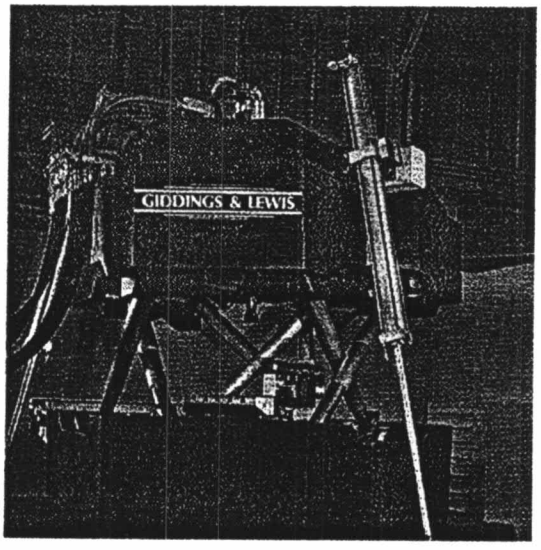
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันการวิจัยในด้านต่างๆเกี่ยวกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมได้ก้าวหน้าไปมาก มีความต้องการนำหุ่นยนต์มาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆเป็นจำนวนมาก หุ่นยนต์มีความสามารถทำงานที่มนุษย์ไม่สามารถทำได้ อาทิ งานที่ต้องใช้แรงมาก งานที่ต้องใช้ความแม่นยำสูง และกระบวนการที่ทำซ้ำๆกันเป็นจำนวนมาก อุตสาหกรรมที่หุ่นยนต์เข้าไปมีบทบาทมากได้แก่ งานผลิตชิ้นส่วน งานสร้างแม่พิมพ์ และสายการผลิตอัตโนมัติ

เพื่อรองรับความต้องการของอุตสาหกรรม ในต่างประเทศจึงได้มีงานวิจัยต่างๆออกมามากมาย ในปัจจุบันหากจำแนกประเภทหุ่นยนต์อุตสาหกรรมตามลักษณะกลไกข้อต่อแล้วสามารถแยกเป็นสองประเภทคือ หุ่นยนต์แบบซีเรียล (Serial) และหุ่นยนต์แบบขนาน (Parallel) หุ่นยนต์ที่มีข้อต่อแต่ละข้อต่อเรียงต่อเนื่องแบบอนุกรมเป็นที่รู้จักกันมานานและเป็นที่ยอมรับในวงการอุตสาหกรรม มีทฤษฎีรองรับอย่างมั่นคง ในขณะที่หุ่นยนต์แบบขนานยังถือเป็นเรื่องใหม่จึงเปิดโอกาสให้มีงานวิจัยใหม่ๆเกิดขึ้นได้อีกมาก หุ่นยนต์แบบขนานเริ่มมีการพัฒนาขึ้นมาในทศวรรษที่ 1960 เมื่อ Stewart เสนอกลไกซึ่งมีหกองศาอิสระในการจำลองการบิน (Flight Simulator) [Stewart, 1965] หลังจากนั้นจึงได้มีผู้เสนอกลไกแบบขนานในรูปแบบต่างๆออกมา คุณสมบัติพื้นฐานต่างๆของหุ่นยนต์แบบขนานเปรียบเทียบกับหุ่นยนต์แบบอนุกรมได้ตารางที่ 1.1



รูปที่ 1.1 VARIAX เครื่องกัดที่ใช้กลไกขนานหกองศาอิสระ "Hexapod" [รูปจาก Giddings & Lewis]

ตาราง 1.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติหุ่นยนต์แบบซีเรียลกับแบบขนานเครื่องหมาย✓หมายถึงคุณสมบัติที่เหนือกว่า

	Serial Manipulator	Parallel Manipulator
1. Workspace	✓	
2. Load Capacity		✓
3. Stiffness		✓
4. Inertia		✓
5. Kinematics Complexity	Complex Inverse Kinematics	Complex Forward Kinematics
6. Design Complexity	✓	

ดังกล่าวมาแล้ว หุ่นยนต์แบบขนานมีข้อได้เปรียบด้านความสามารถในการรับภาระ มีความแข็งเกร็งสูงทำให้เหมาะกับงานกัดความเร็วสูงและงานวัดคุมที่ต้องการความแม่นยำสูงแต่มีข้อด้อยคือ ปริมาตรทำงานน้อยและความสัมพันธ์ฟอร์เวิร์ดคิเนแมติกส์ซับซ้อนมาก งานวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างองค์ความรู้ในด้านต่างๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดข้อจำกัดของหุ่นยนต์แบบขนานจึงเริ่มต้นขึ้น

กลไกแบบขนานที่ใช้ในหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีหลายรูปแบบ แต่แบบที่รู้จักกันมานานคือแบบที่มีหกองศาอิสระซึ่งประกอบด้วยฐานหุ่นยนต์ซึ่งอยู่นิ่งเชื่อมต่อ Moving Platform ซึ่งเคลื่อนที่ได้ผ่านชุดข้อต่อและอุปกรณ์ขับดันในลักษณะเดียวกันหกชุด ชุดข้อต่อหรือ "ขา" (Leg หรือ Limb) จะมีจำนวนเท่ากับองศาอิสระของหุ่นยนต์กลไกประเภทนี้เรียกว่า"เฮกซาพอด" (Hexapod) ซึ่งมีพื้นฐานบนหุ่นยนต์แบบขนานของ Stewart หุ่นยนต์ลักษณะนี้มีทั่วไปในงานอุตสาหกรรม เช่น Fanuc Mikromat Giddings & Lewis และ Toyoda เป็นต้น นอกเหนือจากเฮกซาพอดแล้วยังมีหุ่นยนต์แบบขนานอื่นๆที่มีองศาอิสระน้อยกว่าหกได้แก่ Tsai และคณะ [1996, 2001, 2002] Liu และคณะ [2001, 2001] Leguay-Durand [1997] Ottaviano และคณะ [2001] Gragorio, Parenti-Castelli [1999] งานวิจัยในด้านต่างๆเกี่ยวกับกลไกแบบขนานมีดังนี้

1. งานวิจัยเกี่ยวกับ Stewart platform การหาฟอร์เวิร์ด คิเนแมติกส์โดยวิธีเชิงวิเคราะห์และเชิงเลขเช่น Lazard, Merlet [1994] และ Sang [1999] งานวิจัยเกี่ยวกับการหาฟอร์เวิร์ดคิเนแมติกส์โดยติดอุปกรณ์วัดตำแหน่งเพิ่มที่ข้อต่อตาม

(passive joint) ได้แก่ Stoughton และ Arai [1991] Merlet [1993] Chiu และ Perng [2001]

2. งานวิจัยเพื่อค้นหารูปแบบของกลไกแบบขนานใหม่ๆ เพื่อเอาชนะข้อจำกัดของกลไกแบบขนานแบบเดิม หุ่นยนต์แบบขนานซึ่งมีหกองศาอิสระและ Moving platformสามารถหมุนได้ถึง 360 องศาด้วยข้อต่อที่ได้รับการออกแบบอย่างชาญฉลาดเช่น Eclipse II [Kim, 2001] หุ่นยนต์มีสามองศาอิสระในการเลื่อนตำแหน่งและสามองศาอิสระในการหมุนแยกออกจากกันในงานวิจัยของ Lee [2000] นอกจากนี้ยังมี DELTA [Clavel, 1991] และแขนกลแมรีแลนด์ [Tsai, 1996] ซึ่งใช้กลไกแบบพาราเลลโลแกรม (Parallelogram) ช่วยให้เคลื่อนที่ได้สามองศาอิสระ หุ่นยนต์ที่ปรับพารามิเตอร์เช่นความกว้างของฐานและ ระยะห่างระหว่างข้อต่อเพื่อเพิ่มปริมาตรทำงานและหลบเลี่ยงบริเวณซิงกูลาริตีส์ (Singularity) ของกลไก [Arai และคณะ, 2000] หุ่นยนต์ในตระกูล H-4 [Pierrot, 1999, 2000, 2001] ซึ่งมีสามองศาอิสระในการเลื่อนตำแหน่ง และ หนึ่งองศาอิสระในการหมุนรอบแกนที่ต้องการ กลไกลักษณะนี้มีความซับซ้อนน้อยลงและเหมาะกับงานหยิบวางและประกอบชิ้นส่วน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงในตอนต่อไป
3. งานวิจัยเกี่ยวกับซิงกูลาริตีส์ของกลไกแบบขนานมีเป็นจำนวนมากเนื่องจาก กลไกชนิดนี้มีความซับซ้อน มีข้อต่อวางตัวเป็นวงปิด การศึกษาซิงกูลาริตีส์จึงมีความสำคัญมากดังในงานของ Monsarrat [2001] Ottaviano และคณะ [2001] Yang, Angeles และคณะ [2001]

จากงานวิจัยที่ได้อ้างถึงข้างต้น ล้วนเป็นงานวิจัยเพื่อปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์แบบขนานทั้งสิ้น โดยงานวิจัยส่วนใหญ่เน้นไปที่เฮกซาพอด หากเปรียบเทียบระหว่างเฮกซาพอดกับหุ่นยนต์แบบขนานอื่นๆแล้วพบว่ามีคุณสมบัติหลายประการที่ใกล้เคียงกับหุ่นยนต์เฮกซาพอด [Pierrot, 2000] เช่นปริมาตรทำงาน ความแข็งเกร็งสูงและความเฉื่อยต่ำ อีกทั้งยังมีกลไกที่ซับซ้อนน้อยกว่า นอกจากนี้ในงานหลายประเภทเช่นงานกัดชิ้นงานและงานประกอบมีความต้องการหุ่นยนต์ที่มีเพียงสามถึงห้าแกนเท่านั้น หากกล่าวโดยย่อ ข้อจำกัดของเฮกซาพอดมีดังนี้

1. อัตราส่วนปริมาตรทำงานกับขนาดฐาน (Footprint) น้อยเมื่อเทียบกับหุ่นยนต์แบบอนุกรมที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

2. กลไกข้อต่อของขามีความเฉื่อยมากเนื่องจาก ชุดขับเคลื่อนในแนวเส้นตรงซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ขับดันซึ่งมีน้ำหนักมากและบอลสกรูรวมอยู่ในส่วนที่เคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วย
3. การติดอุปกรณ์วัดตำแหน่งนอกเหนือจากตำแหน่งมอเตอร์ทำได้ยาก จึงไม่สามารถวัดระยะทางของบอลสกรูโดยตรงได้

ข้อจำกัดที่ได้อภิปรายข้างต้นทำให้ผู้วิจัยเชื่อว่า สามารถสร้างหุ่นยนต์แบบขนานที่มีองศาอิสระน้อยกว่าหกที่มีความซับซ้อนของกลไกน้อยกว่า และปริมารตทำงานมากกว่าเฮกซาพอดทั่วไปได้ งานวิจัยในขณะนี้ ผู้วิจัยนำเสนอแขนกลแบบขนานที่มีสี่องศาอิสระและวิเคราะห์อินเวิรส์และฟอร์เวิร์ดคิเนแมติกส์ที่มีผลเฉลยในรูปแบบเชิงวิเคราะห์ ปริมาตรการทำงานของแขนกล นอกจากนี้ยังเสนอระบบควบคุมตำแหน่งและแรงเบื้องต้น และท้ายสุดแขนกลต้นแบบได้ถูกสร้างขึ้นและนำตัวควบคุมดังกล่าวมาใช้งานจริง

ต่อไปจะกล่าวถึงงานประยุกต์ใช้ความสามารถของหุ่นยนต์ต่างๆเช่นงานประกอบชิ้นส่วนตั้งแต่ขนาดใหญ่เช่นเครื่องจักรกลหรือรถยนต์ ไปจนถึงขนาดเล็กได้แก่แผงวงจรอิเล็คทรอนิกส์ งานควบคุมคุณภาพเช่นอุปกรณ์วัดพิกัด (Coordinate measuring machine-CMM) ทั้งแบบมือและแบบอัตโนมัติหรืองานผลิตชิ้นส่วนเช่นแม่พิมพ์ชนิดต่างๆ ในงานดังกล่าวหุ่นยนต์ได้เข้าไปมีบทบาทในการช่วยเหลือมนุษย์ให้สามารถทำงานยากๆได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น หากรวมความสามารถในการทำงานหนัก งานอันตราย งานซ้ำๆกัน หรืองานที่ต้องใช้ความละเอียดสูงได้ดีของหุ่นยนต์เข้ากับความสามารถในการสังเกต การตัดสินใจของมนุษย์จะทำให้เกิดการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ หนึ่งในหัวข้อวิจัยที่มีการศึกษากันมานานได้แก่การควบคุมแรงกระทำระหว่างหุ่นยนต์และวัตถุแวดล้อม เมื่อหุ่นยนต์มีทำงานเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมเช่นวัตถุหรือชิ้นงานต่างๆ จะมีตัวแปรด้านแรงเพิ่มเข้ามาในขอบเขตการควบคุม การควบคุมแรงกระทำต่อสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญในงานที่ต้องการความละเอียดสูงหรืออาจก่อความเสียหายแก่วัตถุได้เช่น งานเจียรนัยวัตถุขนาดเล็ก งานประกอบชิ้นส่วนละเอียด หรือการวัดพิกัดวัตถุโดยการสัมผัสเป็นต้น ในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องมีหุ่นยนต์ที่มีความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนที่และแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปแบบผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ของแขนกลที่ได้วิเคราะห์มาจะเป็นเครื่องมือที่ทรงพลังในการวิเคราะห์ปัญหาทางการควบคุมชั้นสูง

มีการศึกษารูปแบบการควบคุมแรงแบบต่างๆได้แก่ Raibert [1981] และ Anderson [1987] รูปแบบที่นิยมมากได้แก่การควบคุมแรงโดยการควบคุมอิมพิแดนซ์ (Impedance Control) โดย Jung และคณะ [1995 1998 2001 และ 2004] นอกจากนี้ยังมีความจำเป็นอย่างมากในการควบคุมแรงกระทำบนวัตถุที่มีพื้นที่ไม่แบนราบโดยในหลายกรณีไม่มีข้อมูล

ด้านรูปร่างของพื้นผิวมาก่อน การควบคุมต้องมีความยืดหยุ่นเข้ากับสภาพพื้นผิวที่ไม่แน่นอนได้เช่น งานของ Chiaverini [1998] Jung และคณะ [2001 และ 2004] เสนอรูปแบบการควบคุมแรงที่มีการปรับค่าความแข็งตึงของสภาพแวดล้อมตามเวลาจริง รูปแบบการความคุมที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเช่นการควบคุมระบบประสาท (Neuro-Fuzzy) ใน Jung และคณะ [1995 1998 2000 2001 และ 2004] และ Kigichi [2000] ตัวอย่างงานที่ใช้การควบคุมแรงช่วยในการประกอบชิ้นส่วนรถยนต์โดยแขนกลแบบขนานได้เสนอโดย Morris [2001]

ในการควบคุมแรงกระทำต่อแขนกลหากทราบเมตริกซ์ความแข็งตึงของแขนกล (Stiffness Matrix) และส่วนกลับของเมตริกซ์ความแข็งตึงหรือ คอมไพลแอนซ์เมตริกซ์ (Compliance Matrix) ซึ่งขึ้นอยู่กับทั้งตำแหน่งและแรงกระทำต่อแขนกลขณะนั้น กล่าวได้ว่าคอมไพลแอนซ์เตริกซ์เป็นฟังก์ชันกับตำแหน่งและทิศทางของแรงที่กระทำต่อแขนกลและทราบแรงที่กระทำต่อแขนกลจริงๆโดยใช้ตัวตรวจรู้แรง (Force transducer) จะสามารถคำนวณระยะเบี่ยงเบนของปลายแขนกล (Deflection) ที่ต้องการซึ่งระยะเบี่ยงเบนนี้จะทำให้เกิดแรงกดที่มีขนาดตามต้องการบนวัตถุ และนำไปคำนวณคำสั่งตำแหน่งเพื่อส่งไปยังตัวควบคุมตำแหน่งของแขนกล ผู้วิจัยเชื่อว่าหากทราบคุณสมบัติในด้านนี้ของหุ่นยนต์จะทำให้การควบคุมแรงมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น การควมคุมแรงโดยการควบคุมตำแหน่งเช่นนี้เรียกว่าการควมคุมแรงแบบอิมพลิซิท (Implicit force control, บวร [2543]) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาแขนกลแบบขนานที่มีสี่องศาอิสระ ประกอบด้วยตัวแขนกลที่มีสามองศาอิสระในการเลื่อนที่และหนึ่งองศาอิสระในการหมุน
2. สามารถควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ความเร็วและแรงได้

1.3 ขอบเขต

1. แขนกลที่สร้างขึ้นมีความผิดพลาดของตำแหน่งปลายไม่เกิน ±0.1 มิลลิเมตร
2. สามารถควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่ความเร็วและแรงที่ต้องการได้ โดยแรงที่ควบคุมได้อยู่ในช่วง 10-40 นิวตัน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาและวิเคราะห์ผลการวิจัยที่มีผ่านมาเพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบแขนกล
2. ออกแบบลักษณะกลไกของแขนกล สร้างแบบจำลองอย่างง่าย และวิเคราะห์กลไกที่ออกแบบ

3. ทำ Simulation เพื่อศึกษากลไกที่ได้ออกแบบไว้
4. ออกแบบ สร้าง และ เลือกชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อประกอบเป็นแขนกล พร้อมแก้ไขข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้
5. ออกแบบระบบควบคุมตำแหน่งความเร็วและแรง
6. ทดลองการเคลื่อนที่พื้นฐาน
7. ทดสอบระบบโดยรวม และสรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แขนกลแบบขนานที่มีสี่องศาอิสระที่มีปริมาตรทำงานมาก และสามารถควบคุมแรงที่กระทำบนพื้นผิวชิ้นงานได้
2. เป็นฐานสำหรับพัฒนาระบบควบคุมชั้นสูง
3. เป็นฐานสำหรับการพัฒนาเป็นแขนกลที่มีห้าองศาอิสระในงานตัดกลึงชิ้นงาน การควบคุมแรงตั้งฉากกับผิววัตถุในงานวัด หรืองาน Rapid Prototype