง ๆ เช่น ปริมาณกระแส, แรงเคลื่อนไฟฟ้า เป็นต้น กับผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเกตการณ์การทดลอง เช่น อัตราการกัดงาน, ลักษณะของผิวงาน เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้นี้ สามารถนำมาสร้างเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ซึ่งนับว่ามีประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นวิธีการที่ทำได้ไม่ยากนัก และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในทางปฏิบัติได้

สำหรับประเทศไทยนั้น นับวันการแปรรูปโลหะโดยกรรมวิธีอีดีเอ็มจะต้องเข้ามามีบทบาทมากขึ้น เพื่อสอดคล้องกับการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมทางด้านเครื่องมือกล แต่ปัจจุบันพบว่าการค้นคว้าวิจัยทางด้านอีดีเอ็มนั้นยังมีน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องจักรอีดีเอ็มนั้นมีต้นทุนค่อนข้างสูง ทั้งในราคาของตัวเครื่องจักรเอง และค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่องประกอบกับปริมาณความต้องการใช้งานของเครื่องมีมาก เมื่อเทียบกับปริมาณเครื่องจักรที่มีอยู่ ดังนั้นเครื่องอีดีเอ็มส่วนใหญ่จึงมักใช้ในงานการผลิตของภาคเอกชน ส่วนในหน่วยงานของภาครัฐบาลนั้น เครื่องจักรอีดีเอ็มที่จะนำมาใช้เพื่อศึกษาวิจัย ยังมีอยู่ในวงจำกัดเฉพาะในสถาบันการศึกษาบางแห่งเท่านั้น เช่น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขการแปรรูปโลหะ (machining condition) ที่มีต่อลักษณะเฉพาะของกรรมวิธี (process characteristic) ของการแปรรูปโลหะด้วยกรรมวิธีอีดีเอ็ม

2. เพื่อสร้างแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ ของผลที่ได้จากกรรมวิธีอีดีเอ็มกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน

3. เพื่อหาสภาวะของการทำงานที่เหมาะสมที่จะให้เวลาทำงานต่ำที่สุด และให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นไปได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษานี้ เป็นการทดลองภายใต้สภาวะการทำงาน ของเครื่องอีดีเอ็ม ซึ่งเป็นแบบวงจรสร้างพัลส์ (pulse genertor circuit)

2. การแปรค่าตัวแปรของการทำงานคือ กระแสและระยะพัลส์ ซึ่งมีค่าไม่เกิน 30.5 A และ 1000 μs ตามลำดับ

3. พิจารณาผลที่ได้จากการทดลองคือ

-อัตราการกัดเนื้อโลหะของชิ้นงาน

-อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด

-ความหยาบของผิวงาน

-ระยะห่างของการดิสชาร์จ (discharge gap)

1.4 การสำรวจผลงานวิจัย

Bhattacharyya et. al.(6)ได้ศึกษาความสัมพันธ์(correlation) ระหว่างสภาวะของการทำงานคือ ระยะพัลส์ และกระแส กับผลที่วัดได้ คือ อัตราการกัดชิ้นงาน, อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด, ระยะสปาร์ค และลักษณะของผิวงาน โดยการใช้เหล็กกล้า die steel Richard Carr Ni Chr 552 เป็นชิ้นงาน และใช้ทองแดงและกราไฟต์ เป็นอีเล็คโตรด การทดสอบโดยการกำหนดระดับของกระแสสูงเป็น 70 A และระดับของกระแสต่ำเป็น 3.5 A ทำการแปรค่าระยะพัลส์อยู่ในช่วง 20-800 μs ผลจากการทดลองได้นำมาเขียนเป็นกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวและยังได้ชี้ให้เห็นถึงชั้นของผิวงาน (surface layer)

จากกรรมวิธีอีดีเอ็ม ซึ่งประกอบด้วย white etching zone และ heat affected zone (HAZ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของเนื้อโลหะชิ้นงานที่ต้องขัดออกในขั้นสุดท้าย

Jilani และ Pandey (7) ได้ทดลองโดยใช้น้ำเป็นสารไดอีเล็คตริก ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเป็นชิ้นงาน และใช้ทองแดงและทองเหลืองเป็นอีเล็คโตรด พบว่าการใช้น้ำประปาจะมีคุณสมบัติที่ดีกว่า ในด้านความสม่ำเสมอของการทำงานของเครื่องจักร เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำกลั่น และของผสมระหว่างน้ำกลั่นกับน้ำประปา แต่อย่างไรตามการผสมระหว่างน้ำประปา 75 % และน้ำกลั่น 25 % สามารถให้อัตราการกัดชิ้นงานสูงถึง 150 mg/min. ที่ระยะพัลส์ 100 μs และกระแส 7.5 A นอกจากนี้แล้วการใช้น้ำเป็นไดอีเล็คตริก ยังให้ความเรียบของผิวงานที่ดีกว่าเมื่อใช้สารอื่นบางตัวเช่น น้ำมันก๊าด เป็นต้น

Shanker และ Ghosh (8) ได้ทดลองโดยการใช้อุปกรณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นตัวควบคุมระยะสปาร์ค สำหรับเครื่องอีดีเอ็มแบบวงจรอาร์ซี จากการใช้ ทองแดง, ทองเหลืองและอลูมิเนียมเป็นอีเล็คโตรด พบว่าการเพิ่มค่าโวลเตจและค่าคาปาซิแตนซ์ ทำให้อัตราการกัดชิ้นงานมีค่าสูงขึ้นด้วย และที่ค่าคาปาซิแตนซ์สูง ๆ การใช้ทองเหลืองจะให้อัตราการกัดสูงสุด แต่ที่ค่าคาปาซิแตนซ์ต่ำ ๆ การใช้ทองแดงเป็นอีเล็คโตรดจะมีประสิทธิภาพกว่า

Murti และ Philip (9) ได้ใช้วิธี response surface เพื่อเปรียบเทียบผล เมื่อใช้เครื่องมืออุลตราโซนิคช่วยในการกำจัดเศษ จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งแทนโดยสมการโพลีโนเมียลอันดับที่สอง (second order polynomial) สามารถใช้กับผลการทดลองได้เป็นอย่างดี เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation) มีค่าสูงถึง 0.99

และพบว่า เมื่อมีการใช้เครื่องมือดังกล่าวสามารถเพิ่มอัตราการกัดและความเรียบของผิวงานได้อย่างมีนัยสำคัญ

Erden (10) ได้ศึกษาถึงผลของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อการทำงานของอีดีเอ็ม โดยพิจารณาจากแบบจำลองของการเกิดการสปาร์คหนึ่งครั้ง ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระยะ (phase) พบว่าในระยะ breakdown phase ปัจจัยที่มีผลมากก็คืออนุภาคของเศษโลหะ ซึ่งแขวนลอยอยู่ในสารไดอีเล็คตริค ส่วนในระยะของการเกิด discharge นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุตัวกลาง (ชิ้นงานและอีเล็คโตรด) ที่ทำให้เกิดการดิสชาร์จ และในระยะ erosion phase นั้น พบว่าเป็นขบวนการทางความร้อน ซึ่งโลหะจะถูกทำให้เปลี่ยนสถานะเป็นทั้งของเหลวและไอ แต่จะมีเพียงร้อยละ 10-20 เท่านั้นที่ถูกกัดเซาะออกไปจริง ๆ ส่วนที่เหลือจะกลับแข็งตัวใหม่ อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่าการเลือกใช้คู่วัสดุที่เป็นอีเล็คโตรดและชิ้นงานที่ดีพร้อมทั้งไดอีเล็คตริค ก็จะให้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมได้

Crookall และ Lee (11) ได้ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของเศษ (debris) ที่เกิดขึ้น ซึ่งปะปนอยู่ในสารไดอีเล็คตริค ที่มีผลต่อการกัดของชิ้นงานและการสึกหรอของอีเล็คโตรด จากการใช้เครื่องจักรอีดีเอ็มซึ่งเป็นแบบวงจรรีแล็กเซชั่น ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลที่เกิดขึ้นที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ กัน

Rajurkar และ Pandit (5) ได้เสนอการวิเคราะห์ในทางทฤษฎีและการทดลอง ถึงการเกิดและกระจายตัวของเศษ ได้แสดงความสัมพันธ์ในทางคณิตศาสตร์ของพลังงานกับขนาดอนุภาคเศษ จากการทดลองพบว่าขนาดของเศษมีลักษณะการกระจายแบบ log-normally distribution ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ในทางทฤษฎี

Jeswani และ Basu (12) ได้ศึกษาถึงผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของขบวนการอีดีเอ็ม ที่มีต่อการแพร่กระจายของเนื้อวัสดุอิเล็คโตรด โดยใช้เทคนิคอิเล็คตรอนไมโครโพรบ (electron microprobe)

การศึกษาวิจัยทางด้านอีดีเอ็ม ในส่วนที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของผิวงานนอกเหนือไปจากการวัดความหยาบผิว (surface roughness) โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าสไตลัส (stylus) แล้ว Guerrero-Alvarez et. al. (13) ได้ศึกษาลักษณะของเครเตอร์และผิวงาน โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสแกนนิ่งอีเล็ค-ตรอน (scanning electron) เพื่อวัดปริมาณการกัดเนื้อโลหะต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ Crookall และ Khor (14) ได้ใช้กล้องจุลทรรศน์ ทั้งแบบ optical และแบบสแกนนิ่งอีเล็คตรอน ซึ่งทำให้สามารถมองเห็นลักษณะของพื้นผิวได้ชัดเจน Lee (15) ได้ชี้ให้เห็นถึงส่วนของเนื้อโลหะที่อยู่ภายใต้พื้นผิวลงไป ซึ่งเป็นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านโลหะวิทยา อันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งเรียกว่า HAZ (heat affected zone) และยังได้แสดงถึงความสัมพันธ์ของระยะ HAZ กับความเรียบผิว และผลของการแปรค่า ระยะพัลส์และกระแส ที่มีต่อระยะ HAZ

Marty (16) ได้ใช้แบบจำลองของการนำความร้อนและข้อมูลจากการทดลอง ศึกษาถึงลักษณะการแผ่กระจายอุณหภูมิของผิวงาน เพื่อหาอัตราส่วนของอุณหภูมิผิวงาน กับอุณหภูมิจุดหลอมเหลว และได้พบว่า วัสดุหลายชนิดมีอุณหภูมิที่ผิวงานเท่ากับอุณหภูมิของจุดหลอมเหลว

Erden และ Kaftanoglu (17) ได้เสนอแบบจำลองทาง thermo-mathematical model ของอีดีเอ็ม และได้พบว่าพังก์ชั่นของพลังงานซึ่งมีรูปเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูจะให้อัตราการกัดเนื้อโลหะดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับพังก์ชั่นของพลังงานซึ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้กันอยู่กับเครื่องจักรอีดีเอ็มทั่ว ๆ ไป

เนื่องจากมีตัวแปรเป็นจำนวนมาก ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของขบวนการอีดีเอ็ม ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ยังค่อนข้างซับซ้อน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบการควบคุมแบบปรับค่าได้ (adaptive control) เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของการทำงานสูงขึ้น Tseng (18) ได้เสนอแนวทางการควบคุมแบบปรับค่าได้ โดยใช้มินิคอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมโดยตรง (on-line control) ผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นถึงการให้อัตราการกัดชิ้นงานที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมด้วยมือ (manual control) นอกจากนี้แล้ว Bhattacharyya และ El-Menshawy (19) ได้ศึกษาถึงรังสีที่แผ่ออกมาจากขบวนการอีดีเอ็ม เพื่อเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาการควบคุมแบบปรับค่าได้

เพื่อเป็นการประยุกต์กรรมวิธีอีดีเอ็ม กับงานซึ่งเป็นการยากต่อการใช้กรรมวิธีแบบธรรมดา เช่น การเจาะรูขนาดเล็กบนโลหะซึ่งมีความแข็งมาก Jeswani (20) จึงได้ทดลอง โดยใช้เครื่องอีดีเอ็มแบบวงจรอาร์ซี และใช้ลวดทองแดงซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ กันตั้งแต่ 0.09-0.17 mm เป็นอีเล็คโตรด เพื่อเจาะรูบนเหล็กกล้าไฮคาร์บอน จากผลการทดลองสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของโอเวอร์คัต (OC) กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ คือ

$$OC = 13.2\ U_c^{\,0.28}\ (C.t/d)^{0.27}$$

เมื่อ U_c = แรงเคลื่อนดิสชาร์จ (V)

C = ค่าคาปาซิแตนซ์ (μF)

t = ความลึกของรูเจาะ (mm)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของอีเล็คโตรด (mm)

นอกจากนี้แล้วยังได้มีการพัฒนาวิธีการที่เรียกว่า Data Dependent System (DDS) และได้นำมาประยุกต์ศึกษาเกี่ยวกับกรรมวิธีอีดีเอ็ม ในด้านต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์ทางเรขาคณิตและหาปริมาตรของเครเตอร์ (21), การสร้างแบบจำลองทางความร้อน (22) และการควบคุมสภาวะการทำงานที่เหมาะสม (23-25)