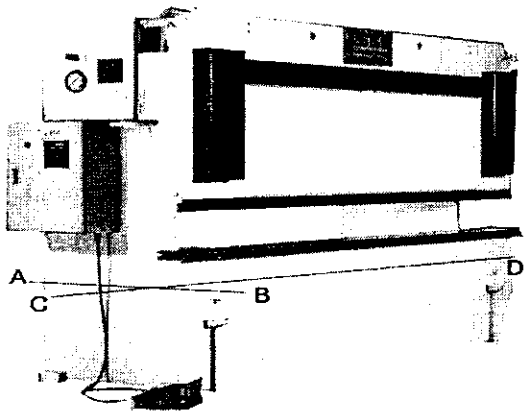
บทที่ 1

บทนำ

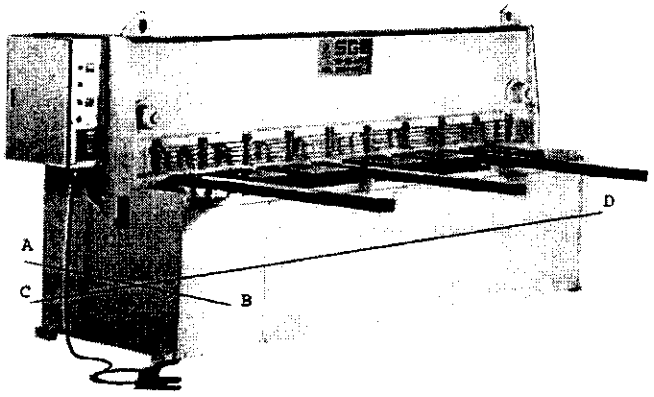
1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย

เครื่องจักรแบบอัตโนมัติ เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีของเครื่องจักรสมัยใหม่ ที่ทำให้สามารถเปิดเดินเครื่องได้เป็นระยะเวลานานขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องมีผู้มีประสบการณ์หรือวิศวกรควบคุมซึ่งเครื่องจักรที่มีใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่ ยังคงเป็นเครื่องจักรประเภทเครื่องมือ, เครื่องทุ่นแรงซึ่งเครื่องจักรเหล่านี้จำเป็นจะต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์ในการใช้งาน ทำให้เกิดความต้องการอย่างมากในการปรับปรุงเครื่องจักรเดิมให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพหรือสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้

การเปลี่ยนรูปโลหะแผ่น โดยใช้เครื่องตัดและพับแผ่นโลหะ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่งโดยแรงเฉือนในการตัด เมื่อมีมีดตัดเฉือนจะมีแรงขนานกับเนื้อโลหะ โดยแรงตัดนี้ถูกส่งกำลังมาจากกระบอกไฮโดรลิค ลักษณะของมีดตัดและพับเป็นดังนี้



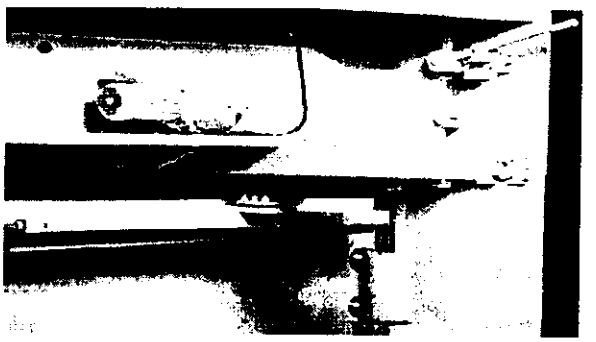
ภาพประกอบ 1-1 เครื่องพับแผ่นเหล็ก



ภาพประกอบ 1-2 เครื่องตัดแผ่นเหล็ก

ภาพประกอบ 1-1 แสดงให้เห็นลักษณะของมีดพับของเครื่องพับจะเห็นว่าในการพับนั้น ส่วนสำคัญของใบมีดจะประกอบด้วยแผ่นพับและมีดพับ ซึ่งจะเห็นว่าประเภทที่ต้องทำงานแบบเร็ว จะมีขนาดเล็กกว่าประเภทที่ทำงานแบบช้าเพราะต้องการความแข็งแรง

ภาพประกอบ 1-2 แสดงลักษณะของมีดตัดแบบที่ใช้แรงเฉือนในการตัด ส่วนประกอบของมีดตัดจะมีโต๊ะซึ่งแยกออกจากแป้นมีดได้ เพื่อสะดวกในการเปลี่ยนหรือปรับ



ภาพประกอบ 1-3 ชุดวัดระยะที่ประกอบอยู่กับเครื่องพับ, เครื่องตัดแผ่นเหล็ก

จากภาพประกอบที่ 1-3 เป็นชุดวัดระยะ (auto backgauge) ที่ประกอบอยู่กับเครื่องพับและตัดเหล็ก ซึ่งจำเป็นต้องใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังหรือตัวขับเคลื่อนในเครื่องจักรนี้ โดยมอเตอร์ที่ถูกนำมาใช้นั้น เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับแบบเหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 phase induction motor) หรือเรียกว่ามอเตอร์อินดักชัน ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีราคาถูกกว่ามอเตอร์ซิงโครนัส มีความเร็วค่อนข้างคงที่ (แต่ไม่คงที่เท่ากับมอเตอร์ซิงโครนัส) สะดวกในการบำรุงรักษา และมีโครงสร้างไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนเหมือนกับ มอเตอร์ซิงโครนัส นอกจากนี้ ยังมีความแข็งแรงทนทาน มีประสิทธิภาพสูง และสามารถสตาร์ท ได้จากหยุดนิ่งและไม่ต้องการทอร์กสูงขณะสตาร์ท ด้วยข้อดีต่างๆ เหล่านี้ จึงนิยมใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำในการขับภาระทางกล

อย่างไรก็ตาม ระบบต่างๆ จะทำงานได้ดี จำเป็นต้องอาศัยการควบคุมที่มีประสิทธิภาพ โดยในการควบคุมการเคลื่อนที่ในทางอุตสาหกรรมนั้น ประกอบด้วยการควบคุมแรงบิด (torque control) การควบคุมความเร็ว (speed control) และการควบคุมตำแหน่ง (position control) การควบคุมตำแหน่งและความเร็วให้ได้ความแม่นยำสูงนั้น จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต จึงได้มีการคิดค้นทฤษฎีระบบควบคุมขึ้นมาใหม่ๆ อยู่เสมอ เนื่องจากระบบควบคุมแบบเก่า เช่น การควบคุมแบบพีไอดีนั้น จะมีข้อจำกัดเมื่อนำไปควบคุมระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear system) ระบบที่ไม่รู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ชัดเจน ระบบอันดับสูง (high order system) และระบบที่มีความไม่แน่นอน (uncertain system) ทั้งนี้ทฤษฎีระบบควบคุมที่เกิดขึ้นใหม่ มักจะทำให้ระบบสามารถเรียนรู้

(learning) ปรับตัวเอง (adaptive) ทำนายผล (predictive) หรือหาเงื่อนไขที่มีความเหมาะสม (optimum) ได้ โดยทฤษฎีฟัซซี่ลอจิก ถือว่าเป็นทฤษฎีระบบควบคุมแนวใหม่ ซึ่งเกิดขึ้นในปี ค.ศ.1965 โดยนายล็อตฟี ซาเดห์ (Lotfi Zadeh) แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เบิรกเลย์ ได้นำเสนอฟัซซี่เซต (fuzzy set) และฟัซซี่ลอจิก(fuzzy logic) เพื่อใช้หาข้อสรุปตามหลักการเหตุผลแบบประมาณ (approximate reasoning) เมื่อตัวแปรของระบบถูกนิยามในรูปเชิงคุณสมบัติและมีความคลุมเคลือ เพื่อแก้ไขปัญหาความไม่ชัดเจนของปริมาณต่างๆ โดยเฉพาะในรูปของความรู้สึก เช่น ร้อน ค่อนข้างร้อน ร้อนมาก ซึ่งการวัดปริมาณเหล่านั้นให้เป็นค่าที่ชัดเจนนั้นทำได้ยาก ทำให้ไม่สามารถนำคอมพิวเตอร์มาใช้วิเคราะห์และคำนวณปริมาณเหล่านี้ได้ ทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกจึงถูกนำมาแก้ปัญหา โดยทำให้ความไม่แน่นอนของระดับลอจิกเป็นระดับที่ชัดเจนได้ และการควบคุมยังสามารถทำได้ละเอียดขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากเราสามารถกำหนดค่าที่อยู่ระหว่าง 0 กับ 1 ได้ เช่น ค่อนข้างร้อน อุ่น เป็นต้น ต่อมาในปี ค.ศ.1974 นายแมมดานิ (Mamdani E.H.) ได้นำหลักการฟัซซี่ลอจิกมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ (fuzzy controller) โดยแปลงความรู้ที่ได้จากประสบการณ์การควบคุมของผู้ปฏิบัติการให้อยู่ในรูปเงื่อนไข ถ้า....แล้.... ให้เป็นกฎการควบคุมที่มีตัวแปรเป็นฟัซซี่เซต ซึ่งจะช่วยให้สามารถอธิบายการปฏิบัติการและกฎการควบคุมของระบบเป็นคำพูดที่ชัดเจนขึ้น หลักการสำคัญของทฤษฎีฟัซซี่เซตคือ ยอมรับสมาชิกที่มีลักษณะตามเซตเพียงบางส่วนเข้ามาเป็นสมาชิกโดยมีการจัดค่าลำดับของการเป็นสมาชิก ซึ่งการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกสามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่เกิดจากการตัดสินใจของมนุษย์ จึงส่งผลให้มีการนำตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมาย และสิ่งที่ทำให้การควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิกเป็นที่สนใจมากขึ้น คือ ในปี ค.ศ.1987 ในประเทศญี่ปุ่นได้ประสบความสำเร็จในการควบคุมการจราจรในรถไฟใต้ดินด้วยทฤษฎีฟัซซี่ลอจิกที่ Sendai นับจากจุดนั้นมา บริษัทและมหาวิทยาลัยหลายแห่งในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการศึกษาอย่างจริงจัง จนสามารถนำทฤษฎีนี้ มาใช้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ มากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ กล้องวีดีโอ หม้อหุงข้าว และกล้องถ่ายภาพ เป็นต้น และในปัจจุบันยังได้นำไปประยุกต์ใช้ในระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) เช่น ควบคุมอุณหภูมิหอกลั่นน้ำมันในโรงกลั่น ทำให้ผลการควบคุมใกล้เคียงกับการตัดสินใจของมนุษย์มากขึ้น ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกได้เข้ามามีบทบาทในระบบควบคุม เนื่องจากข้อได้เปรียบ ดังนี้

1. สามารถควบคุมกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ เนื่องจากตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกมีคุณสมบัติของความไม่เป็นเชิงเส้นอยู่แล้ว
2. สามารถออกแบบตัวควบคุมโดยไม่รู้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ชัดเจนได้ เนื่องจากตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกจะใช้วิธีแปลงประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเป็นกฎการควบคุม

3. สามารถควบคุมกระบวนการที่มีความไม่แน่นอนได้ เนื่องจากตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกมีความคงทน (robust)

ดังนั้น จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นเหล่านี้ จึงทำให้เกิดงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้น เพื่อการพัฒนาระบบควบคุมมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้อย่างชาญฉลาดและมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะนำเทคโนโลยีระบบควบคุมฟัซซี่ลอจิกมาใช้ เพื่อให้เครื่องจักรกลในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งมีมอเตอร์เป็นต้นกำลัง สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และลดต้นทุนทางด้านแรงงานลงได้ โดยใช้เครื่องพับและตัดเหล็กเป็นต้นแบบในการพัฒนา

1.2 การตรวจเอกสาร

1.2.1 ตัวควบคุมฟัซซี่เวลาจริงกฎเดียวสำหรับคุมค่าความเร็วมอเตอร์ (เดชา พวงดาวเรือง. 2543: 130-136) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบและสร้างตัวควบคุมฟัซซี่เวลาจริงที่มีกฎการควบคุมเพียง 1 กฎสำหรับคุมค่าความเร็วดีซีมอเตอร์ โดยในการออกแบบกฎการควบคุมอาศัยตรรกเชิงศึกษาสำนึก (heuristic logic) และสร้างตัวควบคุมโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ Z180CPU ขนาด 8 บิต ทำงานที่สัญญาณนาฬิกา 10 MHz มีหน่วยความจำ 128 กิโลไบต์ ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผล ร่วมกับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก ซึ่งใช้ ADC0808 และ MC1408 เป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนซอฟท์แวร์จะใช้โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้ของ Z180CPU พัฒนาตัวควบคุม โดยที่การเขียนโปรแกรมเพื่อประมวลผลกฎการควบคุมฟัซซี่นั้น จะอาศัยคำสั่งเปรียบเทียบและคำสั่งตรวจสอบแฟลกรีจิสเตอร์เป็นหลัก ซึ่งในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบผลการคุมค่าความเร็วมอเตอร์ด้วยตัวควบคุมฟัซซี่แบบ 6 กฎ, 3 กฎและ 1 กฎ โดยได้ผลการทดลองว่าการใช้งานตัวควบคุมฟัซซี่ที่มีกฎการควบคุมเพียง 1 กฎ จะให้เวลาในการไต่ระดับ เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวและเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวเมื่อมีการรบกวน เท่ากับตัวควบคุมฟัซซี่แบบ 6 กฎ, 3 กฎ แต่จะมีค่าพุ่งเกินที่สูงกว่า ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการปรับตัวควบคุมให้เหมาะสม ผู้วิจัยได้สรุปว่าตัวควบคุมฟัซซี่ที่ออกแบบและสร้างขึ้นมานั้น สามารถคุมค่าความเร็วดีซีมอเตอร์ได้อย่างน่าพอใจ

1.2.2 การควบคุมตำแหน่งด้วยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ (เกษม อุทัยไขฟ้า และคณะ, 2543: 76-83) งานวิจัยนี้เป็นการนำตัวควบคุมแบบฟัซซี่มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมตำแหน่งในเชิงมุมที่มีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กเป็นตัวขับเคลื่อน โดยมีการป้อนกลับแรงดันที่แปรผันไปตามมุมที่เปลี่ยนไป ตัวควบคุมถูกออกแบบโดยอาศัยฐานความรู้ของผู้ออกแบบและระบบในการควบคุมร่วมกับการลองผิดลองถูก ในการทำงานของระบบควบคุม ถูกเขียนโดยโปรแกรมภาษาซีบนเครื่องคอมพิวเตอร์และติดต่อกับกับฮาร์ดแวร์ผ่านการ์ดแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและการ์ดแปลง

สัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก ที่มีความละเอียด 12 บิต จากผลการทดลองการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก ซึ่งมีช่วงของเดดโซนในย่านแรงดันต่ำ สามารถให้ผลตอบสนองต่อสัญญาณอ้างอิงและสัญญาณรบกวนได้ดี

1.2.3 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ฟัซซี่ลอจิก (Ouiguini R., Djeffal K., Oussedik A., 1997:1168-1172) งานวิจัยนี้ได้นำตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกมาใช้เป็นวิธีการในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยมุ่งเน้นในการสร้างตัวควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ไม่มีการใช้ฐานความรู้ที่แท้จริงของแบบจำลอง แต่ต้องการตัวควบคุมที่สร้างได้ง่ายและราคาถูก โดยยังคงให้ประสิทธิภาพในการควบคุมที่ดี กล่าวคือ มีเสถียรภาพ, มีความรวดเร็วและแม่นยำต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ซึ่งระบบนี้ จะประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์, คอนเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟสตามขนาดของความถี่, เอนโคดเดอร์, วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก, วงจรนับพัลซ์และการ์ดเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับคอมพิวเตอร์ และจากผลการทดลองการควบคุมความเร็วในขั้นต้น พบว่าระบบมีเถียรภาพที่ดี แต่เกิดค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เพิ่มตัวอินติกรัลเข้าไปและพบว่าสามารถลดค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวได้ แต่มีส่วนทำให้ระบบมีเสถียรภาพลดลงและใช้เวลาในการเข้าสู่เป้าหมายเพิ่มขึ้น

1.2.4 การควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบแกนเดียว (Kanchanathep A., Tunyasrirut S., Kagawa R., Ngamwiwit J., 2001:154-158) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกร่วมกับตัวเปลี่ยนความเร่ง เพื่อควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานเคลื่อนที่แบบแกนเดียว โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับเป็นตัวขับเคลื่อน และตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกถูกสร้างขึ้นจากโปรแกรม MATLAB และเชื่อมต่อมายังระบบที่จะควบคุมผ่านทางบอร์ดควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion Control Board) จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกสามารถควบคุมตำแหน่งของโต๊ะงานได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ โดยมีความละเอียดในการควบคุม 0.1 มิลลิเมตร

1.2.5 การประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกสำหรับระบบเซอร์โว (Li Y.F., Lau C.C., 1989:65-72) งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการนำเซอร์โวมอเตอร์ไปใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติต่างๆ โดยได้ระบุถึงข้อได้เปรียบของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก เปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบพีไอดีในเรื่องของการรบกวนที่มีต่อกระบวนการที่ไม่เป็นเชิงเส้นและการเปลี่ยนแปลงตัวแปรของระบบ รวมถึงการโอเวอร์แล็ปของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในฟัซซี่เซตที่มาก จะทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลนาน และจากผลการทดลองได้สรุปว่า ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกให้ประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ที่ดีกว่าตัวควบคุมแบบพีไอดี

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาหลักการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในการป้อนแผ่นเหล็กเข้าเครื่องพับและตัดเหล็ก

1.3.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับให้มีประสิทธิภาพ โดยระบบจะต้องเข้าสู่เป้าหมายเร็วและมีความแม่นยำสูง

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นการนำเสนอการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในการป้อนแผ่นเหล็กเข้าเครื่องพับและตัดเหล็กสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมโดยจะทำการจำลองระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นจึงสร้างระบบควบคุมขึ้น และทำการเปรียบเทียบผลการควบคุมระหว่างระบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์กับระบบควบคุมการเคลื่อนที่จริงที่สร้างขึ้นมา ซึ่งระบบควบคุมทั้งหมดจะเป็นซอฟท์แวร์ที่ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) ตระกูล MCS-51 โดยใช้หลักการของฟัซซี่ลอจิกเป็นตัวควบคุมกระบวนการ ซึ่งจะทำการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ เพื่อให้สามารถป้อนแผ่นเหล็กที่จะพับหรือตัดได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ นอกจากนี้ชุดควบคุมจะต้องสามารถควบคุมเครื่องพับและตัดเหล็กให้มีเสถียรภาพการทำงานตามที่ต้องการ โดยระบบจะต้องเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำด้วย

1.5 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

1.5.1 ศึกษาหลักการทำงานของระบบที่ต้องการควบคุม

1.5.2 ศึกษาหลักการควบคุมทางดิจิตอลและตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

1.5.3 สร้างแบบจำลองของระบบของระบบที่ต้องการควบคุม

1.5.4 ออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์

1.5.5 จำลองการทำงานของระบบควบคุม โดยใช้โปรแกรม MATLAB

1.5.6 สร้างระบบควบคุมจริง

1.5.7 ทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมด ซึ่งควบคุมโดยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

1.5.8 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์และประเมินผลการทดสอบ

1.5.9 สรุปผล และเสนอแนะแนวทางในการทำวิจัยต่อไป

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ต้นแบบชุดควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถนำไปใช้ในเครื่องพับและตัดเหล็ก สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมได้

1.6.2 เสริมสร้างและพัฒนาความรู้ความเข้าใจในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับและนำไปประยุกต์ใช้ในงานอื่น ๆ รวมถึงสามารถถ่ายทอดความรู้เหล่านี้ต่อไปได้

1.6.3 สามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้จริง

1.7 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 6 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของหัวข้อวิจัย แนะนำการใช้ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก การตรวจเอกสาร วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ขั้นตอนและวิธีการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และขอบเขตของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบบจำลองของมอเตอร์และหลักการควบคุมมอเตอร์ รวมถึงหลักการและทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่เป็นพื้นฐานสำหรับนำมาประยุกต์เพื่อออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

บทที่ 3 โครงสร้างและการจำลองการทำงานของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก กล่าวถึงโครงสร้างและการทำงานของเครื่องพับและตัดเหล็ก ส่วนประกอบของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์และแบบจำลองของระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก รวมถึงการจำลองการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

บทที่ 4 ระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก กล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆ ที่นำมาสร้างระบบควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ และหลักการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกที่ใช้ควบคุมตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก

บทที่ 5 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง กล่าวถึง การทดลองการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์ในเครื่องพับและตัดเหล็ก โดยแบ่งเป็นการทดลองเชิงเส้นและการทดลองแบบสุ่ม แล้วจึงทำการเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองการควบคุมและผลการทดลองการเคลื่อนที่จริงของมอเตอร์

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงสรุปผลของการทดลอง บทสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ