

บทที่ 4

การศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทานในหุ่นยนต์ CRS Robotics

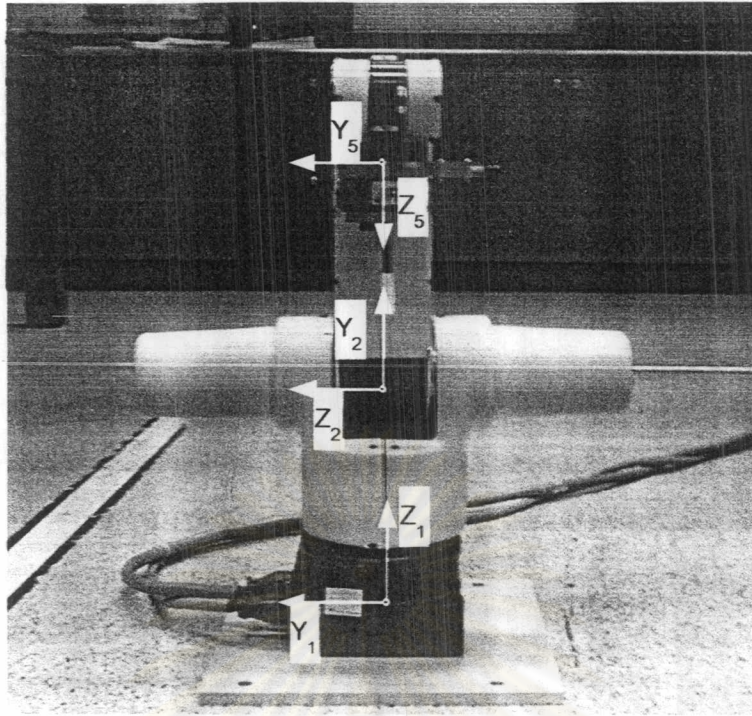
4.1 นำเรื่อง

จากที่ได้นำเสนอข้างต้นเกี่ยวกับทฤษฎี ปฏิกิริยาการณณ์และแบบจำลองต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน ในบทนี้จะกล่าวถึงกรรมวิธีที่ใช้ในการศึกษาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบจักรกล โดยใช้ระบบหุ่นยนต์ CRS Robotics เป็นต้นแบบ

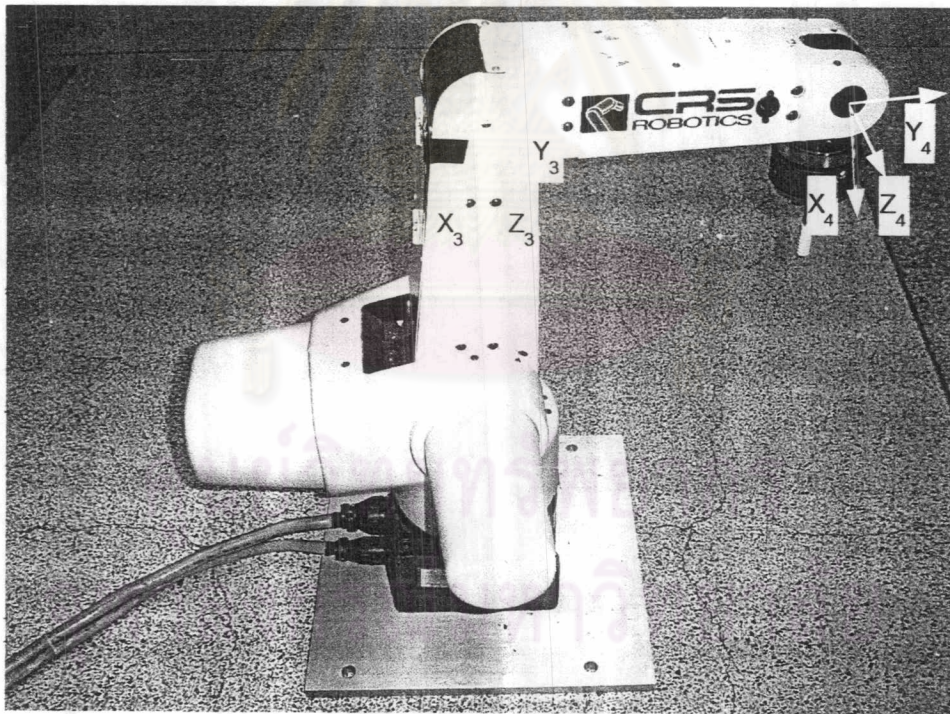
หุ่นยนต์ CRS Robotics เป็นหุ่นยนต์แบบ Articulate หรือ Anthropomorphic ที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในระบบอุตสาหกรรม ข้อต่อของหุ่นยนต์ชนิดนี้ทุกข้อต่อจะเป็นระบบแกนหมุนที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน ในการขับเคลื่อน เนื่องจากมีรูปแบบการเคลื่อนที่คล้ายกับการเคลื่อนที่ของแขนมนุษย์ทำให้มีลักษณะการเคลื่อนที่ที่คล่องตัว หลักการทำงานเข้าใจได้ง่าย ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งไม่มากเมื่อเทียบกับขนาดของปริมาตรการทำงานของหุ่น และราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับหุ่นยนต์รูปแบบอื่นๆ

ระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ CRS Robotics ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงของบริษัท EG&G รุ่น M2110 โดยมี Incremental Optical Encoder ที่มีความละเอียด 1000 pulses/rev ติดตั้งมากับมอเตอร์ทุกตัว ระบบส่งกำลังของหุ่นยนต์ CRS Robotics ใช้ระบบเกียร์ Harmonics drives รุ่น A100/200 ในการลดความเร็วที่ออกมาจากมอเตอร์และเพิ่มขนาดของแรงบิดไปพร้อมๆ โดยมีอัตราทดคือ 72:1 สำหรับการขับเคลื่อนที่ 1 และ 2 มอเตอร์จะส่งกำลังผ่านระบบ Harmonics drive เพื่อใช้ในการหมุนแกน และแกนหมุนที่ 3 4 และ 5 มอเตอร์จะส่งกำลังผ่านโซ่ขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วเพื่อใช้ในการหมุน ข้อดีของระบบ Harmonics drive คือจะทำให้ระบบส่งผ่านกำลังในแกนหมุนที่ 1 และ 2 ปราศจาก Backlash

ในงานวิจัยนี้จะใช้หุ่นยนต์ CRS Robotics เพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาพฤติกรรมและศึกษาขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น โดยเลือกแกนหมุนที่ 1 ของหุ่นยนต์ CRS Robotics มาใช้ในการศึกษาเนื่องจากสามารถวัดค่าตำแหน่งได้อย่างละเอียดจาก Optical Encoder ที่มีขนาด 1000 pulse/rev และเมื่อผ่านระบบเกียร์ทดแล้วจะสามารถวัดได้ละเอียดถึง 200 pulse/degree และสาเหตุที่สำคัญสำหรับการเลือกแกนหมุนที่ 1 เป็นต้นแบบคือ สามารถหลีกเลี่ยงผลของการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ความเฉื่อยที่มีต่อการคำนวณหาแรงเสียดทานของแขนหุ่นยนต์ CRS Robotics ได้



(ก) แกนหมุนที่ 1 2 และ 5 ของหุ่นยนต์ CRS Robotics



(ข) แกนหมุนที่ 3 และ 4 ของหุ่นยนต์ CRS Robotics

รูปที่ 4.1 หุ่นยนต์ CRS Robotics

4.2 แนวทางในศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทาน

4.2.1 นำเรื่อง

การวัดเป็นศาสตร์หนึ่งที่จะเข้ามามีบทบาทกับทุกสาขาวิชาแม้แต่ในชีวิตประจำวันซึ่งมักจะมีการวัดอยู่ตลอดเวลา เช่น ในการวัดความเร็วและระยะทางในขณะขับรถ หรือการวัดอุณหภูมิในระบบทำความเย็น

ในงานอุตสาหกรรม ระบบวัดเป็นสิ่งที่จะต้องจำเป็นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่ใช้การทำงานแบบอัตโนมัติ เพราะระบบวัดและค่าที่ได้จากการวัดจะเป็นสิ่งที่ใช้ในการตัดสินใจ บ่งบอกถึงรายละเอียดของระบบ ควบคุมการทำงาน รวมไปถึงสามารถบอกประสิทธิภาพของตัวควบคุมได้ด้วย

ในระบบควบคุมใดๆ การวัดก็เป็นหัวใจหนึ่งของการควบคุม เพราะค่าที่ได้จากการวัดจะเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการเพื่อนำไปสู่การปรับปรุ่ค่าตัวแปรของการควบคุม หรือเปลี่ยนแปลงระบบควบคุม เพื่อให้บรรลุสู่เป้าหมายที่ต้องการควบคุม

ในระบบที่ต้องการความถูกต้องและแม่นยำสูง การวัดยังเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากความแม่นยำของค่าที่ได้จากการวัด เป็นปัจจัยที่สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพ และระดับความสามารถของระบบได้

อุปกรณ์พื้นฐานที่ทำหน้าที่ในการวัดประกอบด้วย

- ทรานสดิวเซอร์ หรือเซ็นเซอร์เป็นตัวทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงชนิดของสัญญาณที่วัดได้ไปสู่รูปแบบอื่นของสัญญาณที่สามารถนำไปใช้ได้ ง่ายด้ายกว่า เช่นเปลี่ยนจากอุณหภูมิเป็นสัญญาณไฟฟ้า เป็นต้น
- ตัวปรับสัญญาณ ใช้ในการปรับแต่สัญญาณขาออกของทรานสดิวเซอร์ เพื่อให้สัญญาณอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมขึ้น เช่นทำให้สัญญาณเรียบขึ้น
- อุปกรณ์แสดงข้อมูลของสัญญาณ ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดรวมไปถึงขนาดของสัญญาณเพื่อความสะดวกในการพิจารณาหรือเก็บค่าสัญญาณ
- อุปกรณ์เสริมอื่นๆ เป็นสิ่งที่ใช้ร่วมกับอุปกรณ์หลักเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และขยายความสามารถของการวัดให้เหมาะสมกับงานแต่ละชนิดเช่น
 - อุปกรณ์สอบเทียบ ที่ใช้ในการปรับแต่งให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องอยู่เสมอ
 - แหล่งจ่ายพลังงานภายนอก เป็นส่วนที่ใช้ให้อุปกรณ์ทำงานได้

สำหรับในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงการวัดค่าทางกลที่ต้องการบางค่าเท่านั้น อันได้แก่ ค่าตำแหน่ง ค่าความเร็ว และค่าความเร่ง ซึ่งการวัดค่าเหล่านี้มีด้วยกันหลายวิธี และสามารถวัดทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม

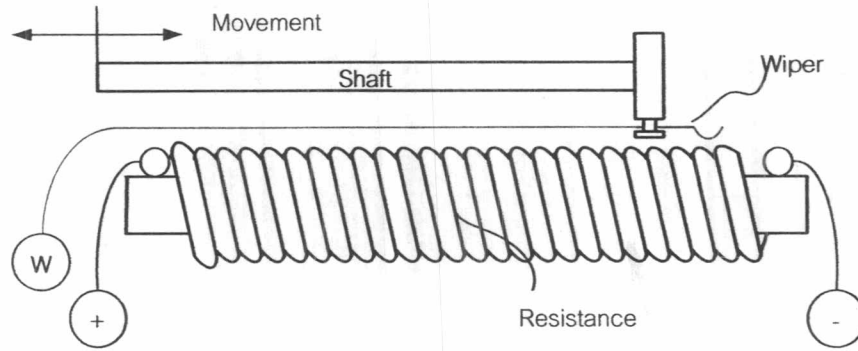
4.2.2 การหาค่าตำแหน่ง ความเร็วและความเร่งของระบบ

การวัดค่าตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่งของระบบ เป็นหัวข้อที่สำคัญมาก สำหรับกระบวนการทางอุตสาหกรรม เนื่องจากข้อมูลตำแหน่ง ความเร็วและความเร่ง เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่การใช้งานประเภทอื่นๆ เช่น การควบคุมตำแหน่ง การควบคุมแบบติดตามความเร็ว การวัดระดับของเหลว เป็นต้น

การวัดค่าตำแหน่ง ความเร็วและความเร่งสามารถทำได้โดยการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดทำการวัดค่าได้โดยตรง ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายโดยง่าย ซึ่งความถูกต้องแม่นยำและความละเอียดจะขึ้นอยู่กับชนิดและแนวทางในการวัดของแต่ละอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าทางกลของระบบมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะงาน ค่าความละเอียด ความต้องการของผู้ใช้ และรูปแบบของสัญญาณ ซึ่งในที่นี้จะนำเสนออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่าทางกลเพียง 3 ชนิดคือ อุปกรณ์วัดตำแหน่ง อุปกรณ์วัดความเร็ว และอุปกรณ์วัดความเร่ง

- อุปกรณ์วัดตำแหน่ง เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่มีใช้ทั่วไป เนื่องจากเป็นอุปกรณ์พื้นฐานจึงมีความต้องการของตลาดสูงเป็นเหตุให้มีผลิต ออกแบบมาหลายชนิด แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติและหลักการในการทำงานที่แตกต่างกันออกไปดังที่จะกล่าวต่อไปนี้
 - Potentiometer เป็นอุปกรณ์วัดตำแหน่งที่เป็นที่รู้จักเป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ง่าย ราคาถูก สามารถใช้ในการวัดได้ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม โดยมีหลักการทำงานคือการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของระบบวัดตำแหน่งตามระยะทาง ทำให้ค่าสัญญาณที่ออกมาจาก Potentiometer มีค่าแปรผันตามระยะทาง และใช้ค่าสัญญาณที่ออกนี้เป็นเป็นตัวบอกตำแหน่ง ค่าความละเอียดของ Potentiometer จะขึ้นอยู่กับจำนวนขดลวดต้านทาน และเนื่องจากการทำงานของ Potentiometer มีการสัมผัสกับระหว่าง wiper และขดลวดต้านทานดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นเหตุของการสึกหรอ จึงทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้



รูปที่ 4.2 Potentiometer

- Capacitive และ Inductive เป็นรูปแบบของอุปกรณ์วัดตำแหน่งที่อาศัยหลักของการเก็บประจุ ระหว่างโลหะ 2 ชั้นมาใช้และหลักของการเหนี่ยวนำของแกนโลหะที่มีค่า permeable มาใช้ในการวัดระยะทางในเชิงเส้น ข้อเสียของวิธีแรกคือจะใช้วัดระยะทางของอุปกรณ์ที่เป็นโลหะเท่านั้น และทั้งสองวิธีจะมีช่วงการทำงานที่ค่อนข้างแคบ แต่ความแม่นยำจะสูงมาก
- LVDT และ RVDT เป็นอุปกรณ์วัดระยะที่ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่า Reductance ซึ่งสามารถใช้ในการวัดระยะทางได้ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุม การวัดด้วยอุปกรณ์แบบนี้จะให้ค่าความละเอียดที่สูงมากและมีอายุการใช้งานมากกว่าแบบการเก็บประจุและการเหนี่ยวนำ แต่ก็เป็นอุปกรณ์ที่มีช่วงการทำงานแคบเช่นกัน
- Digital Optical Encoder เป็นอุปกรณ์วัดตำแหน่งเชิงมุมที่ใช้กันมากในหุ่นยนต์ เนื่องจากสามารถใช้ได้ง่ายโดยการติดตั้งไว้กับมอเตอร์ มีหลายขนาดและหลายราคา หลักการทั่วไปของ Encoder คือการนับจำนวนของ pulse หรือจำนวนช่วงที่อยู่บนจากหมุนของ Encoder และส่งผลออกมาเป็นค่าตัวเลข ในปัจจุบัน Encoder ที่มีใช้ สามารถแยกออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือแบบ Absolute Encoder ที่จะส่งค่าตัวเลขเฉพาะของแต่ละตำแหน่งการหมุนของเพลาออกมา กับ Incremental Encoder ที่ส่งเพียงค่าที่นับได้ออกมาเท่านั้น
- อุปกรณ์วัดความเร็ว เนื่องจากความเร็วเป็นค่าอนุพันธ์ของตำแหน่ง ดังนั้นควรจะสามารถ หาค่าความเร็วจากตำแหน่งที่วัดได้ โดยไม่จำเป็นต้อง

อาศัยอุปกรณ์เพิ่มเติม แต่ในความเป็นจริงแล้วสัญญาณตำแหน่งที่วัดได้ อาจมีค่าความผิดพลาดหรืออาจมีข้อจำกัดอื่นๆ ดังนั้นจึงได้มีการจัดสร้าง อุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการวัดความเร็วได้คือ Tachometer ซึ่งมีหลักการ ทำงานคล้ายเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือการโดยการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณ ความเร็วของการเคลื่อนที่เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยหลักการนี้สามารถนำไป ดัดแปลงใช้วัดความเร็วได้ทั้งในแบบเชิงเส้นและเชิงมุม

- อุปกรณ์วัดความเร่ง เนื่องจากความเร่งเป็นเป็นค่าอนุพันธ์ของความเร็ว ดังนั้นควรจะหาหาค่าความเร่งจากสัญญาณความเร็วที่วัดได้โดยไม่ต้อง จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์เพิ่มเติม แต่ในความเป็นจริงแล้วสัญญาณ ความเร็วที่วัดได้ อาจมีค่าความผิดพลาดหรืออาจมีข้อจำกัดอื่นๆ ดังนั้นจึงได้มี การจัดสร้างอุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการวัดความเร่ง เช่น
 - Acceleration Potentiometer เป็นการใช้ Potentiometer ในการ วัดการเคลื่อนที่ของมวลสั้นโดยวัดค่าความต้านทานจากการ เปลี่ยนแปลงตำแหน่งเพื่อนำไปสู่การหาค่าความเร่ง ซึ่งอุปกรณ์ ชนิดนี้ไม่สามารถใช้งานได้ดีที่ความถี่สูงกว่า 60 Hz เนื่องจากค่าถี่ ธรรมชาติของอุปกรณ์ชนิดนี้จะมีค่าประมาณ 60 Hz แต่มีข้อดีคือ ราคาถูก
 - LVDT ใช้ในการวัดความเร่งแบบเชิงเส้น โดยการวัดจากการ เคลื่อนที่ของมวลเพื่อนำไปสู่การหาความเร่งของระบบ อุปกรณ์ ชนิดนี้เหมาะกับการหาความเร่งที่ความถี่ต่ำกว่า 80 Hz ในสภาวะ คงตัว
 - Piezoelectric เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด หลักการคือการใช้ Piezoelectric crystal ซึ่งแร่ที่มีคุณสมบัติในการคายประจุไฟฟ้า เมื่อได้รับแรงกด หลักการการทำงานคือ เมื่อมีความเร่งเกิดขึ้น จะ เกิดแรงกดและ Piezoelectric Crystal จะคายประจุไฟฟ้าออกมา ตามขนาดของแรงกด จากนั้นทำการแปลงขนาดของ สัญญาณไฟฟ้าที่ได้มาเป็นค่าความเร่ง ข้อดีที่โดดเด่นของวิธีนี้คือ สามารถใช้ในอุณหภูมิสูงได้ถึง 800 องศาเซลเซียสขึ้นอยู่กับวัสดุ ที่นำมาใช้ในการทำอุปกรณ์วัดความเร่ง สามารถอุปกรณ์วัด ความเร่งที่มีขนาดเล็กมากๆ และความเร็วในการตอบสนองต่อ ความเร่งสูงทำให้สามารถวัดค่าความเร่งที่ความถี่สูงได้

4.2.3 การหาค่าความเฉื่อยของระบบ

เมื่อมวลมีการเคลื่อนที่รอบแกนใดๆ ใน 3 มิติโดย r คือระยะจากส่วนของมวล dm ไปถึงแกนหมุน ขนาดของโมเมนต์ความเฉื่อยของมวลจะมีค่า

$$I = \int r^2 dm \quad (4.1)$$

เมื่อ I คือโมเมนต์ความเฉื่อยของมวล m รอบแกนหมุน

โดยนิยามของโมเมนต์ความเฉื่อยของการเคลื่อนที่คือ ค่าที่ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ในเชิงมุมของวัตถุ เมื่อระบบประกอบด้วยมวลหลายๆ ชิ้น ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบสามารถหาได้จาก

$$I = \sum r_i^2 m_i \quad (4.2)$$

หรือ $I = \rho \int r^2 dV \quad (4.3)$

ในกรณีที่ทราบความหนาแน่นและปริมาตรของวัตถุ

โดย ρ คือความหนาแน่นของวัตถุ

V คือปริมาตร

ในงานวิจัยนี้มีความจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหุ่นยนต์ CRS Robotics เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าแรงเสียดทาน แต่เนื่องจากความซับซ้อนในการประกอบ และข้อจำกัดเกี่ยวกับข้อมูลรายละเอียดของวัสดุที่นำมาประกอบ ทำให้ไม่สามารถวัดค่าโมเมนต์ความเฉื่อยได้โดยตรง จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาแนวทางในการหาค่าความเฉื่อยของระบบด้วยวิธีอื่นซึ่งจะนำเสนอต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.4 การหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบ

จากสมการการเคลื่อนที่

$$\tau_{input} - \tau_{friction} = J\ddot{\theta} \quad (4.4)$$

เมื่อ τ_{input} คือแรงที่กระทำต่อระบบ

$\tau_{friction}$ คือแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับระบบ

J คือค่า Mass moment inertia ของระบบ

$\ddot{\theta}$ คือค่าความเร่งของระบบ

จากสมการ 4.4 พบว่าหากสามารถวัดค่าความเร่งของระบบ และทราบค่า Mass moment of inertia จะสามารถหาค่าของแรงเสียดทานที่เวลาและความเร็วใดๆ ได้

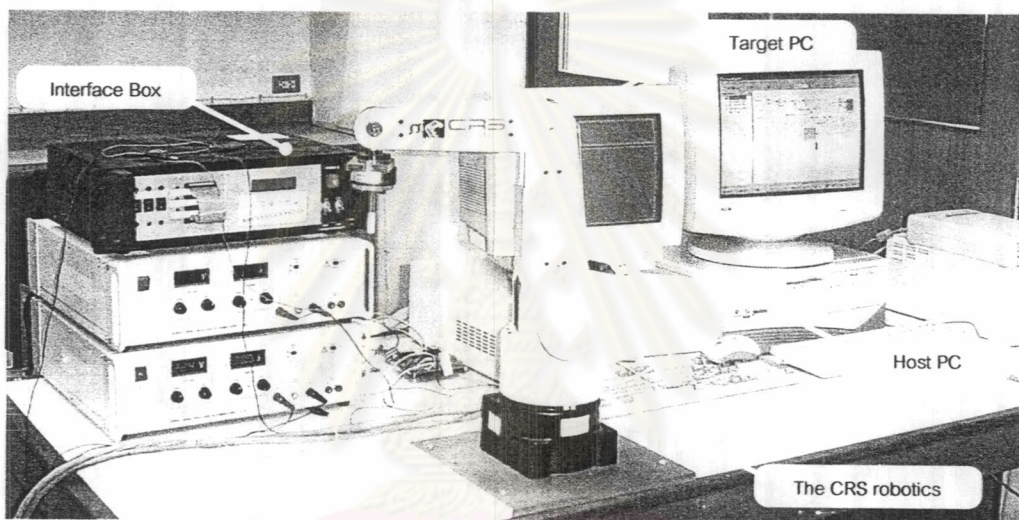
เนื่องจากหุ่นยนต์ CRS Robotics ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าแรงเสียดทานในงานวิจัยนี้เพียงอุปกรณ์วัดตำแหน่งคือ Optical Encoder เท่านั้น และการหาค่า Mass moment of inertia จากการวัดโดยตรงนั้นค่อนข้างซับซ้อนยุ่งยาก ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการพิจารณาขนาดและพฤติกรรมของแรงเสียดทาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาแนวทางในการหาค่าแรงเสียดทานจากอุปกรณ์วัดพื้นฐานที่มีอยู่ ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป

4.3 ชุดทดลองและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงระบบที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นหุ่นยนต์ CRS Robotics และเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงผลของแรงโน้มถ่วง การทดลองนี้จึงได้เจาะจงที่จะศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทานเฉพาะในแกนหมุนที่หนึ่ง ของหุ่นยนต์ CRS Robotics เท่านั้น

จากรูปที่ 4.3 เป็นระบบที่นำมาใช้ในการทดสอบหาพฤติกรรมของแรงเสียดทาน ประกอบด้วย หุ่นยนต์ CRS Robotics ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงผ่านระบบส่งกำลังแบบ Harmonic Drive ที่มีอัตราทด 72:1 และอุปกรณ์วัดตำแหน่งติดตั้งมาพร้อมกันกับมอเตอร์ไฟฟ้า ส่วนควบคุมประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) 2 เครื่องสำหรับเป็น Host PC เพื่อใช้พัฒนาโปรแกรมรวมไปถึงพัฒนาระบบควบคุม และ Target PC ซึ่งใช้

ระบบปฏิบัติการ xPC kernel เพื่อควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ และจัดการกับข้อมูลที่ได้จากหุ่นยนต์ สำหรับส่วนที่ใช้ในการติดต่อระหว่างหุ่นยนต์และ Target PC ประกอบด้วย PCL726 D/A Card ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณคำสั่งแบบ Digital ไปสู่สัญญาณไฟฟ้าแบบ Analog และ ETT 8255 DI Card ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณ Digital จาก Interface box เข้าสู่ Target PC เพื่อใช้ในการประมวลผล โดยการด์ที่ใช้ในการติดต่อกับหุ่นยนต์ทั้ง 2 ชั้นจะติดตั้งอยู่ในเครื่อง Target PC และอุปกรณ์ที่เป็นตัวกลางระหว่างภาคกำลังและภาคสัญญาณ คือ Interface box ซึ่งทำหน้าที่ในการรับสัญญาณตำแหน่งจาก Encoder ไปยัง ETT 8255 Card และยังทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณคำสั่งจาก Target PC ไปเป็นสัญญาณภาคกำลังเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน หุ่นยนต์ CRS Robotics ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้แต่ละชิ้นจะมีรายละเอียดดังนี้

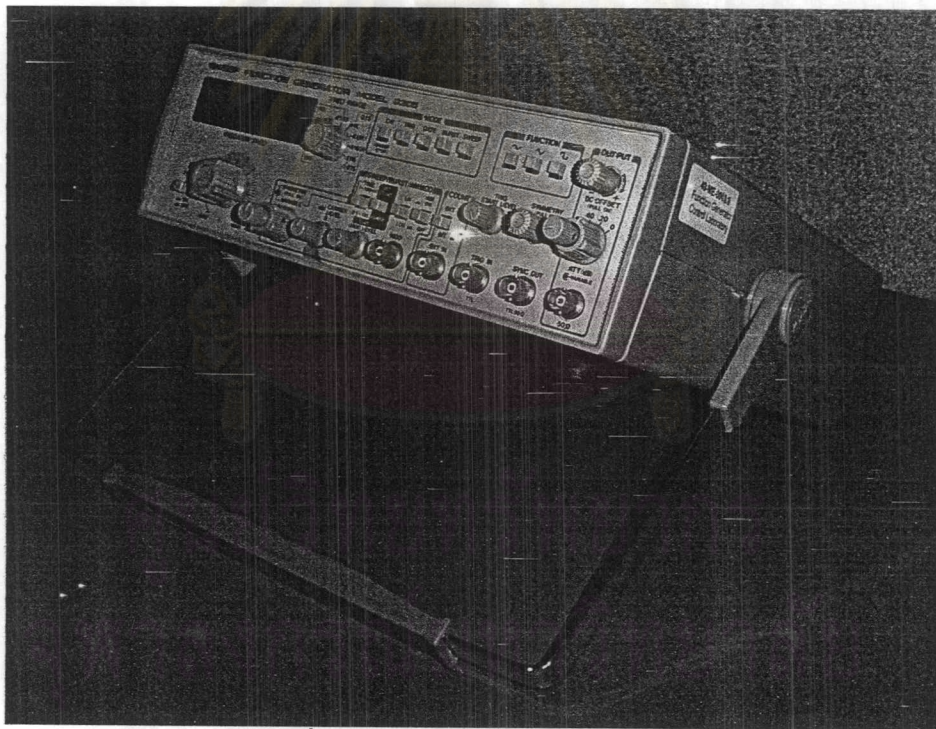


รูปที่ 4.3 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทาน

- 4.3.1 แขนหุ่นยนต์แบบ Articulate ของบริษัท CRS Robotic รุ่น 255 (รูปที่ 4.1) มี 5 แกนหมุนและ 5 องศาอิสระ แต่ละแกนจะขับเคลื่อนด้วย มอเตอร์กระแสตรงขนาดแรงดันสูงสุด ± 25 V. ส่งผ่านกำลังขับไปสู่แกนด้วยระบบ Harmonic Drive อัตราทด 72:1 และระบบโซ่ สามารถรับน้ำหนักสูงสุดที่ปลายแขนหุ่นได้ 2 กิโลกรัม แกนหมุนที่ 1 สามารถรอบตัวเองได้ ± 175 องศา มีค่าความละเอียดในการเคลื่อนที่ 0.005 องศา และมีความเร็วสูงสุด 3.05 rad/s ดังตารางแสดงรายละเอียดที่ ภาคผนวก ง.

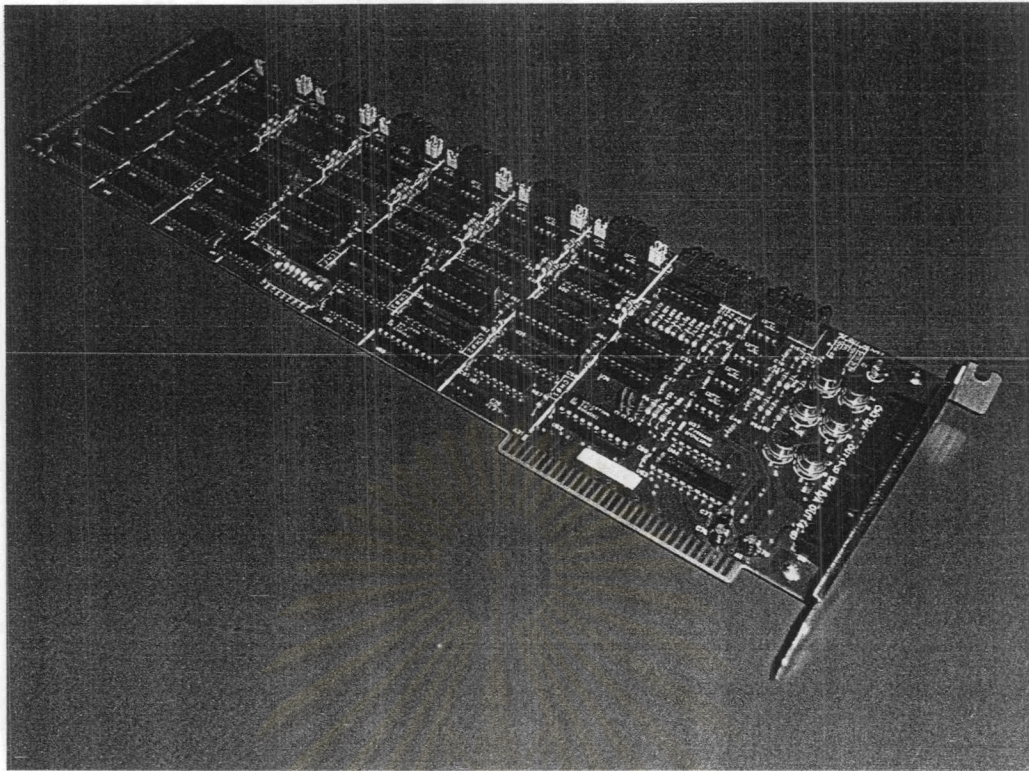


รูปที่ 4.4 อนุาลอกคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

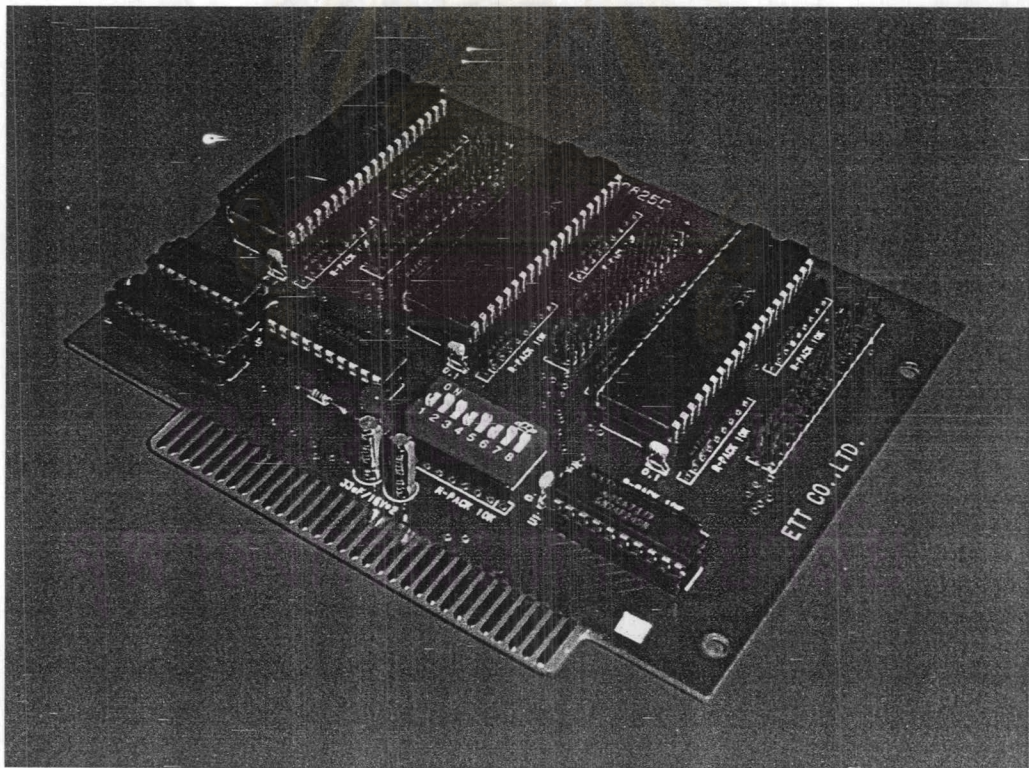


รูปที่ 4.5 Function Generator G-305

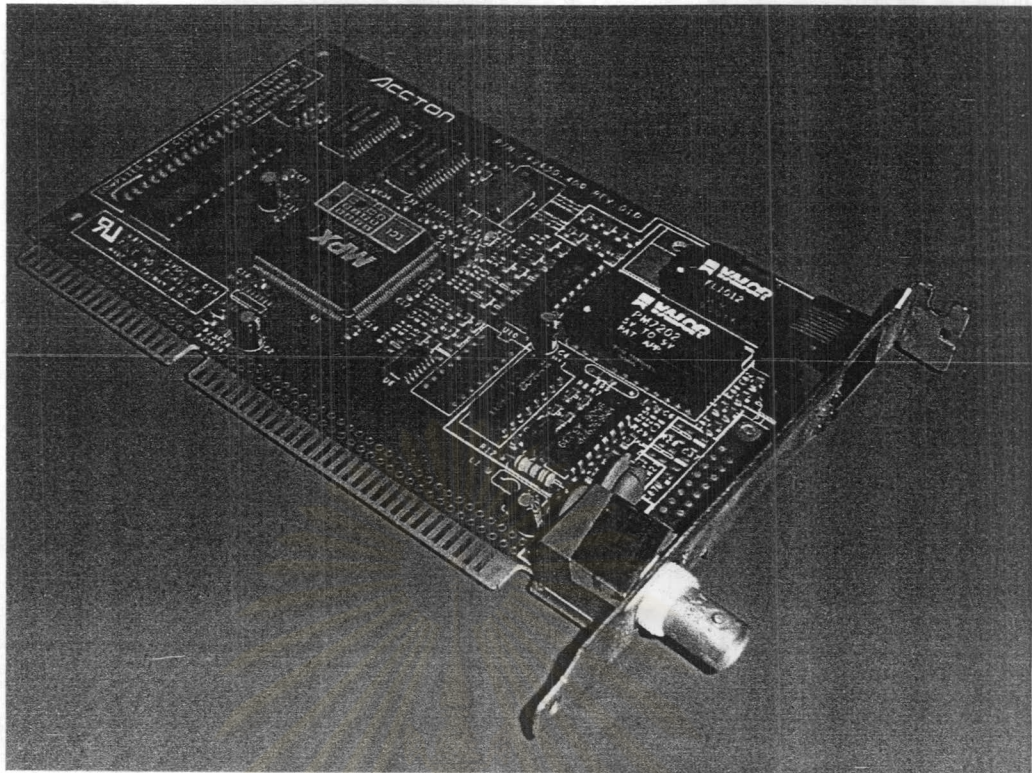
- 4.3.2 อนุภาคคอมพูน GP-6 Patch Panel ของบริษัท Comdyna ,Inc (รูปที่ 4.4) ซึ่งประกอบด้วย Op-Amp หลายๆ ตัวที่นำมาใช้ในการรวม ลด ขยาย และแบ่งขนาดของสัญญาณเพื่อใช้ในการควบคุมในระบบที่ต้องการต้นกำเนิดสัญญาณมากกว่าหนึ่งแหล่ง ในงานวิจัยนี้ ใช้อนุภาคคอมพูนพิวเตอรีในการรวมสัญญาณคำสั่งจากระบบควบคุมแขนหุ่นและสัญญาณความถี่สูงเข้าสู่กล่องควบคุมของแขนหุ่นยนต์
- 4.3.3 ชุดกำเนิดสัญญาณ G-305 ของบริษัท Hung Ghang (รูปที่ 4.5) ซึ่งนำมาใช้ในการกำเนิดสัญญาณความถี่สูงแบบชายนี เพิ่มแก่ระบบโดยสามารถให้สัญญาณชายนี ขนาด สูงสุด ± 1 volt และสร้างสัญญาณที่มีความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 1 MHz
- 4.3.4 คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์มาตรฐาน 2 เครื่อง ใช้สำหรับเป็น เครื่องต้นแบบเพื่อพัฒนาตัวควบคุม 1 เครื่องโดยทำงานบนระบบปฏิบัติการ Window มีโปรแกรม Matlab®-Simulink® เพื่อใช้ในการพัฒนาตัวควบคุมและโปรแกรม Visual Studio สำหรับสนับสนุนการพัฒนาตัวควบคุมที่จะนำไปใช้ในการควบคุมแบบเวลาจริง อีก 1 เครื่อง สำหรับเป็นตัวควบคุมระบบและจัดการกับสัญญาณ โดยทำงานบนระบบปฏิบัติการ xPC Real Time target ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดอีกครั้งในภาคผนวก ก
- 4.3.5 การ์ดแปลงสัญญาณจาก Digital เป็น Analog ของบริษัท Advantach รุ่น PCL726 (รูปที่ 4.6) ซึ่งมี 6 ช่องสัญญาณขาออกที่อิสระต่อกัน แต่ละช่องสัญญาณสามารถส่งค่าได้สูงสุด ± 10 V.(โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้สัญญาณส่งออกขนาด ± 5 V.) มีค่าความละเอียดของแต่ละช่องสัญญาณ 12 บิต และเป็นการวัดที่ต่อกับช่อง ISA บนเมนบอร์ดของ คอมพิวเตอร์ตัวควบคุม
- 4.3.6 การ์ดรับสัญญาณ Digital ของบริษัท ETT รุ่น ET-PC8255 (รูปที่ 4.7) ซึ่งใช้ในการรับสัญญาณดิจิตอล จากตัวนับตำแหน่งของแขนหุ่นยนต์ โดยการวัด ET-PC8255 จะมีส่วนประกอบสำคัญคือ IC 8255 จำนวน 3 ตัว ใช้ในการรับและส่งสัญญาณดิจิตอล โดย IC แต่ละตัวสามารถใช้ในการรับส่งสัญญาณอิสระจากกัน และจะมีตัวละ 3 ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะมีความละเอียด 8 บิต ในการทำหน้าที่ในการรับและส่งสัญญาณ ดังนี้ สามารถใช้ IC 8255 หนึ่งตัวในการรับสัญญาณได้ ความละเอียดสูงสุด ถึง 24 บิต



รูปที่ 4.6 การ์ด D/A รุ่น PCL 726



รูปที่ 4.7 การ์ดรับสัญญาณ Digital รุ่น ETT 8255

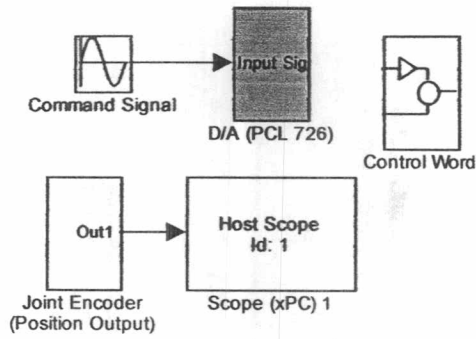


รูปที่ 4.8 การ์ดเครือข่ายของบริษัท Accton Technology รุ่น EN 165X

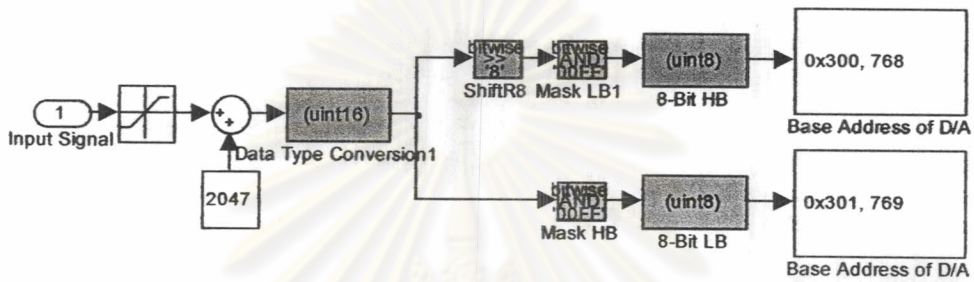
4.3.7 การ์ดเครือข่ายรับสัญญาณของบริษัท Accton Technology รุ่น EN 165X (รูปที่ 4.8) ซึ่งมีคุณสมบัติ NE2000 Compatible สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม xPC Target และเป็นการ์ดที่ใช้กับ ISA Slot

4.4 ระบบควบคุมที่นำมาใช้ในการทดลอง

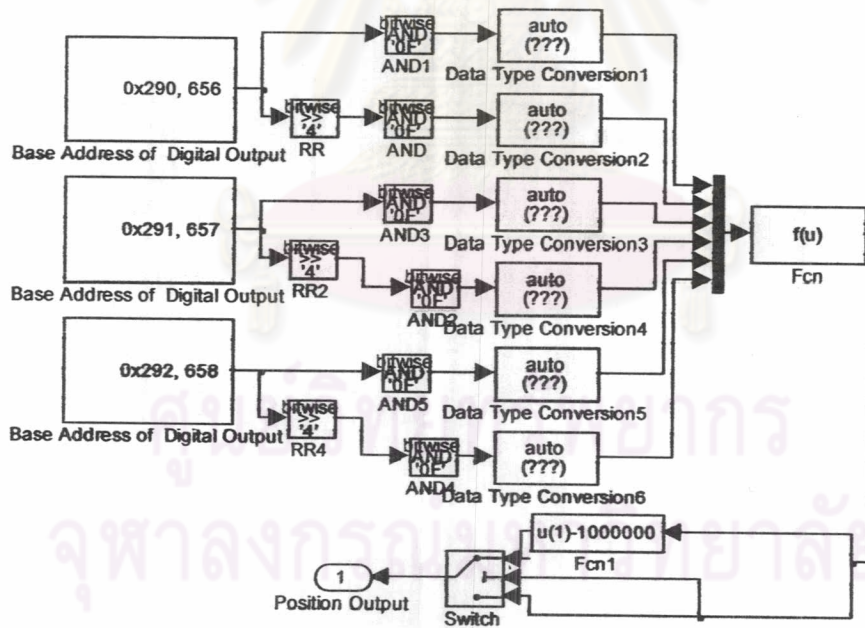
การทดลองเพื่อหารูปแบบของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในแขนหุ่นยนต์นี้ ทดลองขับเคลื่อนหุ่นยนต์ โดยใช้ โปรแกรม Matlab® Simulink® ในการพัฒนาระบบควบคุมและใช้โปรแกรม xPC Target เป็นระบบปฏิบัติการในการควบคุมแขนหุ่นยนต์ CRS Robotics ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมห่วงจะกล่าวไว้ในส่วนของภาคผนวก สำหรับในส่วนนี้จะกล่าวถึงโปรแกรมควบคุม ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมและเก็บข้อมูลจากหุ่นยนต์ CRS Robotics



(ก) ภาพรวมของระบบควบคุมแบบเปิด



(ข) ส่วนควบคุมที่ใช้กับ D/A Card



(ค) ส่วนควบคุมที่ใช้กับ DI Card

รูปที่ 4.9 Simulink Block Diagram ที่ใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์

จากรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมแขนหุ่นยนต์แบบเปิด โดยในรูปที่ 4.9ก เป็นBlock Diagram โดยรวมของระบบควบคุมแบบเปิดซึ่งประกอบด้วย

- สัญญาณควบคุมซึ่งในที่นี้จะใช้สัญญาณคำสั่งรูปขายน์ เพื่อบังคับให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปมา และมีความเร็วทั้งด้านบวกและด้านลบ ทำให้สามารถศึกษาปรากฏการณ์ของแรงเสียดทานในบริเวณที่มีการกลับทิศทางของความเร็วและที่ความเร็วใกล้ศูนย์ได้
- ส่วนของการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณจาก Digital ไปสู่สัญญาณแบบ Analog ส่วนนี้เป็นฟังก์ชันพื้นฐานที่ต้องมีอยู่ในระบบควบคุมต่างๆ ไปเนื่องจากสัญญาณที่ออกจากคอมพิวเตอร์หรือระบบประมวลผลโดยทั่วไปนั้นเป็นสัญญาณแบบ Digital ซึ่งเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องเกิดจากการทำงานของระบบควบคุมต้องมีการคำนวณในแต่ละ Sample time หากแต่การทำงานของหุ่นยนต์นั้นจะต้องการสัญญาณที่ต่อเนื่อง(Analog signal) ดังนั้นเมื่อต้องการนำระบบควบคุมที่พัฒนาในคอมพิวเตอร์ไปใช้นั้นจะต้องมีการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณ Digital ไปเป็นสัญญาณ Analog เสียก่อน โดยขั้นตอนของการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณนั้นจะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติของการ์ดแปลงสัญญาณแล้วจึงสามารถจัดทำโปรแกรมเพื่อรองรับการเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.9ข
- ส่วนสุดท้ายของโปรแกรมควบคุมที่นำเสนอในรูปที่ 4.9ก คือส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณแบบ Digital ขนาด 24 บิตจาก Interfere Box และนำมาประมวลเป็นสัญญาณตำแหน่งเพื่อระบุถึงตำแหน่งของแขนหุ่นยนต์ที่อ่านได้จาก Encoder ในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อประมวลสัญญาณตำแหน่งนี้ ต้องมีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการ์ดที่ใช้และรูปแบบของสัญญาณที่อ่านได้จาก Interface box ซึ่งในที่นี้ Interface box จะส่งค่า 24 บิตออกมาในรูปของ Binary code decimal(BCD) การพัฒนาโปรแกรมเพื่ออ่านค่า ทำได้โดยการรับค่าจาก Address ของการ์ดและนำมาประมวลกันดังในรูปที่ 4.9 ค สำหรับ Block diagram "Control Word" เป็นส่วนที่ใช้ในการระบุหน้าที่ของ IC 8255 เนื่องจาก IC 8255 แต่ละตัวมี 3 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งการรับและส่งสัญญาณ ซึ่งในที่นี้ ตัวควบคุมต้องการให้ IC 8255 ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลทุกช่องสัญญาณ ซึ่งสามารถระบุได้โดยการส่งคำสั่งไปที่ Control word Address

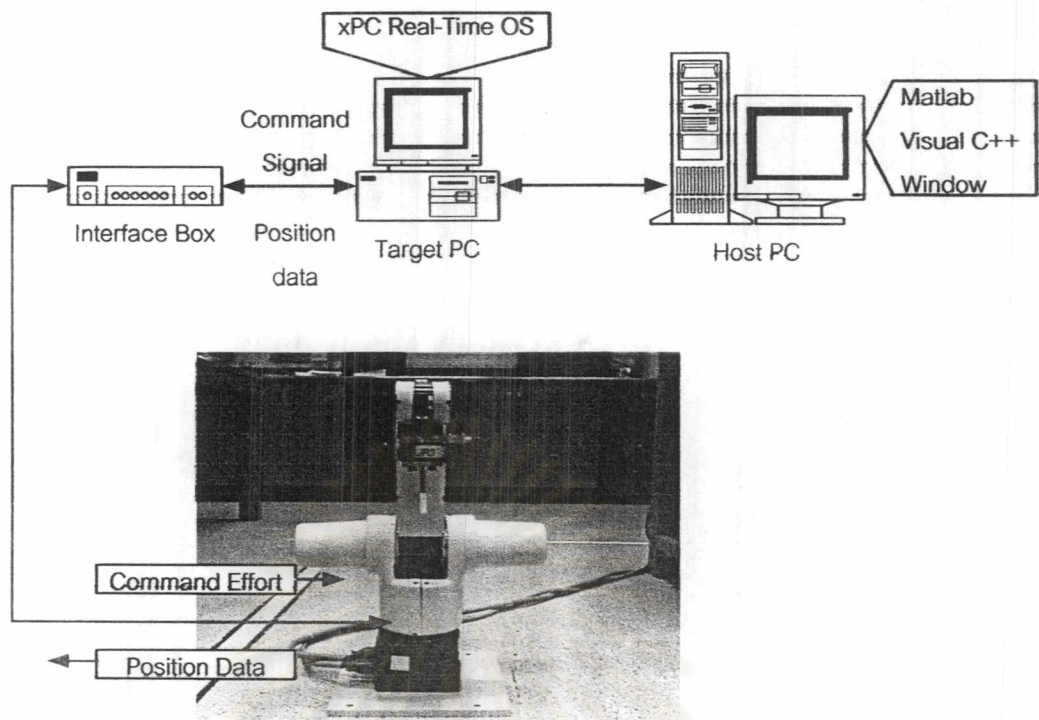
ในการพัฒนาชุดควบคุมนั้น จะต้องมีความรู้ ความเข้าใจในชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง อันประกอบด้วย

- การ์ดเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณจากระบบ Digital เป็น สัญญาณ Analog สิ่งที่ต้องทราบคือ
 - ค่าความละเอียดของการ์ด(Resolution)
 - ตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ในการอ่านค่าจากการ์ด(Base Address)
 - จำนวนช่องสัญญาณ
 - ขนาดของสัญญาณที่สามารถส่งออกได้
- การ์ดรับค่า digital จาก Interface box สิ่งที่ต้องทราบคือ
 - ขนาดและชนิดของข้อมูลที่ได้รับมาจาก Interface box
 - ค่าความละเอียดของการ์ด(Resolution)
 - ตำแหน่งอ้างอิงที่ใช้ในการอ่านค่าจากการ์ด(Base Address)
 - จำนวนช่องสัญญาณ

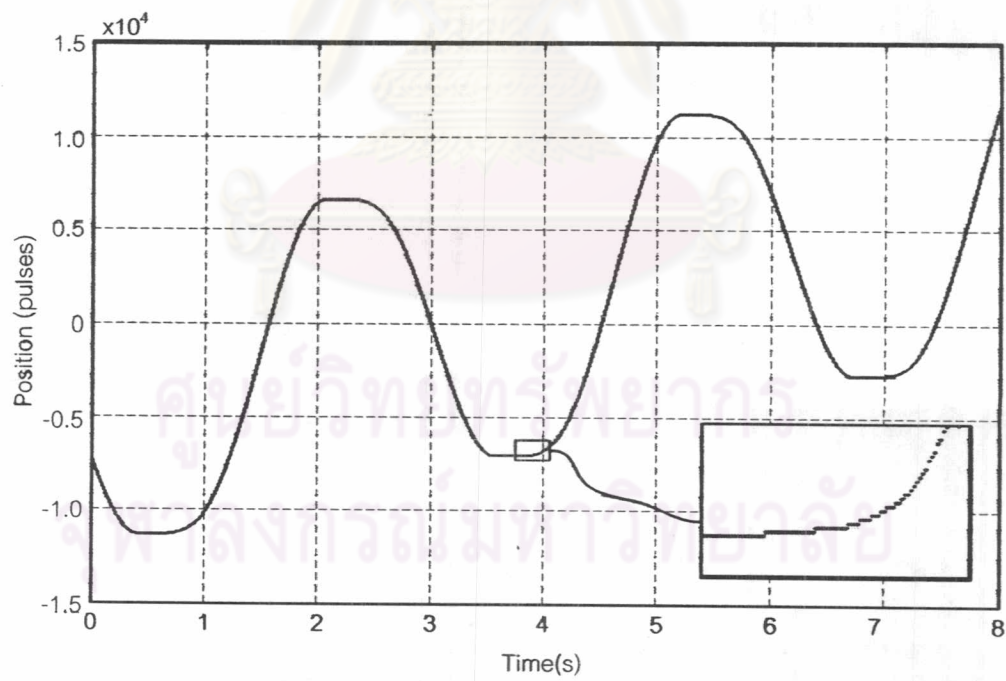
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะการทำงานโดยรวมของการควบคุมระบบหุ่นยนต์ CRS Robotics เริ่มจากการพัฒนาชุดควบคุมที่ Host PC โดยใช้โปรแกรม Matlab® Simulink® ซึ่งสามารถทำการพัฒนาระบบควบคุมได้จากการใช้ Block diagram ที่มีอยู่ใน Simulink Library เมื่อได้ชุดควบคุมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการส่งผ่านข้อมูลไปยัง Target PC ซึ่งทำงานอยู่ระบบปฏิบัติการของ xPC target ซึ่งเป็น Real-time OS ที่พัฒนาโดย Matlab® จากนั้น Target PC จะทำการควบคุมระบบและประมวลผลด้วยตัวเอง บนพื้นฐานโปรแกรมควบคุมจากเครื่อง Host PC และส่งสัญญาณควบคุมไปสู่ Interface Box เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ในขณะที่ Target PC ทำงาน เมื่อหุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ Interface box จะอ่านค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์จาก Incremental Encoder และส่งกลับไป Target PC เพื่อให้ Target PC นำไปใช้ในการประมวลผล นอกจากนั้น Target PC ยังสามารถส่งค่าที่ได้ ไปยังเครื่อง Host PC เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล หรือนำไปใช้ศึกษาต่อไป

ข้อดีของระบบนี้คือ การทำงานของเครื่อง Host PC และ Target PC แยกกันและทำงานบนระบบปฏิบัติการคนละตัวทำให้สามารถควบคุมระบบหุ่นยนต์บนเวลาจริงและทำงานที่มีขนาดของ Sampling Time ที่มีความถี่สูงได้



รูปที่ 4.10 ระบบควบคุมที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 4.11 สัญญาณตำแหน่งที่วัดได้จาก Encoder

4.5 การหารูปแบบความเสียหายและความเฉื่อยในหุ่นยนต์ CRS Robotics

จากที่เคยกล่าวไว้ในบทที่ 2 ว่าความเร็วเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายมาก ดังที่แสดงไว้ในแบบจำลองความเสียหายหลายๆ แบบ และเนื่องจากข้อมูลที่วัดได้จากระบบหุ่นยนต์ CRS Robotics เป็นเพียงข้อมูลของตำแหน่งที่วัดจาก Incremental Encoder ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้กรรมวิธีเชิงตัวเลขในการหาความเร็วและความเร่งจากข้อมูลตำแหน่งที่มีอยู่

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการหาอนุพันธ์ของข้อมูลตำแหน่งที่วัดได้โดยใช้กรรมวิธีเชิงตัวเลข เพื่อหาค่าความเร็วและความเร่ง ซึ่งเป็นส่วนจำเป็นที่จะต้องนำไปใช้ต่อไปในการศึกษาพฤติกรรมของความเสียหายที่เกิดขึ้นในหุ่นยนต์ CRS

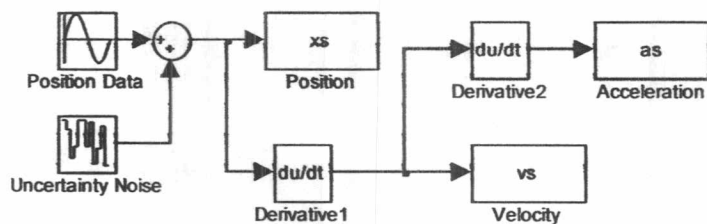
4.5.1 การหาตำแหน่ง ความเร็วและความเร่งในหุ่นยนต์ CRS Robotics

จากที่ได้เคยกล่าวไว้ในตอนต้น ตำแหน่งหุ่นยนต์ CRS Robotics ได้จาก Optical Encoder ซึ่งอ่านค่าผ่าน Interface Box และระบบควบคุมบน xPC

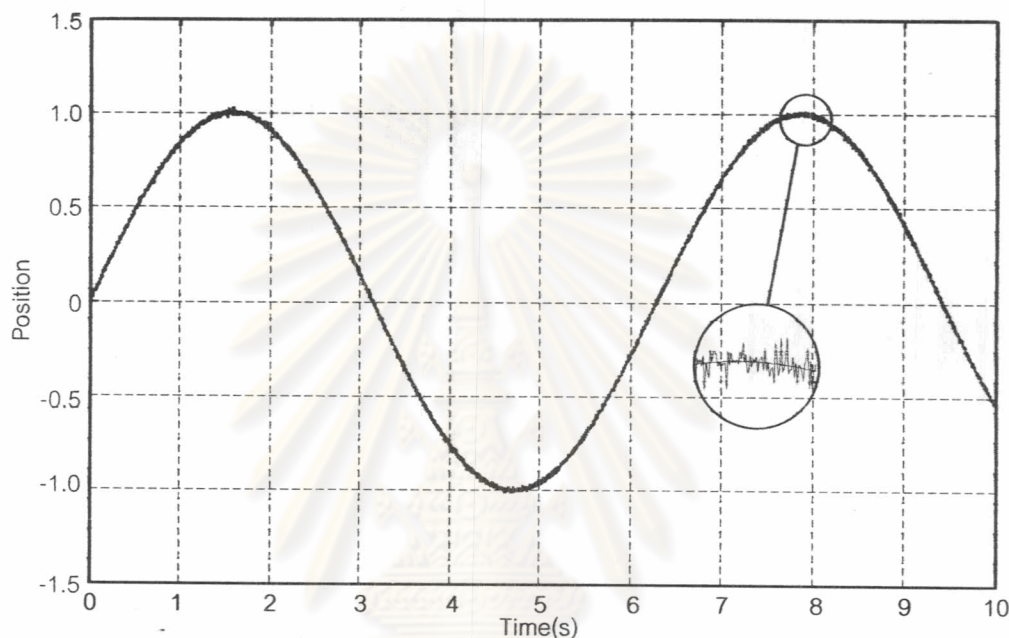
เนื่องจากข้อมูลที่ได้จาก Optical Encoder เป็นข้อมูลที่มีความไม่ต่อเนื่อง ดังจะแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นสัญญาณตำแหน่งที่วัดได้จาก Encoder โดยใช้ระบบควบคุมแบบเปิดโดย มีสัญญาณคำสั่งขนาด ± 0.61 โวลต์และความถี่ 1 rad/s ดังนั้นการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการหาค่าอนุพันธ์เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลความเร็วจึงไม่สามารถยืนยันความแม่นยำของข้อมูลความเร็วและความเร่งได้ เพราะระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการหาค่าอนุพันธ์จะขยายผลของสัญญาณรบกวนและความไม่แน่นอนของข้อมูล ดังจะแสดงในหัวข้อต่อไป

- การจำลองการหาอนุพันธ์ของข้อมูลที่มีค่าผิดพลาดด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข

ในการพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของแรงเสียดทานและการคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบนั้น ต้องการข้อมูลความเร็วและความเร่งที่แม่นยำ ดังนั้นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่จะนำมาใช้จะต้องสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนได้ และให้ค่าที่น่าเชื่อถือ



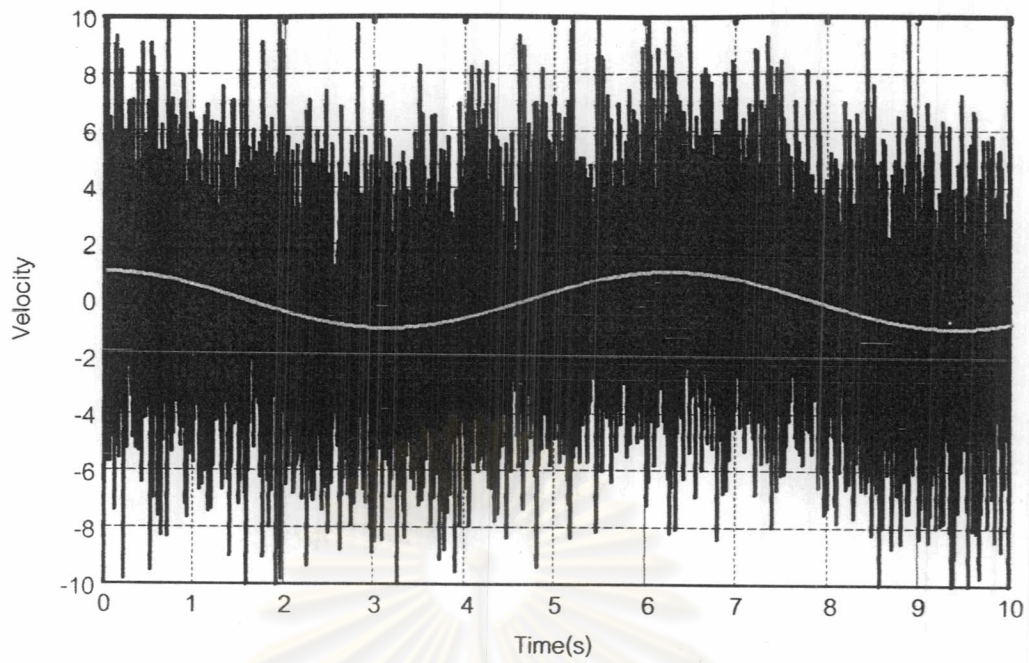
รูปที่ 4.12 Block Diagram สำหรับการแสดงผลสัญญาณรบกวนที่มีต่อการหาอนุพันธ์



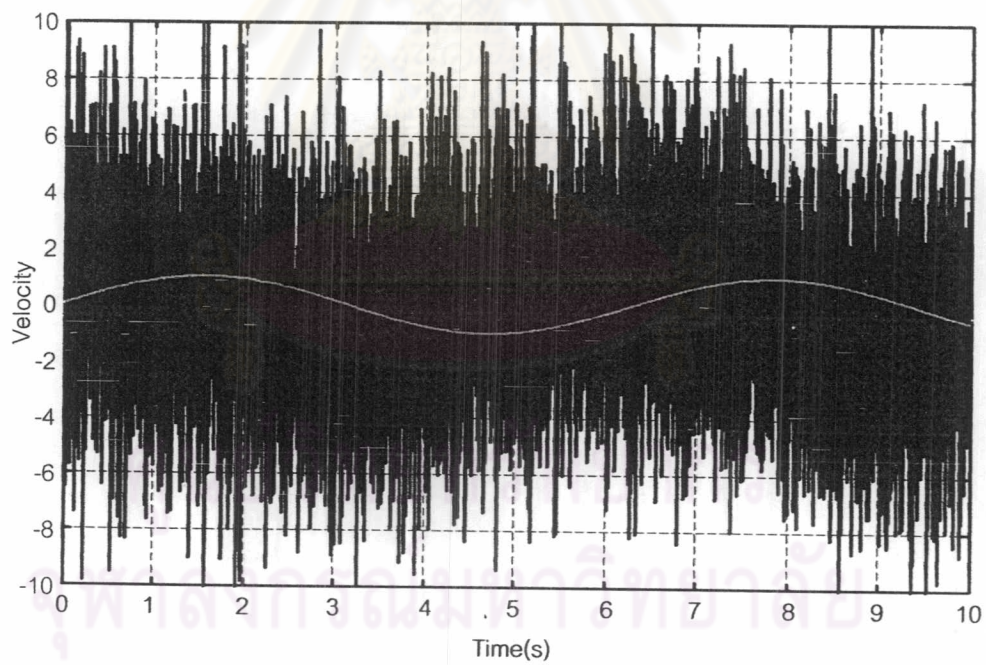
รูปที่ 4.13 ข้อมูลตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวนขนาด 1% ของขนาดข้อมูล

เพื่อยืนยันความแม่นยำของผลการหาค่าอนุพันธ์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลข จึงได้ทำการจำลองสัญญาณตำแหน่งพร้อมกับสัญญาณรบกวน และนำระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาหาค่าอนุพันธ์ ดังรูปที่ 4.12

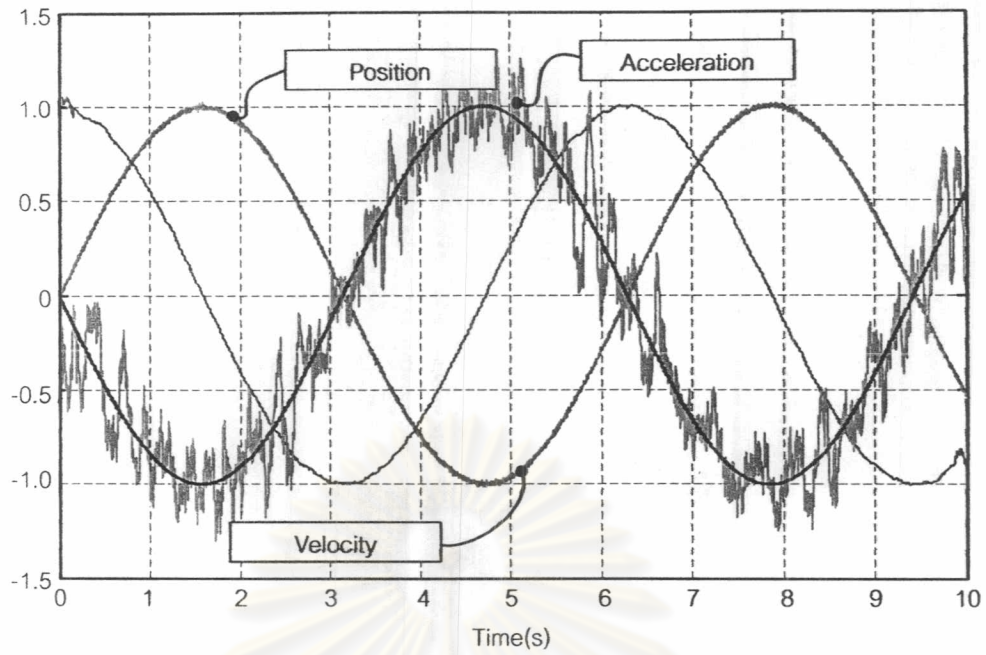
จากระบบที่ได้ทำการจำลองขึ้นมาโดยพิจารณาข้อมูลตำแหน่งอ้างอิงรูปขายนี้น ขนาด 1 จากยอดถึงยอด'ความถี่ 1 rad/s มีสัญญาณรบกวนขนาด 1% ของขนาดสัญญาณอ้างอิงดังรูปที่ 4.13



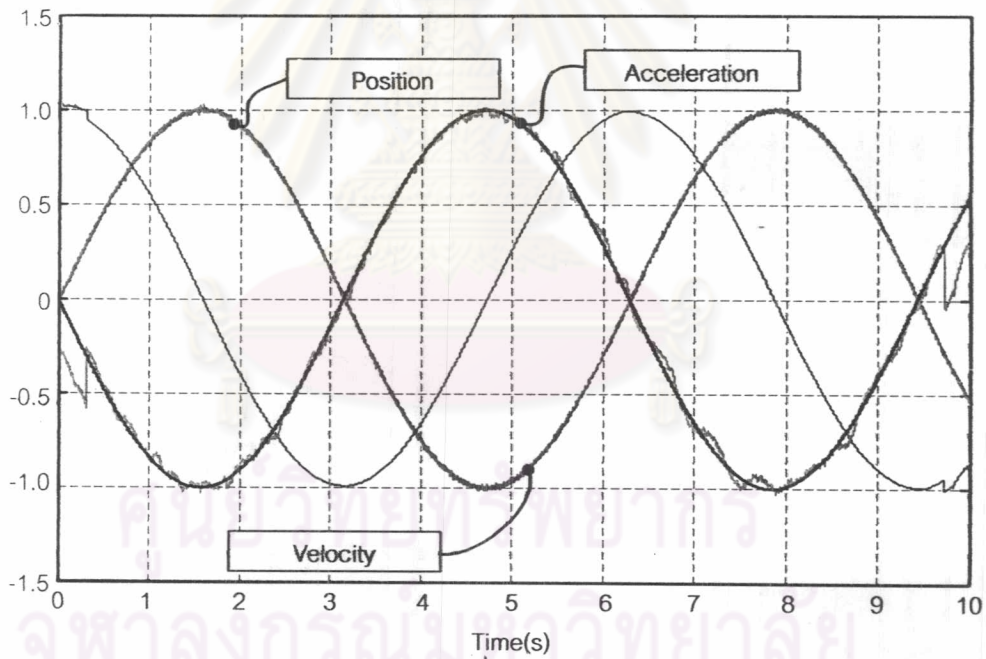
รูปที่ 4.14 ผลการหาค่าอนุพันธ์โดยวิธี Finite Divided Difference



รูปที่ 4.15 ผลการหาค่าอนุพันธ์และเพิ่มความแม่นยำด้วยวิธี Richardson's Extrapolation



(ก) จำนวน 150 จุด



(ข) จำนวน 300 จุด

รูปที่ 4.16 ผลการหาค่าอนุพันธ์โดยใช้วิธี 2^{nd} Polynomial Fitting

อนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของสัญญาณตำแหน่งรูปซายน์ คือเป็นสัญญาณความเร็วรูป Cosine และผลการหาค่าอนุพันธ์ดังกล่าวด้วยวิธี Finite divided difference .ให้ผลดังรูปที่ 4.14 เนื่องจากค่าอนุพันธ์ที่ได้จากวิธี Finite Divided Difference เป็นฟังก์ชันของจุดข้างเคียงตามสมการที่ ข.1 ถึง ข.6 (ภาคผนวก ข) เมื่อนำมาวิธีนี้มาใช้กับข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนปนอยู่ จะทำให้ค่าอนุพันธ์ที่หาได้เป็นค่าอนุพันธ์ของข้อมูลรวมกับสัญญาณรบกวน และเนื่องจากความชันของสัญญาณรบกวนซึ่งโดยธรรมชาติแล้วจะมีค่าสูงกว่าความชันของข้อมูล เป็นเหตุให้ ผลการหาค่าอนุพันธ์ที่ได้นั้น จะนำเสนอค่าอนุพันธ์ของสัญญาณรบกวนเป็นหลัก และไม่สามารถนำค่าอนุพันธ์ไปใช้ได้

การเพิ่มความแม่นยำแก่การคำนวณหาค่าอนุพันธ์ด้วยวิธี Richardson's Extrapolation เป็นการหาค่าอนุพันธ์ จากค่าอนุพันธ์ที่มีอยู่แล้ว โดยการลดขนาดของ Step Size ในการหาค่าอนุพันธ์ แล้วนำค่าที่ได้มาผ่านการคำนวณตามตารางที่ ข.1 (ภาคผนวก ข) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของค่าอนุพันธ์ ที่ตำแหน่งอ้างอิง

รูปที่ 4.15 เป็นผลการหาค่าอนุพันธ์ของข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนด้วยกรรมวิธี Richardson's Extrapolation ซึ่งพบว่าวิธีนี้ ไม่สามารถลดผลของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่าอนุพันธ์ได้ เนื่องจากวิธีนี้เป็นเพียงการเพิ่มความแม่นยำของค่าอนุพันธ์ให้มากขึ้น แต่ข้อมูลเบื้องต้นที่นำมาใช้ในการคำนวณมาจากการหาค่าอนุพันธ์ด้วยวิธี Finite Divided Difference ซึ่งขยายผลของสัญญาณรบกวนออกไปมาก จนไม่สามารถหาค่าที่แท้จริงและไม่สามารถลดผลของสัญญาณรบกวนได้

การหาค่าอนุพันธ์ด้วยวิธี 2^{nd} Polynomial Fitting เป็นการนำกลุ่มข้อมูลรอบจุดอ้างอิงที่ต้องการหาค่าอนุพันธ์ มาหาค่าตัวแปรของสมการพหุนามกำลังสอง ให้สอดคล้องกับชุดตัวแปรรอบๆ จุดอ้างอิงนั้นๆ จากนั้นสามารถหาค่าอนุพันธ์ของแต่ละจุดของข้อมูลได้จากการ หาค่าความชันของสมการที่จุดอ้างอิงนั้นๆ (ภาคผนวก ข) ตามสมการที่ ข.11 และ ข.12

รูปที่ 4.16 เป็นผลการหาค่าอนุพันธ์ของข้อมูลตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งจากรูปที่ 4.16 ก การใช้จำนวนจุดรอบๆ จุดอ้างอิง 150 จุดในการหาค่าอนุพันธ์ พบว่าสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่าอนุพันธ์ได้อย่างเห็นได้ชัดเจน สืบเนื่องจากวิธีนี้ มีคุณสมบัติในการการกรองข้อมูลที่มีความถี่สูงออก จึงสามารถลดผลของสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงได้ ซึ่งสามารถเห็น

ได้อย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มจำนวนจุดในการนำมาคำนวณค่าอนุพันธ์ดังรูปที่ 4.16 ข ซึ่งใช้จำนวนจุดในการหาค่าอนุพันธ์ ถึง 300 จุด และให้ค่าของอนุพันธ์ที่ราบเรียบและสม่ำเสมอว่าในรูปที่ 4.16 ข มาก

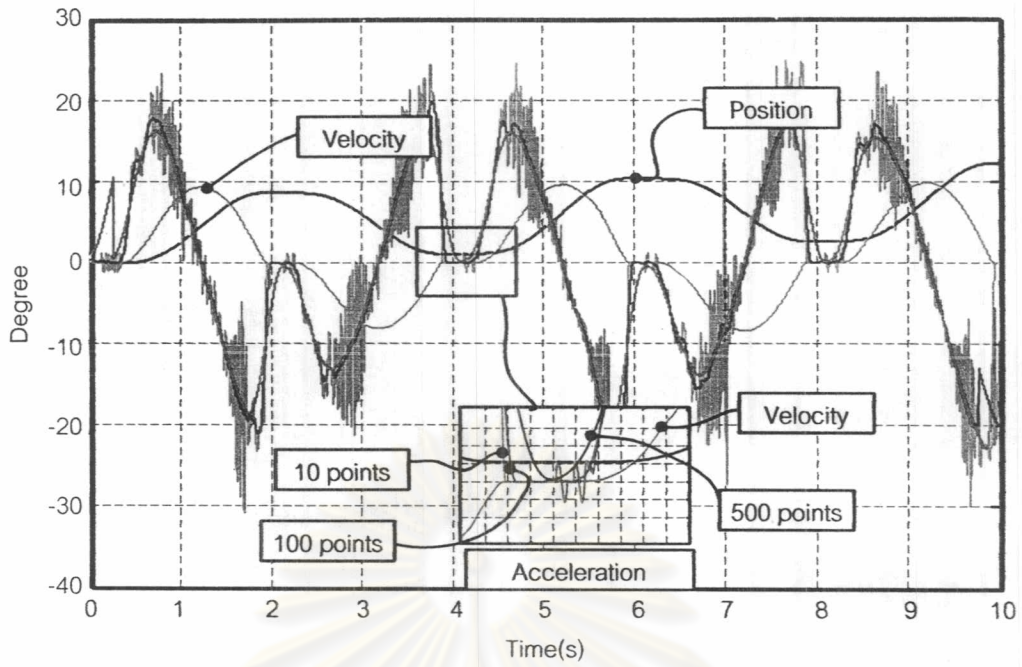
เมื่อนำวิธีนี้มาใช้ในการหาค่าอนุพันธ์จากสัญญาณตำแหน่งที่วัดได้จากระบบหุ่นยนต์ CRS Robotics ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ก และ 4.17 ข

รูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นถึงการหาค่าอนุพันธ์จากข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์วัดตำแหน่งของหุ่นยนต์ CRS Robotics ซึ่งขับเคลื่อนด้วยสัญญาณคำสั่งรูปไซน์ เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณคำสั่ง เทียบกับจำนวนจุดที่เหมาะสมในการหาค่าอนุพันธ์

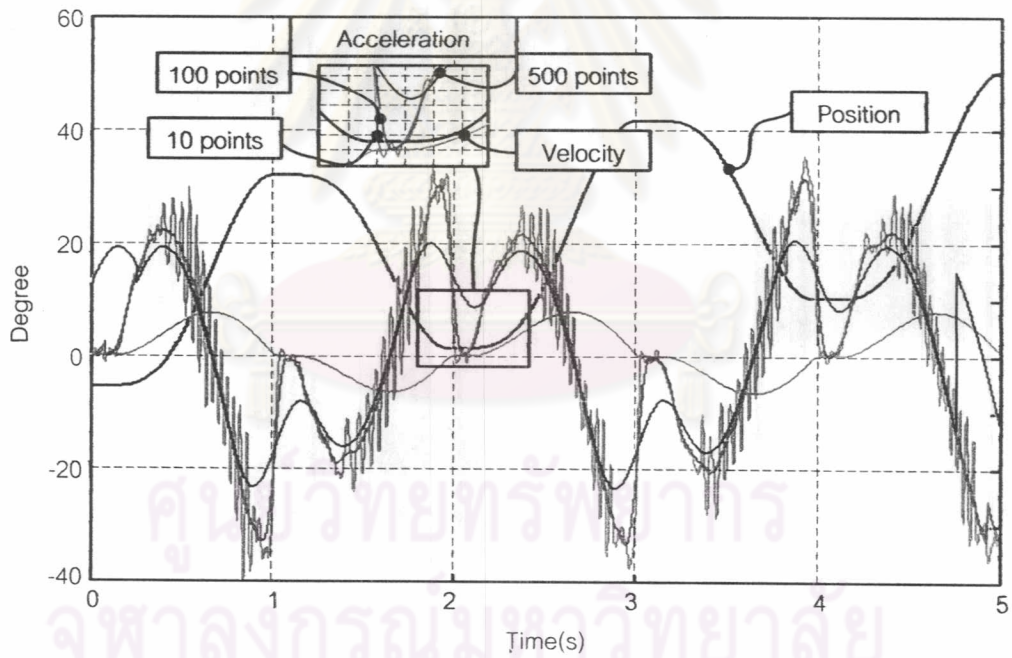
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.17 สัญญาณคำสั่งความถี่ 0.25 Hz จากรูปที่ขยายออกมา ที่ตำแหน่งหยุดนิ่ง ขนาดของความเร็วและความเร่งควรจะมีค่าเป็นศูนย์ด้วยเช่นกัน ซึ่งการหาอนุพันธ์ด้วยวิธี 2nd Order polynomial จะให้ค่าที่น่าเชื่อถือเมื่อใช้จำนวนจุดในการคำนวณ รอบจุดอ้างอิงประมาณ 100 จุด และในรูปที่ 4.17 ข แสดงให้เห็นถึงค่าอนุพันธ์จากข้อมูลตำแหน่งที่ได้จากอุปกรณ์วัดตำแหน่งโดยใช้สัญญาณคำสั่งรูปไซน์ที่มีความถี่ 5 Hz และค่าอนุพันธ์ที่ได้จากการใช้วิธี 2nd Order polynomial ในการหาค่าอนุพันธ์ของข้อมูลตำแหน่ง เมื่อพิจารณาในส่วนที่ขยายออกมา ที่ตำแหน่งหยุดนิ่ง พบว่าค่าอนุพันธ์ที่น่าเชื่อถือสำหรับสัญญาณคำสั่งที่มีความถี่ 0.5 Hz นี้จะต้องใช้จำนวนจุดในการคำนวณรอบๆ จุดอ้างอิงประมาณ 10 จุด

ดังนั้นสรุปได้ว่าการหาค่าอนุพันธ์ด้วยวิธี 2nd Order polynomial นี้จะได้ผลดีก็ต่อเมื่อ จำนวนจุดของข้อมูลที่นำมาคำนวณมีค่าเหมาะสม ซึ่งจำนวนที่เหมาะสมนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามคุณสมบัติต่างๆ ของระบบเช่นความถี่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ความถี่ 0.25 Hz



(ก) ความถี่ 0.5 Hz

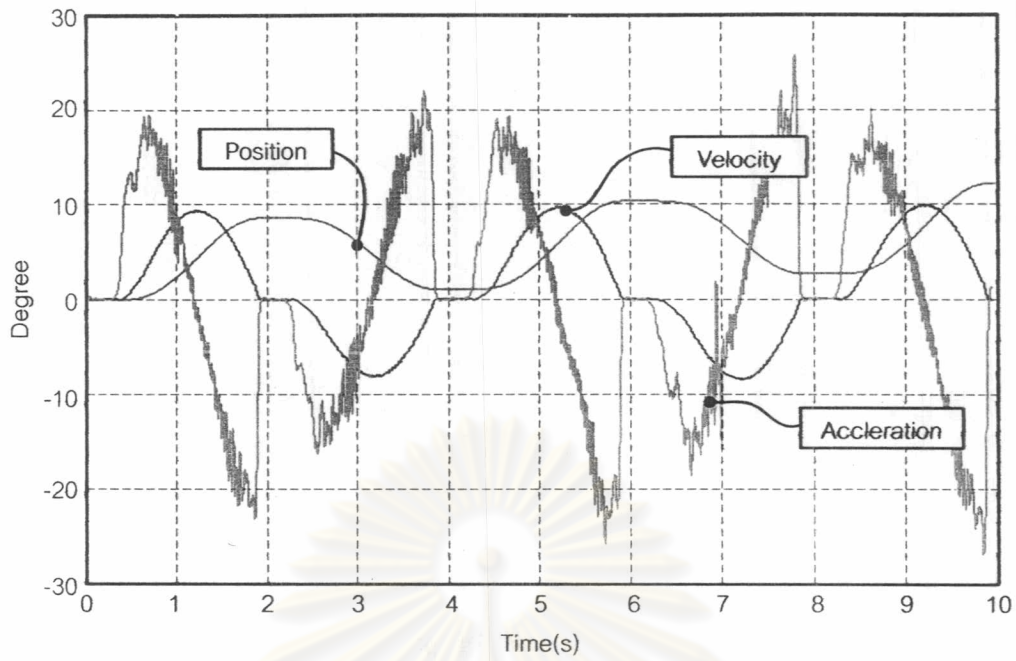
รูปที่ 4.17 ผลการหาค่าอนุพันธ์โดยใช้วิธี 2nd Polynomial Fitting เมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณคำสั่ง

- การหาอนุพันธ์ของข้อมูลตำแหน่งด้วยวิธีรักษาระยะห่างในแนวแกนตำแหน่ง

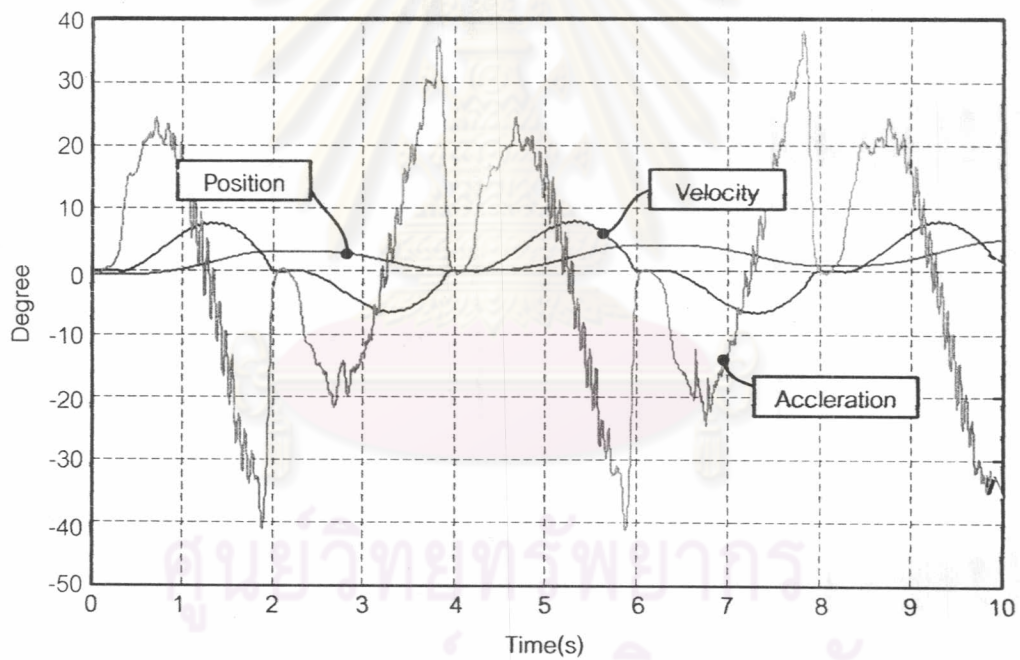
จากที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการหาค่าอนุพันธ์จากข้อมูลที่มีผลของสัญญาณรบกวนรวมอยู่ด้วย ที่สามารถนำไปใช้ในทางปฏิบัติได้ โดยมีแนวความคิดพื้นฐานจากการเปลี่ยนแกนการหาค่าอนุพันธ์จาก แกนเวลาไปสู่แกนข้อมูลตำแหน่ง โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในช่วงที่เท่าๆ กันจากนั้นใช้ข้อมูลตำแหน่งและเวลา ณ จุดนั้นเพื่อทำการหาค่าอนุพันธ์โดยใช้สูตรคำนวณของวิธี Finite Divided Difference โดยช่วงที่พิจารณาจะต้องมีขนาดพอที่จะลดผลของสัญญาณรบกวน วิธีนี้จะเห็นผลได้อย่างชัดเจนในข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนที่จำกัดขนาด จากการทดลองโดยใช้หุ่นยนต์ CRS Robotics ทดสอบที่ความถี่ของสัญญาณคำสั่ง 0.25-5.0 Hz ในระบบควบคุมแบบเปิดโดยสามารถศึกษาโปรแกรมการทำงาน ที่ภาคผนวก จ

รูปที่ 4.18 แสดงผลการหาค่าอนุพันธ์ของข้อมูลที่มีสัญญาณรบกวนด้วยวิธีที่นำเสนอ เห็นได้อย่างชัดเจนว่า สามารถลดผลของสัญญาณรบกวนได้ในระดับที่น่าพอใจทั้งในการหาค่าอนุพันธ์ลำดับที่ 1 และลำดับที่ 2 แต่ค่าอนุพันธ์ที่ได้ยังไม่เรียบและสม่ำเสมอเท่ากับการหาค่าอนุพันธ์ด้วยวิธี 2nd Order Polynomial Fitting แต่วิธีที่นำเสนอสามารถใช้ในการหาค่าอนุพันธ์ของข้อมูลตำแหน่งที่มีสัญญาณรบกวนได้โดยไม่ต้องพิจารณาจำนวนจุดที่เหมาะสมสำหรับแต่ละความถี่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

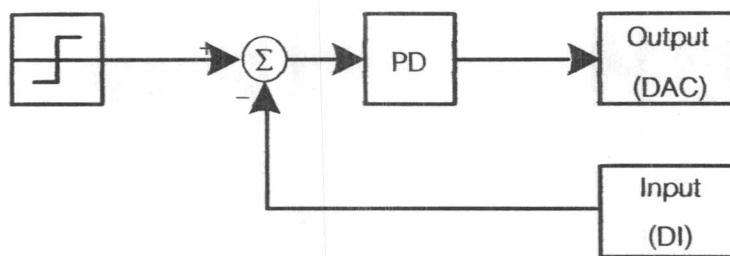


(ก) ความถี่ 0.25 Hz



(ข) ความถี่ 0.5 Hz

รูปที่ 4.18 ผลการหาอนุพันธ์โดยใช้วิธีแบ่งช่วงข้อมูลตำแหน่งเท่าๆ กันเมื่อเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณคำสั่ง



รูปที่ 4.19 แผนภาพระบบควบคุมแบบปิดที่ใช้การควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robotics

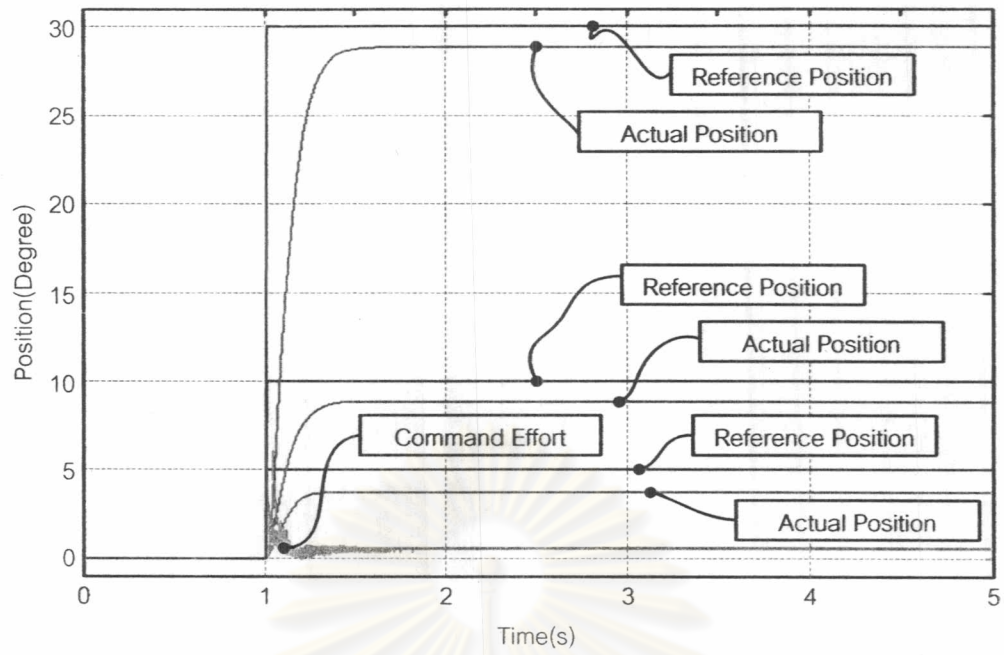
4.5.2 การหาค่าความถี่ใช้งานของระบบหุ่นยนต์ CRS Robotics

ในส่วนของงานวิจัย ได้นำเสนอการหาค่าความถี่ใช้งานที่เกิดจากสัญญาณสี่เหลี่ยมขั้นบันไดขนาด 5 10 30 องศา และสัญญาณคำสั่งรูปไซน์ที่มีความถี่ 1 และ 5 Hz ในระบบควบคุมแบบปิด ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robotics เพื่อนำมาใช้เป็นความถี่อ้างอิงพิจารณาค่าความเฉื่อยและพฤติกรรมของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในหุ่นยนต์ CRS Robotics

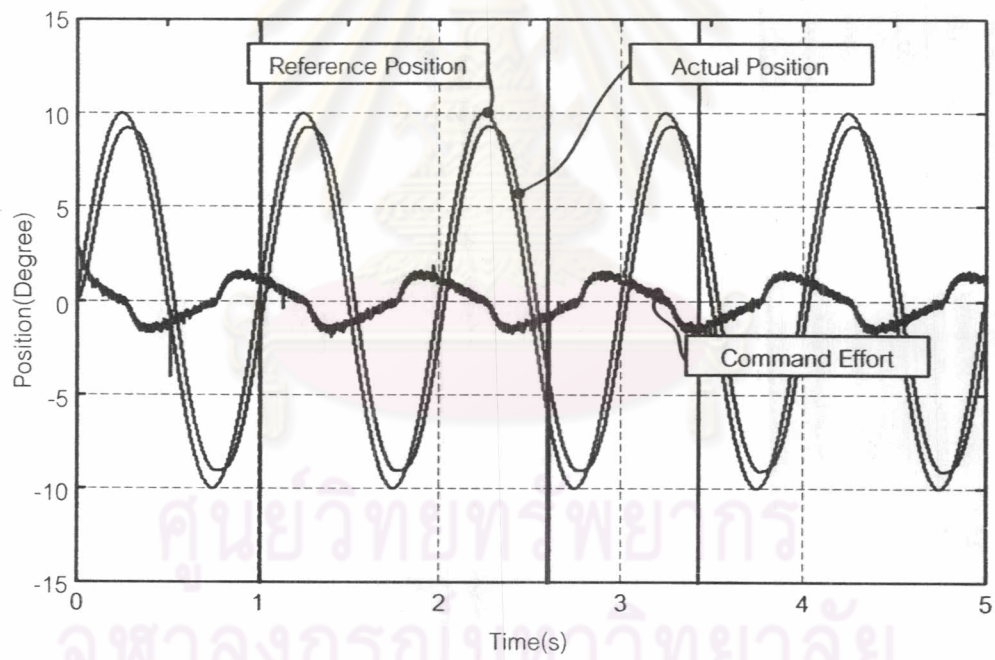
จากระบบควบคุมในรูปที่ 4.19 เมื่อใช้ตัวควบคุมแบบ PD โดยมีค่า k_p และ k_d คือ 0.5 และ 0.05 ตามลำดับ ที่สัญญาณตำแหน่งอ้างอิงแบบขั้นบันไดและสัญญาณรูปไซน์ ซึ่งได้ แสดงดังรูปที่ 4.20 ถึงรูปที่ 4.22

และเมื่อพิจารณาสัญญาณค่าความถี่ของสัญญาณคำสั่งโดยใช้ฟังก์ชัน FFT ในโปรแกรม Matlab® เพื่อพิจารณาการตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณคำสั่งพบว่า เมื่อสัญญาณอ้างอิงเป็นรูปขั้นบันได ค่าความถี่หลักของสัญญาณคำสั่งมีค่าเท่ากับ 0 Hz ดังแสดงในรูปที่ 4.22 และเมื่อสัญญาณอ้างอิงเป็นรูปไซน์ ค่าความถี่หลักของสัญญาณคำสั่งจะเป็นค่าความถี่เดียวกันกับค่าความถี่ของสัญญาณอ้างอิง ดังรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25

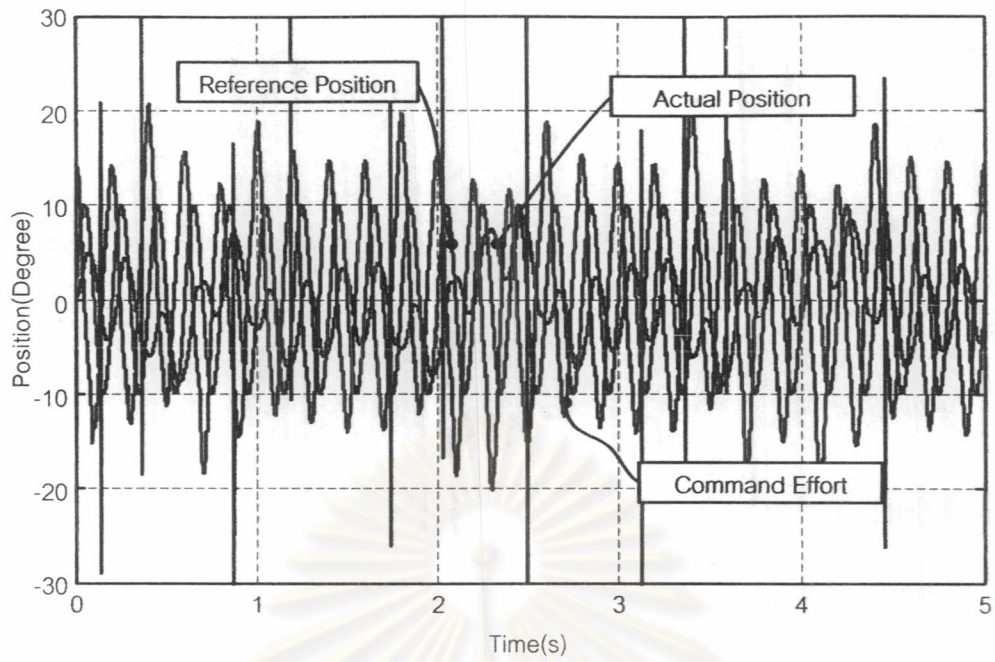
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



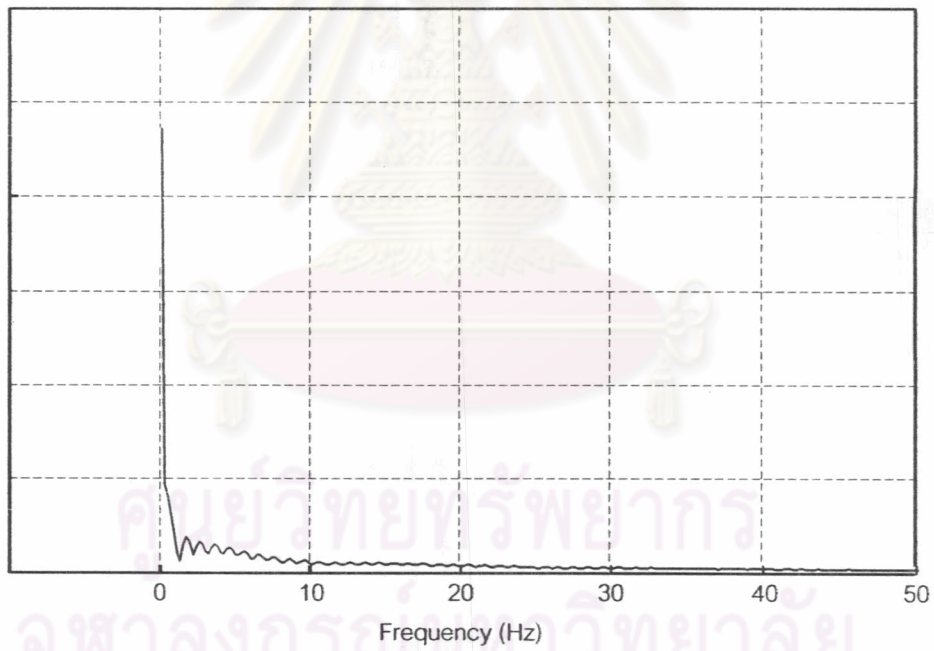
รูปที่ 4.20 ผลการควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robotics โดยใช้สัญญาณคำสั่งแบบขั้นบันได



รูปที่ 4.21 ผลการควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robotics โดยใช้สัญญาณคำสั่งรูปไซน์ ความถี่ 1 Hz

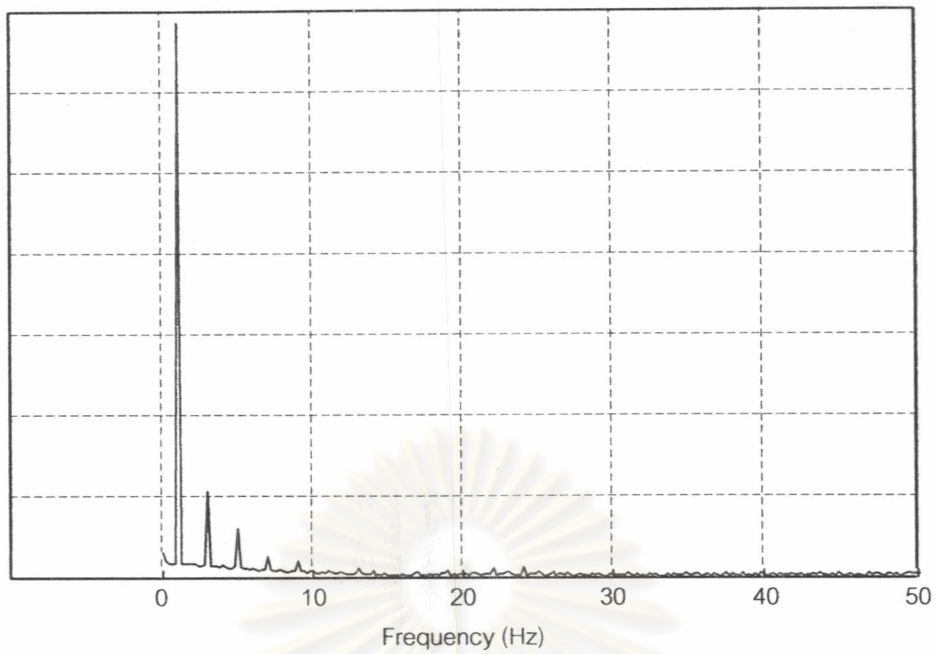


รูปที่ 4.22 ผลการควบคุมหุ่นยนต์ CRS Robotics โดยใช้สัญญาณคำสั่งรูปชานันท์ ความถี่ 5 Hz

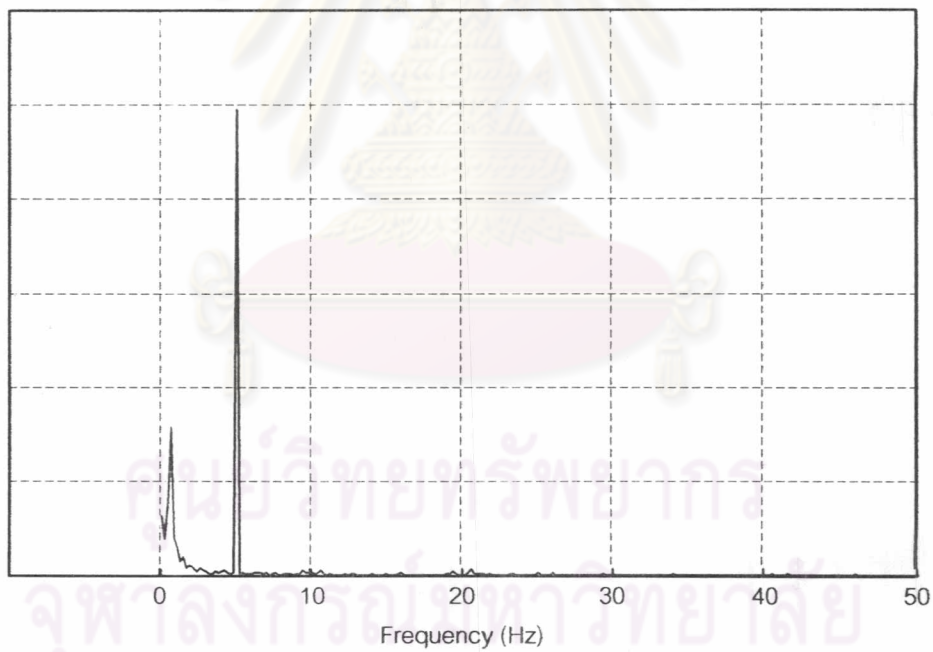


รูปที่ 4.23 การตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณคำสั่ง ในระบบควบคุมแบบปิด

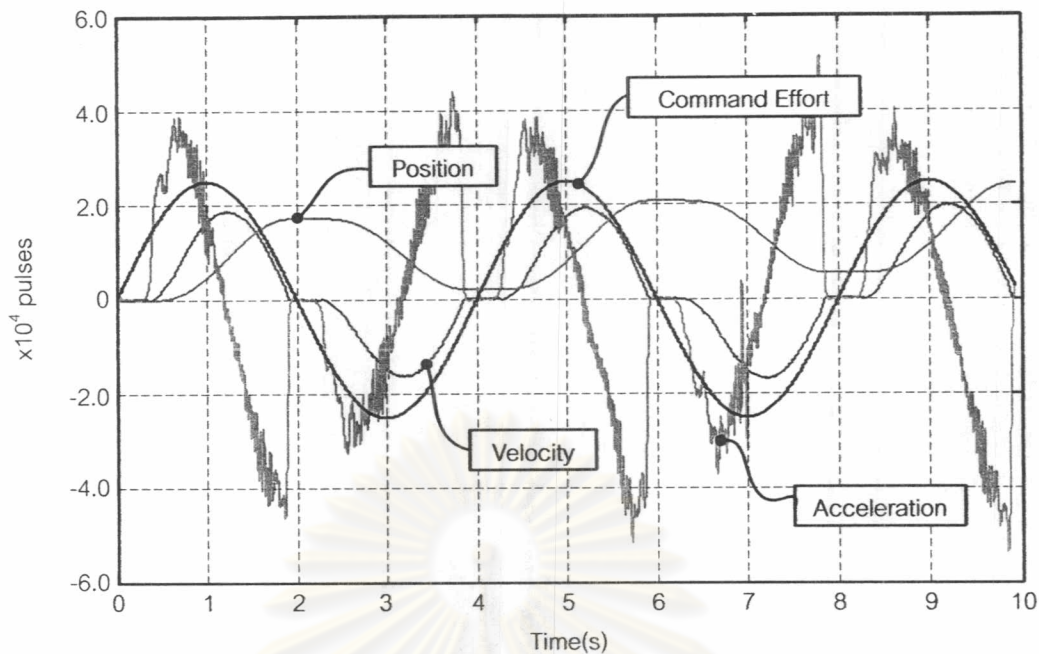
เมื่อสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณขั้นบันได



รูปที่ 4.24 การตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณคำสั่ง ในระบบควบคุมแบบปิด
เมื่อสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณรูปซายน์ ความถี่ 1 Hz



รูปที่ 4.25 การตอบสนองเชิงความถี่ของสัญญาณคำสั่ง ในระบบควบคุมแบบปิด
เมื่อสัญญาณอ้างอิงเป็นสัญญาณรูปซายน์ ความถี่ 5 Hz



รูปที่ 4.26 ข้อมูลตำแหน่งที่วัดได้จาก Encoder และความเร็วและความเร่งจากการหาค่าอนุพันธ์

4.5.3 การหาค่าความเฉื่อยและพฤติกรรมของแรงเสียดทาน

จากการทดลองเพื่อศึกษารูปพฤติกรรมของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในแขนหุ่นยนต์ CRS Robotics โดยใช้การควบคุมแบบเปิด และสัญญาณคำสั่งแบบไซน์ ที่ความถี่ใช้งานตามที่ได้นำเสนอไป (0 ถึง 5 Hz)

รูปที่ 4.26 แสดงผลที่ได้จากการวัดตำแหน่งด้วย Optical Encoder ที่ติดตั้งมาพร้อมกับมอเตอร์ขับเคลื่อนหุ่นยนต์และผลการหาค่าอนุพันธ์ด้วยวิธีดังที่ได้นำเสนอ จากรูปของข้อมูลตำแหน่ง พบว่ามีการรักษาตำแหน่งหรือเกิดสถานะหยุดนิ่งขึ้นเมื่อขนาดของสัญญาณคำสั่งมีค่าต่ำจนไม่สามารถเอาชนะแรงเสียดทานได้ เมื่อนำข้อมูลตำแหน่งที่ได้ไปหาค่าอนุพันธ์จะได้ชุดข้อมูลความเร็วและความเร่ง ซึ่งข้อมูลความเร็วและความเร่งจะมีค่าเป็นศูนย์เช่นกัน ในช่วงที่สัญญาณคำสั่งไม่สามารถเอาชนะค่าแรงเสียดทานได้

ค่าของข้อมูลความตำแหน่งที่วัดได้ รวมถึงความเร็วและความเร่งจากการคำนวณด้วยวิธีเชิงตัวเลขดังที่นำเสนอไว้ โดยทำการทดลองด้วยการควบคุมแบบเปิด และใช้สัญญาณคำสั่งรูปไซน์ ขนาด 72.59 Nm ความถี่ 0.25 Hz

รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณคำสั่งและค่าความเร็วที่คำนวณมาได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่นำเสนอและใช้ในการหาค่าของแรงเสียดทาน

โดยพิจารณาพร้อมกับสมการที่ 4.6 เนื่องจากในการหาค่าแรงเสียดทานและค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหุ่นยนต์ CRS Robotics ไม่สามารถวัดได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องทำการหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นไปพร้อมๆ กับการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบ ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธี Non-linear Least Square Method (ภาคผนวก ค) เพื่อหาค่าแรงเสียดทาน และค่าความเฉื่อยไปพร้อมๆ กัน (แสดงโปรแกรมการคำนวณในภาคผนวก จ)

เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.6 ไปพร้อมๆ กับรูปที่ 4.27 พบว่า หากสามารถนำค่า $J\ddot{\theta}$ ไปลบออกจากสัญญาณคำสั่งในรูปที่ 4.27 จะได้รูปแบบของแรงเสียดทานที่มีลักษณะเป็นแบบ Coulomb Viscous Friction model ดังนั้นจึงพิจารณาแบบจำลองแบบ Coulomb Viscous Friction ดังในสมการที่ 4.7 เพื่อมาใช้ในการหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบ พร้อมๆ กับการหาขนาดของโมเมนต์ความเฉื่อยด้วยวิธี Non-linear Least Square Method

จากสมการการเคลื่อนที่

$$\tau_{input} - \tau_{friction} = J\ddot{\theta} \quad (4.5)$$

$$\tau_{friction} = \tau_{input} - J\ddot{\theta} \quad (4.6)$$

และ Coulomb Viscous Friction Model

$$\tau_{friction} = c + \alpha\dot{\theta} \quad (4.7)$$

เมื่อ c เป็นค่าความเสียดทานแบบ Coulomb

α เป็นสัมประสิทธิ์ความหนืด

$\dot{\theta}$ เป็นความเร็วสัมพัทธ์

จากวิธีดังที่กล่าวมาในข้างต้นสามารถหาค่า ตัวแปรต่างๆ ที่มีในแบบจำลอง ความเสียดทานแบบ Coulomb ตามสมการที่ 4.7 ได้คือ

$$\tau_{friction} = \begin{cases} 30.583 + 0.000036\dot{\theta}, & \dot{\theta} > 0 \\ \tau_{input}, & \dot{\theta} = 0 \\ -32.844 + 0.00041\dot{\theta}, & \dot{\theta} < 0 \end{cases} \quad Nm \quad (4.8)$$

$$J = 33.32 \quad Nm \cdot s^2$$

- เมื่อ $\tau_{friction}$ เป็นแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในหุ่นยนต์ (Nm)
 $\dot{\theta}$ เป็นความเร็วเชิงมุมของแขนหุ่นยนต์ (degree/s)
 τ_{input} เป็นสัญญาณคำสั่งที่ออกจากตัวควบคุม
 J เป็นโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงมุมของแกนที่ 1 ของแขนหุ่นยนต์ (Nms^2)

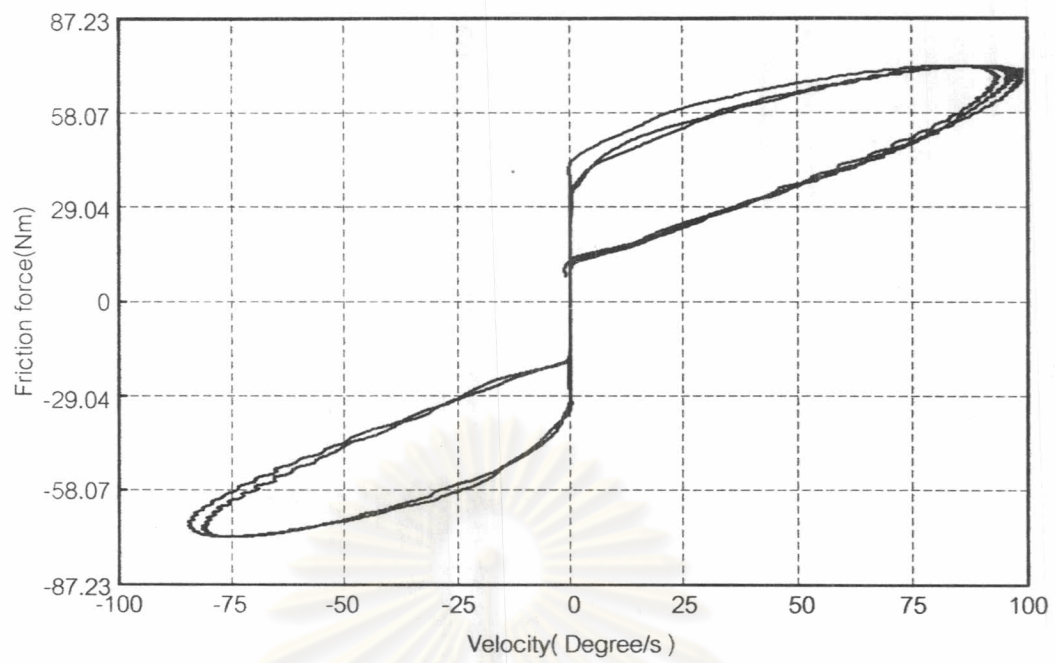
รูปที่ 4.27 แสดงพฤติกรรมของแรงเสียดทานเมื่อใช้สัญญาณคำสั่งรูปซายน์ ขนาด 72.6 Nm และความถี่ 0.25 Hz ในระบบควบคุมแบบเปิด จากรูปเห็นได้อย่างชัดเจนถึงพฤติกรรมของความเสียดทานว่ามีลักษณะคล้ายแบบจำลองความเสียดทานแบบ Coulomb Viscous Friction Model

เมื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทานในหุ่นยนต์ CRS Robotics โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณคำสั่ง และใช้วิธีการที่นำเสนอในการหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบ ได้ผลดังที่จะนำเสนอต่อไป

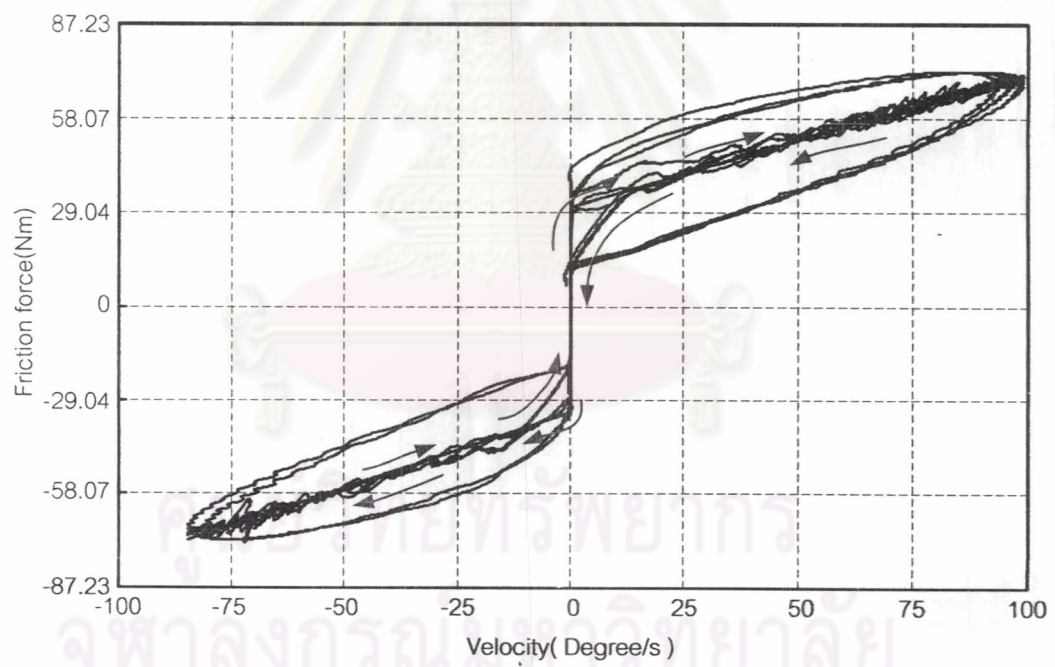
รูปที่ 4.29 แสดงพฤติกรรมของแรงเสียดทานเมื่อใช้สัญญาณคำสั่งรูปซายน์ ขนาด 72.6 Nm และความถี่ 0.5 Hz ในระบบควบคุมแบบเปิด จากรูปเห็นได้ว่า พฤติกรรมของความเสียดทานว่ามีลักษณะคล้ายแบบจำลองความเสียดทานแบบ Coulomb Viscous Friction และสามารถหาค่าตัวแปรของระบบได้ดังสมการที่ 4.9

$$\tau_{friction} = \begin{cases} 28.798 + 0.000042\dot{\theta}, & \dot{\theta} > 0 \\ \tau_{input}, & \dot{\theta} = 0 \\ 32.963 + 0.000046\dot{\theta}, & \dot{\theta} < 0 \end{cases} \quad Nm \quad (4.9)$$

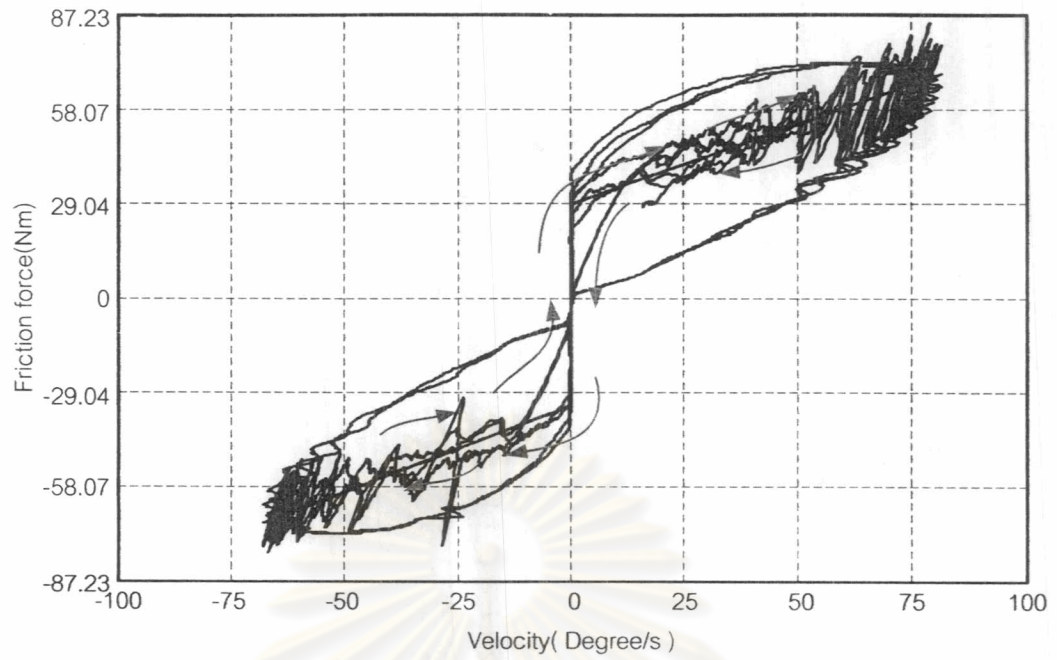
$$J = 28.56 \quad Nm \cdot s^2$$



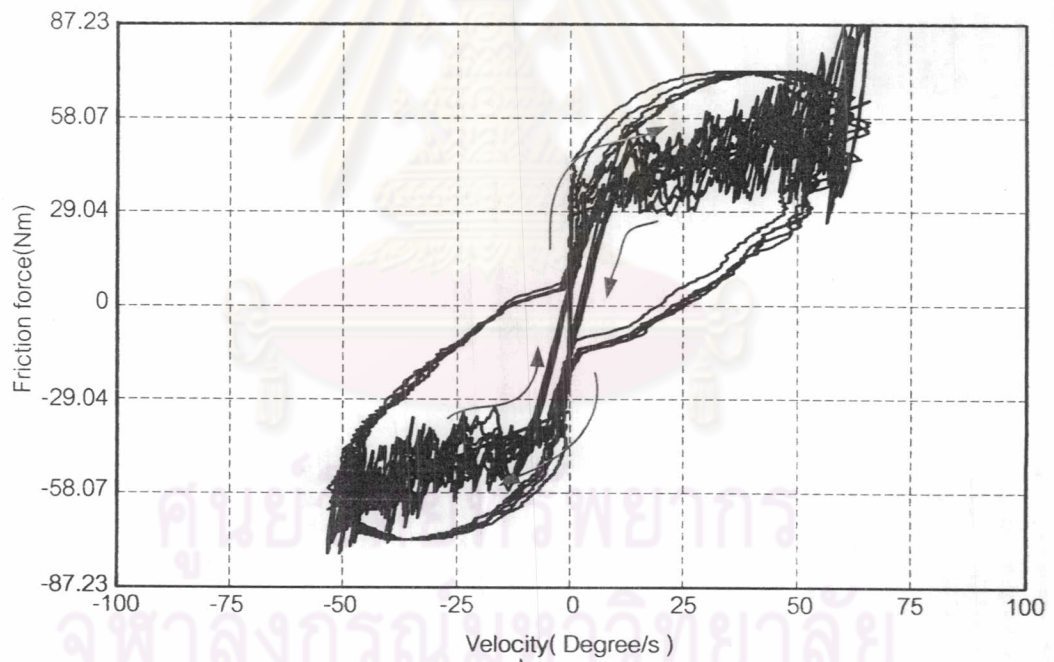
รูปที่ 4.27 ค่าความเร็วเทียบกับสัญญาณคำสั่งที่สัญญาณคำสั่งความถี่ 0.25 Hz



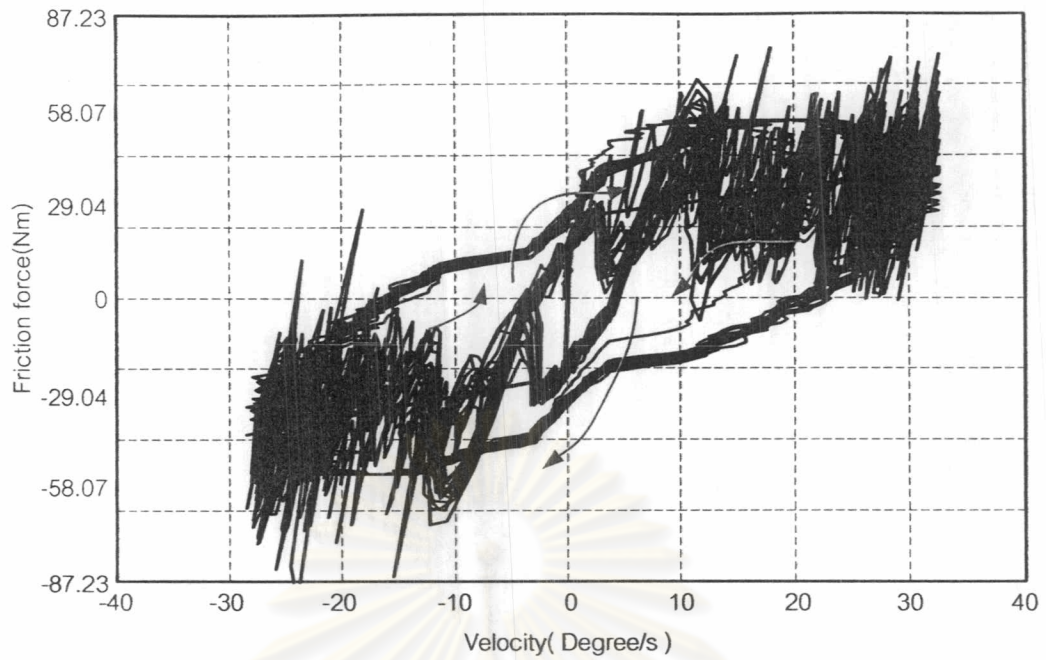
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับความเร็วที่ความถี่ 0.25 Hz



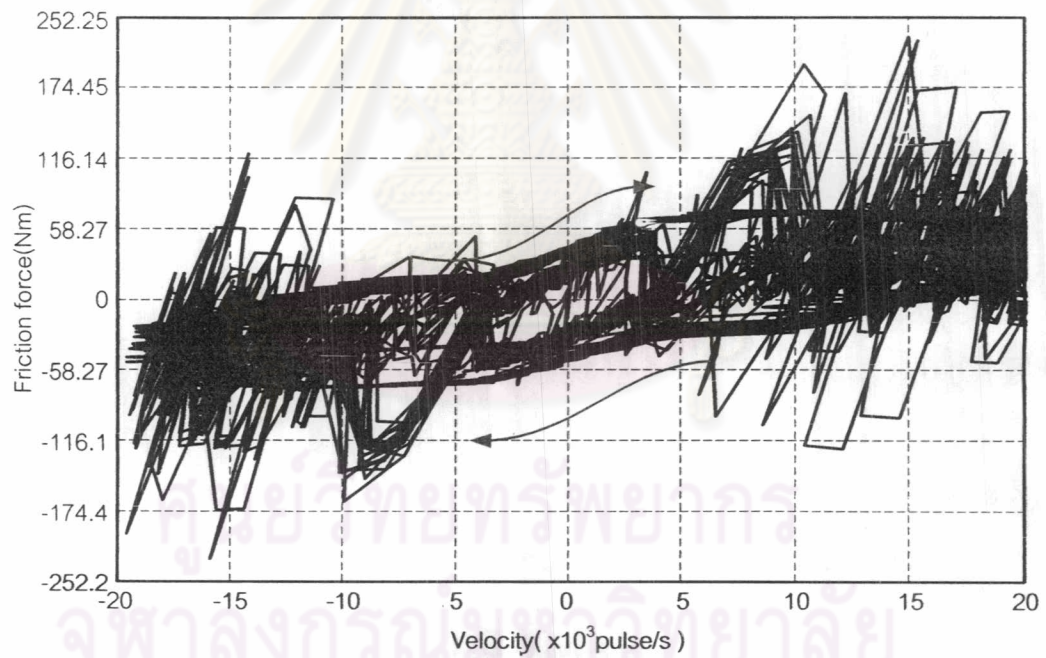
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับความเร็วที่ความถี่ 0.5 Hz



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับความเร็วที่ความถี่ 1.0 Hz



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับความเร็วที่ความถี่ 3.0 Hz



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานกับความเร็วที่ความถี่ 5.0 Hz

รูปที่ 4.30 แสดงพฤติกรรมของแรงเสียดทานเมื่อใช้สัญญาณคำสั่งรูปซายน์ ขนาด 72.6 Nm และความถี่ 1.0 Hz ในระบบควบคุมแบบเปิด จากรูปเห็นได้ว่า พฤติกรรมของความเสียดทานว่ามีลักษณะคล้ายแบบจำลองความเสียดทานแบบ Coulomb Viscous Friction และสามารถหาค่าตัวแปรของระบบได้ดังสมการที่ 4.10

เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.29 และ 4.30 พบว่าเมื่อความถี่ของสัญญาณคำสั่งในระบบควบคุมแบบเปิด ช่วงเวลาที่ระบบอยู่ในสภาวะหยุดนิ่งจะน้อยลง และการกระจายของข้อมูลที่ความเร็วสูงจะมากขึ้นเรื่อยๆ

$$\tau_{friction} = \begin{cases} 29.631 + 0.000043\dot{\theta}, & \dot{\theta} > 0 \\ \tau_{input}, & \dot{\theta} = 0 \\ -34.986 + 0.000043\dot{\theta}, & \dot{\theta} < 0 \end{cases} \quad Nm \quad (4.10)$$

$$J = 28.56 \quad Nm \cdot s^2$$

รูปที่ 4.31 แสดงพฤติกรรมของแรงเสียดทานเมื่อใช้สัญญาณคำสั่งรูปซายน์ ขนาด 72.6 Nm และความถี่ 3.0 Hz ในระบบควบคุมแบบเปิด จากรูปเห็นได้ว่า มีการกระจายของข้อมูลค่อนข้างสูง ทำให้ยากที่จะระบุได้ชัดเจนถึงรูปแบบของแรงเสียดทาน แต่ในที่นี้ ได้ทดลองหาค่าของแรงเสียดทานโดยใช้แบบจำลองความเสียดทานแบบ Coulomb Viscous Friction model ในการหาค่าแรงเสียดทาน และสามารถหาค่าตัวแปรของสมการแรงเสียดทานและค่าความเฉื่อยของระบบได้ใกล้เคียงกับค่าอื่นๆ ทำได้ ที่ความถี่ต่ำดังสมการที่ 4.11

$$\tau_{friction} = \begin{cases} 32.368 + 0.000051\dot{\theta}, & \dot{\theta} > 0 \\ \tau_{input}, & \dot{\theta} = 0 \\ -32.368 + 0.000074\dot{\theta}, & \dot{\theta} < 0 \end{cases} \quad Nm \quad (4.11)$$

$$J = 23.98 \quad Nm \cdot s^2$$

รูปที่ 4.32 แสดงพฤติกรรมของแรงเสียดทานเมื่อใช้สัญญาณคำสั่งรูปซายน์ ขนาด 72.6 Nm และความถี่ 5.0 Hz ในระบบควบคุมแบบเปิด จากรูปเห็นได้ว่า มีการกระจายของข้อมูลค่อนข้างสูง ทำให้ยากที่จะระบุได้ชัดเจนถึงรูปแบบของแรงเสียดทาน แต่ในที่นี้ ได้ทดลองหาค่าของแรงเสียดทานโดยใช้แบบจำลองความเสียดทานแบบ Coulomb Viscous Friction model ในการหาค่าแรงเสียดทาน และสามารถหาค่าตัว

แปรของสมการแรงเสียดทานและค่าความเฉื่อยของระบบได้ใกล้เคียงกับค่าอื่นๆ ที่ได้ที่ความถี่ต่ำดังสมการที่ 4.12

$$\tau_{friction} = \begin{cases} 31.297 + 0.000075\dot{\theta}, & \dot{\theta} > 0 \\ \tau_{input}, & \dot{\theta} = 0 \\ -33.677 + 0.000079\dot{\theta}, & \dot{\theta} < 0 \end{cases} \quad Nm \quad (4.12)$$

$$J = 23.98 \quad Nm \cdot s^2$$

จากรูปที่ 4.28 ถึงรูปที่ 4.32 และสมการความของแรงเสียดทานที่ 4.8-4.12 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองและการใช้วิธี Non linear Least Square ในการพิจารณาค่าตัวแปรต่างๆ ของแบบจำลองความเสียดทานและสามารถนำมาสรุปเป็นตารางแสดงค่า โมเมนต์ความเฉื่อยและตัวแปรของแบบจำลองความเสียดทานได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรของแบบจำลองความเสียดทานที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่(Hz)	0.25	0.5	1.0	3.0	5.0	Average
$J(Nm \cdot s^2)$	33.32	28.56	28.56	23.98	23.98	27.68
$\tau^+(Nm)$	30.58	28.79	29.63	32.37	31.29	33.53
$\tau^-(Nm)$	-32.84	-32.96	-34.98	-32.36	-33.67	-33.36
$c^+(Nm \cdot s)$	0.000036	0.000042	0.000043	0.000051	0.000075	0.000049
$c^-(Nm \cdot s)$	-0.000041	-0.000046	-0.000043	-0.000074	-0.000079	-0.000056

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 สรุปผล

จากการศึกษาพฤติกรรมของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในหุ่นยนต์ CRS Robotics สามารถจำลองพฤติกรรมของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นด้วยแบบจำลองความเสียดทานแบบ Coulomb Viscous Friction Model และไม่สามารถสังเกตถึงปรากฏการณ์ต่างๆดังที่นำเสนอไว้ในบทที่ 2 ของงานวิจัย

การใช้วิธี Non-Linear Least Square Curve Fitting ในการหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในหุ่นยนต์ CRS Robotics ทำให้สามารถหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของระบบไปพร้อมๆ กับการหาค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบได้

แนวทางดังที่ได้นำเสนอ สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบทางกล โดยการทดลองในหุ่นยนต์ CRS Robotics เป็นตัวอย่างหนึ่งในการศึกษาการหาแรงเสียดทาน และได้ผลดังสรุปในตารางที่ 4.1



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย