บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมได้เข้ามามีบทบาทต่อการพัฒนาประเทศมากขึ้นจะพบว่ามีโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆเกิดขึ้นมากมายรอบๆเมืองหลวง และในโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จะมีการใช้ทั้งแรงงานคนและเครื่องจักรกลต่างๆมากมาย โดยในยุคแรกนั้นมีมนุษย์เป็นผู้คอยควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกล ในช่วงต่อมาได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาคอยควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลแทนมนุษย์ทำให้เครื่องจักรกลที่พบเห็นส่วนใหญ่ทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งจุดประสงค์หลักในการนำเครื่องจักรกลมาใช้งานก็เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานนั่นเองไม่ว่าจะเป็นทางด้านความเร็ว ปริมาณ คุณภาพ ความแม่นยำ ฯลฯ

แขนหุ่นยนต์หรือแขนกลจัดเป็นเครื่องจักรอีกชนิดหนึ่งที่พบเห็นได้มากในโรงงานอุตสาหกรรมเช่นโรงงานผลิตรถยนต์, โรงงานผลิตโทรทัศน์, โรงงานผลิตอุปกรณ์ทางอิเลกทรอนิกส์, คอมพิวเตอร์ ฯลฯ โดยทั่วไปแขนกลที่พบมีทั้งแขนกลแบบข้อต่อเดียว และแขนกลแบบหลายข้อต่อ ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวเข้ามาใช้งานในด้านต่างๆมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบของแขนกลประเภทนี้คือมีน้ำหนักเบาทำให้ประหยัดพลังงานในการขับเคลื่อน รวมทั้งสามารถให้ผลตอบสนองที่รวดเร็ว ระบบแขนกลแบบอ่อนตัวที่ศึกษานี้เป็นแบบข้อต่อเดียวซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสองส่วนคือ คานอ่อนตัว (Flexible Beam) ที่มีปลายหนึ่งยึดติดกับมอเตอร์กระแสตรง (DC motor) ซึ่งทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้คานหมุนไปตามแนวราบ สำหรับเป้าหมายของการควบคุมคือการที่มอเตอร์มีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ อย่างไรก็ตามในการเคลื่อนที่ของแขนกลประเภทนี้จะเกิดการแกว่งงอ (Bending Vibration) อันเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของตัวแขนกลเอง ดังนั้นนอกจากการควบคุมตำแหน่งที่ต้องการของมอเตอร์แล้ว การลดแกว่งที่เกิดขึ้นกับตัวแขนกลก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่จะต้องแก้ไข ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการแกว่งที่เกิดขึ้นที่ปลายแขน

กลแบบอ่อนตัวซึ่งพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแขนกลแบบอ่อนตัวนี้สามารถบรรยายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation) และเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)ซึ่งหมายความว่าปริภูมิสถานะ (State Space) ของระบบมีมิติอนันต์ (Infinite-dimensional)

ในการควบคุมระบบที่มีมิติอนันต์ที่ผ่านมานั้นส่วนใหญ่จะเป็นแบบอาศัยแบบจำลอง (Model-based) ซึ่งมี 2 แนวทางคือ

1. วิเคราะห์ระบบและออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ทฤษฎีระบบควบคุมมิติอนันต์

2. ประมาณระบบมิติอนันต์ด้วยระบบมิติจำกัด (finite-dimensional) แล้วออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ทฤษฎีระบบควบคุมมิติจำกัด แล้วทดลองใช้ตัวควบคุมที่ได้กับระบบจริงที่เป็นระบบมิติอนันต์

ซึ่งทั้งสองแนวทางนี้ก็จะมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไป กล่าวคือแนวทางแรกต้องใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูงซึ่งทำให้การวิเคราะห์และออกแบบยุ่งยากซับซ้อนมาก ส่วนแนวทางที่สองอาจมีความซับซ้อนน้อยกว่าแต่สมรรถนะของระบบขึ้นกับเทคนิคการลดทอนแบบจำลอง (Model Reduction) ที่ใช้

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมานั้นได้มีการเสนอแนวคิดและวิธีออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวด้วยกันหลายวิธีเป็นต้นว่า [Sakawa and Luo,1989] ได้เสนอวิธีการลดผลของการโก่งงอ (Bending Vibration) และการบิด (Torsional Vibration) ของแขนกลแบบอ่อนตัว โดยการป้อนสัญญาณที่วัดได้จากตัวตรวจความรู้ความเคลียดของวัตถุ (Strain Gauge) คือ ความเค้นการสั่น (Bending Strain) และความเค้นการบิด (Torsional Strain) กลับเพื่อไปควบคุมของการหมุนของมอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมการแกว่งงอและการบิดของแขนกลแบบอ่อนตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

[Robert, John and Jiri, 1990]ได้ใช้วิธีการป้อนสัญญาณควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์เป็นสัญญาณป้อนกลับมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนกล พบว่าและมีผลให้ระบบมีเสถียรภาพ

[Cincente, Kuldip and H. BenJamin, 1990] ได้เสนอแนวคิดที่จะควบคุมทีปลายของแขนกลแบบอ่อนตัว เมื่อมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นที่ข้อต่อและกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงมวลที่ปลายของแขนกล โดยมีการป้อนกลับ 2 วงคือวงภายใน (Inner Loop) และวงภายนอก (Outer Loop) ในส่วนของวงปิดภายในทำหน้าที่ในการควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์และวงปิดภายนอกทำหน้าที่ในการควบคุมตำแหน่งปลายของแขนกล เมื่อทำการเปลี่ยนมวลที่ปลายแขนกลก็ยังสามารถควบคุมระบบได้โดยการแยกการเชื่อมร่วมพลวัต (Dynamic Decoupling) ของระบบและประยุกต์การใช้การควบคุมแบบปรับตัวเองควบคุมตำแหน่งปลาย ในส่วนของความเสียดทานที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นนั้นถูกควบคุมโดยใช้อัตราขยายที่มีค่าสูงซึ่งป้อนกลับมาจากสัญญาณควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์

[Qian and Ma, 1992] ได้เสนอวิธีการออกแบบตัวควบคุมโดยใช้การเปลี่ยนโครงสร้างตัวควบคุมเพื่อให้เหมาะสมกับจุดทำงาน (Variable Structure Sliding Mode) พบว่าเมื่อมีการใช้คาบเวลาชักตัวอย่าง (Sampling period) น้อยๆและใช้อัตราขยายที่มีค่าสูงจะสามารถควบคุมตำแหน่งปลายของแขนกลแบบอ่อนตัวได้เป็นอย่างดี

[Luo, 1993] ได้เสนอวิธีการป้อนกลับความเค้นของวัตถุโดยตรง (Direct Strain Feedback) โดยการวัดสัญญาณจากการแกว่งงอและการบิดของแขนกลแบบอ่อนตัวนี้แล้วป้อนกลับไปเป็นสัญญาณควบคุมให้กับตัวมอเตอร์โดยมีการปรับอัตราขยายที่เหมาะสม พบว่าวิธีนี้สามารถแก้ปัญหาการแกว่งงอของแขนกลแบบอ่อนตัวและทำให้ระบบมีเสถียรภาพที่ดีแต่พบว่าถ้าพารามิเตอร์ของระบบมีการเปลี่ยนแปลงแล้วแต่ยังคงใช้อัตราขยายค่าเดิมจะทำให้ผลตอบสนองชั่วครู่ไม่ดีเท่าที่ควร

จากข้างต้นจะเห็นว่าได้มีผู้เสนอวิธีการควบคุมแบบต่างๆ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว เช่น การชดเชยแบบป้อนไปข้างหน้าและป้อนกลับ (Feedforward and Feedback Compensation) การควบคุมแบบปรับตัวเอง (Adaptive Control) การป้อนกลับความเค้นของวัตถุโดยตรง ฯลฯ ส่วนในโครงการวิจัยนี้จะศึกษาความเป็นไปได้และสมรรถนะของระบบเมื่อใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซี (Fuzzy Logic) ในการควบคุม

การอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเพื่อกำหนดขั้นตอนวิธีการควบคุมนั้นถ้าในระบบมีความซับซ้อนมากจนไม่สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกต้องได้ก็จะไม่สามารถออกแบบตัวควบคุมให้มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการได้ สำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือก

ใช้ตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีเพราะเป็นเทคนิคที่ไม่จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความแม่นยำสูง จึงเป็นวิธีที่เหมาะกับระบบที่ไม่สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้หรือระบบที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความซับซ้อนมาก ซึ่งการออกแบบระบบควบคุมด้วยวิธีตรรกศาสตร์ฟัซซี ยังสามารถปรับแต่งฐานกฎในการควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการได้

จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อเป็นการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซี และนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซีเพื่อควบคุมระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวโดยอาศัยการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation)
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำตัวควบคุมที่ออกแบบไว้มาใช้ในการควบคุมระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวที่เป็นระบบจริง (Hardware Implementation)

ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาเกี่ยวกับระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว ประมาณระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการจำลองแบบระบบด้วยคอมพิวเตอร์
2. ศึกษาเกี่ยวกับตรรกศาสตร์ฟัซซี
3. เก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเข้าตัวควบคุมและสัญญาณออกเพื่อใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซี
4. จำลองแบบระบบด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งในส่วนของแขนกลแบบอ่อนตัวและตัวควบคุมที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนที่ 3 เพื่อดูความเป็นไปได้และสมรรถนะในการควบคุมและการปรับแก้การออกแบบให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นถ้าเป็นไปได้
5. นำตัวควบคุมที่ออกแบบไว้ไปใช้กับระบบจริงเพื่อดูพฤติกรรมที่เกิดขึ้นและปรับแก้ให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิทยานิพนธ์นี้เป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ในทางระบบควบคุม เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาระบบควบคุมแขนกลที่มีความซับซ้อนขึ้นไปอีก เช่น แขนกลหลายข้อต่อ ซึ่งคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการนำแขนกลแบบอ่อนตัวไปใช้งานจริงในทางอุตสาหกรรมต่อไป

โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ประกอบด้วยเนื้อหาต่างๆ 6 บทด้วยกันโดยในบทแรกนี้กล่าวถึงความสำคัญของการศึกษา เป้าหมาย และขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ

บทที่ 2 กล่าวถึงพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับศึกษาการควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีได้แก่ ความหมาย นิยาม และทฤษฎีต่างๆของฟัซซีเซต ตรรกศาสตร์ฟัซซี การใช้เหตุผลโดยประมาณ และระบบตรรกศาสตร์ฟัซซี

บทที่ 3 กล่าวถึงลักษณะโดยทั่วไปรวมทั้งปัญหาของระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัว โดยมีการประมาณระบบให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อออกแบบตัวควบคุมโดยใช้ตรรกศาสตร์ฟัซซี

บทที่ 4 กล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบตัวควบคุมด้วยตรรกศาสตร์ฟัซซีและนำตัวควบคุมดังกล่าวมาใช้กับระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวโดยได้จำลองระบบดังกล่าวด้วยคอมพิวเตอร์

บทที่ 5 กล่าวถึงการนำตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์ฟัซซีมาใช้ควบคุมคุมระบบแขนกลข้อต่อเดียวแบบอ่อนตัวที่เป็นระบบจริง และบทที่ 6 เป็นบทสรุปของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย