บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

หุ่นยนต์อุตสาหกรรมมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตหลายๆ อย่าง ทั้งนี้เนื่องจากว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานที่หนัก งานที่มีอุณหภูมิสูงจัดหรือเย็นจัด งานที่สัมผัสกับสารเคมีเป็นพิษ หรืองานที่มีอันตรายมาก นอกจากนี้ยังมีการใช้งานหุ่นยนต์กับงานที่ต้องการความแม่นยำสูงหรืองานที่ต้องการความเที่ยงตรง และเมื่อการประกันคุณภาพของขบวนการผลิตเป็นเรื่องที่สำคัญในยุคปัจจุบัน หุ่นยนต์ก็มีความสำคัญมากขึ้นไปอีกเพราะการทำงานที่คงที่ของหุ่นยนต์ทำให้ผู้ประกอบการสามารถวางใจในมาตรฐานการทำงาน

หุ่นยนต์โดยทั่วไปจะทำงานโดยมีโปรแกรมการทำงาน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือทำงานโดยใช้ความจำของหุ่นยนต์เอง หุ่นยนต์จะปฏิบัติตามคำสั่งที่ได้รับโปรแกรมอย่างเคร่งครัด ผู้ควบคุมหุ่นยนต์อาจสามารถเปลี่ยนโปรแกรมการทำงาน หรือสามารถโปรแกรมให้หุ่นยนต์ทำงานได้หลายๆ อย่าง ความสามารถที่กล่าวมาทำให้หุ่นยนต์มีความหลากหลายในระดับหนึ่ง และเหมาะสมกับการทำงานในยุคปัจจุบันซึ่งผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มที่จะมีอายุในตลาดสั้นลงเรื่อยๆ และคุณภาพก็สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้งานหุ่นยนต์โดยมากจะต้องจัดเตรียมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการทำงานของหุ่นยนต์เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างถูกต้อง หุ่นยนต์ไม่มีความคิดเป็นของตัวเอง และจะไม่สามารถแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้ มันเพียงแต่จะทำงานซ้ำๆ เดิมตามที่ได้รับโปรแกรมเท่านั้น

เพื่อให้หุ่นยนต์มีศักยภาพและสามารถทำงานได้หลากหลายมากขึ้น ได้มีงานวิจัยเกิดขึ้นมากมายเพื่อพัฒนาให้หุ่นยนต์สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม ความสามารถดังกล่าวจะทำให้หุ่นยนต์สามารถปรับการทำงานให้สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างถูกต้อง การพัฒนารวมถึงการเพิ่มความสามารถในการรับรู้ของหุ่นยนต์ และ/หรือ การพัฒนาสมองกลหรือปัญญาประดิษฐ์

กล้องดิจิตัลเป็นอุปกรณ์รับรู้ชนิดหนึ่งที่ค่อนข้างแพร่หลายในปัจจุบัน กล้องจะบันทึกภาพซึ่งให้ข้อมูลของสภาพแวดล้อม กล้องดิจิตัลอาจนำมาใช้กับหุ่นยนต์เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมผ่านทางสิ่งที่กล้องมองเห็น การทำงานจะคล้ายกับการใช้ดวงตาของมนุษย์ในการทำงาน การรับรู้ภาพของหุ่นยนต์ทำให้หุ่นยนต์สามารถติดตามวัตถุเป้าหมาย หรือ

ทำการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัติได้ กล้องดิจิตัลจะบันทึกภาพในรูปแบบดิจิตัล รูปแบบข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาประมวลผลได้โดยตรงโดยใช้เทคโนโลยีดิจิตัลคอมพิวเตอร์ซึ่งมีสมรรถนะที่สูงมากในปัจจุบัน การใช้กล้องดิจิตัลเป็นอุปกรณ์รับรู้ของหุ่นยนต์จึงเป็นการนำเอาเทคโนโลยีดิจิตัลมาใช้เพื่อให้หุ่นยนต์มีศักยภาพที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยด้านนี้ยังไม่มีมากนักเพราะเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่และเกี่ยวข้องกับหลายสาขาวิชา รวมถึงพลศาสตร์ชั้นสูง ทฤษฎีการควบคุม คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข การบันทึกภาพ และทฤษฎีหุ่นยนต์

อุปกรณ์วัดแรงเป็นอุปกรณ์รับรู้อีกอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาใช้กับหุ่นยนต์เพื่อให้สามารถควบคุมแรงสัมผัสที่หุ่นยนต์กระทำกับสิ่งแวดล้อม แรงจะให้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากเมื่อเทียบกับข้อมูลตำแหน่ง ข้อมูลแรงนี้เทียบได้กับการสัมผัสของมนุษย์ และจะเป็นข้อมูลที่จำเป็นในการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้านกับสิ่งที่ขวางกั้นอยู่ การควบคุมแรงสัมผัสจะทำให้สามารถใช้งานหุ่นยนต์กับงานกดอัดประกอบ งานขัดผิว งานเจียระไน งานบด และงานขัดเงา ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมแรงสัมผัสตามให้เป็นไปตามที่กำหนดเพื่อให้งานมีคุณภาพงานที่ดี

การควบคุมแรงและรูปภาพพร้อมกันเป็นแนวทางที่จะทำให้หุ่นยนต์มีความคล่องตัวสูงเทียบเท่ามนุษย์ เมื่อพิจารณาถึงโสตทั้งหมดของมนุษย์ จะพบว่า รูปและสัมผัสเป็นโสตที่ใช้ในการทำงานทั่วไป ส่วนรสและกลิ่นจะใช้เพื่อความสุนทรีย์เป็นหลัก อาจมีการใช้เสียงในการทำงานบ้าง (เพื่อรับคำสั่ง) แต่ก็ไม่มากนัก การควบคุมแรงและรูปภาพพร้อมกันจะทำให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับมนุษย์มาก ข้อมูลทั้งสองเป็นข้อมูลเสริมกันเพื่อใช้ในการทำงานทั่วไป อย่างไรก็ตาม ธรรมชาติในการควบคุมแรงและรูปภาพมีความแตกต่างกันมาก ประกอบกับการควบคุมจะเกี่ยวข้องกับระบบที่มีความซับซ้อนและมีพารามิเตอร์จำนวนมาก วิธีในการควบคุมต้องสามารถจัดการกับปัญหาต่างๆ เหล่านี้ได้ และแม้ว่าการควบคุมแรงและรูปภาพจะเป็นเรื่องที่ค่อนข้างสำคัญในการพัฒนาหุ่นยนต์ให้มีศักยภาพมากขึ้น แต่ก็มีงานวิจัยในเรื่องนี้น้อยมาก และมีประวัติที่สั้น นอกจากนี้ งานวิจัยที่ผ่านมาก็จะมีพื้นฐานอยู่บนสมการทางคณิตศาสตร์ที่สลับซับซ้อน และต้องทำการปรับเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ ก่อนใช้งาน

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาถึงการนำกล้องดิจิตัลและอุปกรณ์วัดแรงมาใช้เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมในการทำงาน หุ่นยนต์จะมีโสตรับรู้ในการทำงานใกล้เคียงกับมนุษย์มาก งานนี้จะเกี่ยวข้องทั้งในเรื่องของการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงและระบบกล้องดิจิตัลให้กับหุ่นยนต์ และพัฒนาวิธีในการนำข้อมูลจากอุปกรณ์วัดแรงและระบบกล้องดิจิตัลมาใช้ในการควบคุมอย่างมีเสถียรภาพ การศึกษานี้ จะเป็นพื้นฐานสำคัญเพื่อรองรับเทคโนโลยีดังกล่าว ซึ่งมีแนวโน้มสูงมากที่จะเข้ามามีบทบาทในอนาคตอันใกล้ และทำให้สามารถพัฒนาเทคโนโลยีดังกล่าว เพื่อแข่งขันกับต่างประเทศได้

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเทคโนโลยีต่างๆ ที่จำเป็นในการนำกล้องดิจิตัลและอุปกรณ์วัดแรงมาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความรู้หลายสาขาวิชา การศึกษาจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญเพื่อรองรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมซึ่งจะเข้ามามีบทบาทในอนาคตอันใกล้ ทำให้มีศักยภาพในการแข่งขันมากขึ้น วัตถุประสงค์ที่กล่าวถึงประกอบด้วย

1) เพื่อทดลองศึกษาถึงกรรมวิธีในการถอดลักษณะวัตถุจากรูปภาพ รวมถึงการหาตำแหน่งศูนย์กลางของวัตถุ เทียบกับแกนอ้างอิงของตัวกล้อง
2) เพื่อทดลองศึกษาถึงการควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การป้อนกลับด้วยระบบกล้องดิจิตัล
3) เพื่อทดลองศึกษาถึงการควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้การป้อนกลับด้วยแรง
4) เพื่อทดลองศึกษาถึงการควบคุมหุ่นยนต์แบบผสมระหว่างแรงกับระบบกล้องดิจิตัล
5) เพื่อออกแบบและสร้างตัวควบคุมแบบผสมแรงกับระบบกล้องดิจิตัล สำหรับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทั่วไป

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการศึกษานี้ จะรวมถึง

1) พัฒนาโปรแกรมเพื่อหาขอบและจุดศูนย์กลางของวัตถุในรูปภาพ
2) ติดตั้งระบบกล้องดิจิตัลและอุปกรณ์วัดแรง เข้ากับหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc โดยจะสามารถทำงานร่วมกับระบบควบคุมหุ่นยนต์
3) ออกแบบและสร้างตัวควบคุมสำหรับหุ่นยนต์จากบริษัท CRS Robotic Inc เพื่อใช้แทนตัวควบคุมมาตรฐานของหุ่น เพื่อเป็นปัจจัยพื้นฐานในงานวิจัยหุ่นยนต์ของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมอัตโนมัติ
4) จำลองการทำงานของระบบควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้ระบบกล้องดิจิตัล และศึกษาสมรรถนะการควบคุมกับหุ่นยนต์หลายประเภท
5) ทดลองควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบกล้องดิจิตัล กับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม จากบริษัท CRS Robotic Inc
6) ทดลองศึกษาการควบคุมแรงของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมด้วยวิธีการต่างๆ
7) จำลองการทำงานของระบบควบคุมแบบผสม ระหว่างแรงกับระบบกล้องดิจิตัล
8) ทดลองควบคุมหุ่นยนต์แบบผสม ระหว่างแรงกับระบบกล้องดิจิตัล
9) วิเคราะห์ และสรุปผล

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1) เสริมสร้างความรู้ทางวิชาการในประเทศ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมหุ่นยนต์ โดยใช้ข้อมูลป้อนกลับจากระบบกล้องดิจิตัล
2) เสริมสร้างความรู้ทางวิชาการในประเทศ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมหุ่นยนต์ โดยใช้ข้อมูลป้อนกลับจากอุปกรณ์วัดแรง
3) พัฒนาศักยภาพในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งรวมถึงการสร้างชุดควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจากบริษัท CRS Robotic Inc เพื่อให้สามารถควบคุมหุ่นยนต์ในระดับล่างหรือระดับแรงดันได้
4) ออกแบบและสร้างตัวควบคุมแบบผสมระหว่างแรงกับระบบกล้องดิจิตัล สำหรับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมทั่วไป

1.5 สิ่งริเริ่มในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วยงานวิจัยหลักสามส่วน ส่วนแรกเป็นการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบกล้องดิจิตัล ส่วนที่สองเป็นการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยอุปกรณ์วัดแรง และส่วนที่สามเป็นการควบคุมแบบผสมระหว่างแรงกับระบบกล้องดิจิตัล

ในส่วนแรกหรือส่วนการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบกล้องดิจิตัล งานวิจัยนี้ในนำเสนอแนวทางในการควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริงด้วยระบบกล้องดิจิตัล แนวทางในการควบคุมนำหลักการในการหาค่าสุดขีดมาดัดแปลงเพื่อใช้ควบคุมหุ่นยนต์ซึ่งเป็นระบบกลที่มีความไม่เชิงเส้นสูงและเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์มาก งานวิจัยนี้ใช้จาโคเบียนเพียงเพื่อหาทิศทางในการปรับตำแหน่งหุ่นยนต์เท่านั้น และใช้ความยาวช่วงก้าวเดินในการกำหนดความเร็วในการลู่เข้าของพารามิเตอร์ควบคุม และจะใช้การประมาณจาโคเบียนขึ้นในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ วิธีการดังกล่าวทำให้โครงสร้างการควบคุมไม่ซับซ้อน ใช้งานได้ง่าย และทำงานได้ดีมากแม้ว่าจาโคเบียนจะมีความไม่เชิงเส้นสูง มีค่าไม่คงที่ และเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์จำนวนมาก นอกจากนี้ โครงสร้างของการควบคุมที่นำเสนอจะไม่มีพารามิเตอร์ของหุ่นยนต์อยู่ภายใน ทำให้สามารถนำไปใช้กับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมแบบใดก็ได้ งานส่วนนี้ได้นำเสนอในการประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 12 ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 1998 เรื่อง *"การควบคุมแขนกลด้วยระบบ Vision โดยใช้พารามิเตอร์ในรูปภาพ"* และได้นำเสนอผลการทดลองควบคุมกับเป้าหมายที่มีความอิสระเท่ากับสามในการประชุมนานาชาติ First Asian Symposium on Industrial Automation and Robotics ที่ศูนย์การประชุมนานาชาติ BITEC กรุงเทพมหานคร ในปี 1999 เรื่อง *"Image Based Visual Servo Control for Industrial Robots"*

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในส่วนที่สองหรือส่วนการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยอุปกรณ์วัดแรง แม้ว่าจะมีงานวิจัยในด้านนี้เกิดขึ้นมาก และได้มีการนำเสนอวิธีในการควบคุมแรงหลายๆ วิธี แต่การเปรียบเทียบจุดเด่นจุดด้อยของแต่ละวิธีการยังไม่ชัดเจนนัก งานวิจัยนี้ได้ทดลองควบคุมแรงของหุ่นยนต์โดยใช้หลายวิธีการ การทดลองกระทำบนหุ่นยนต์และชุดควบคุมตัวเดียวกัน และปรับพารามิเตอร์ควบคุมเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสมรรถนะได้อย่างชัดเจน ผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้เข้าใจถึงวิธีในการควบคุมแรงแบบต่างๆ อย่างลึกซึ้ง ในการศึกษาส่วนนี้ จะต้องสามารถลงไปควบคุมได้ในระดับแรงดันที่ข้อต่อของหุ่นยนต์ ซึ่งชุดควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะไม่ยอมให้ลงไปควบคุมในระดับนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้ออกแบบและสร้างชุดควบคุมหุ่นยนต์ขึ้นมาใหม่เพื่อสนับสนุนงานนี้ ชุดควบคุมที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถควบคุมข้อต่อหุ่นยนต์ได้สามข้อต่อพร้อมกัน ซึ่งจะเป็นเครื่องมือพื้นฐานของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบควบคุมอัตโนมัติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเพื่อใช้ในงานวิจัยขั้นสูงต่อไป

ในส่วนที่สามหรือส่วนการควบคุมแบบผสมระหว่างแรงกับระบบกล้องดิจิตัล วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีแบบใหม่ในการควบคุมแรงและพารามิเตอร์รูปภาพพร้อมกัน แม้ว่าจะมีงานวิจัยในด้านนี้อยู่บ้าง แต่ก็มีไม่มากนัก และวิธีการที่พบก็จะมีพื้นฐานอยู่บนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบซึ่งมีความสลับซับซ้อนมาก ซึ่งจะต้องการการปรับเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ อย่างถูกต้องแม่นยำ และการควบคุมก็ทำได้เฉพาะกับหุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบไว้เท่านั้น วิธีการควบคุมแบบผสมระหว่างแรงกับระบบกล้องดิจิตัลที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เรียกว่า การควบคุมแบบเรียนรู้ ซึ่งมีหลักในการควบคุมคล้ายกันกับการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยกล้องดิจิตัลที่มีโครงสร้างการควบคุมที่ง่าย และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับการควบคุมแรงก็จะให้สมรรถนะที่คล้ายกับการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยกล้องดิจิตัลและการควบคุมแรงทางอ้อมแบบอินทิกรัลพร้อมกัน โครงสร้างในการควบคุมแรงและพารามิเตอร์รูปภาพพร้อมกันเป็นแบบไม่มีรอยต่อ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือโครงสร้างการควบคุมจะพิจารณาแรงและพารามิเตอร์รูปภาพในรูปแบบที่เหมือนกัน และจะไม่มีการแยกแกนในการควบคุมเหมือนกับวิธีการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน การทดลองกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมจริงพิสูจน์ถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ วิธีการที่คิดค้นขึ้นในวิทยานิพนธ์นี้เชื่อว่าจะเป็นวิธีการพื้นฐานในการควบคุมหุ่นยนต์ขั้นสูงในอนาคต งานส่วนนี้ได้นำเสนอในการประชุมนานาชาติ JSAE 2000 Spring Convention ที่เมืองโยโกฮามา ประเทศญี่ปุ่น ในปี 2000 เรื่อง *"A Hybrid Force/Visual Servo Control for industrial Robots"* นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้แนะนำอีกวิธีการหนึ่งในการควบคุมแรงและพารามิเตอร์รูปภาพพร้อมกัน เรียกว่า การควบคุมแบบขนาน ซึ่งมีจุดเด่นที่สามารถแยกการพิจารณาการควบคุมระหว่างแรงกับพารามิเตอร์รูปภาพได้ ทำให้สามารถควบคุมแรงและพารามิเตอร์รูปภาพพร้อมกันได้เต็มศักยภาพ

1.6 ภาพรวมของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้แบ่งออกเป็นเจ็ดบท บทแรกจะเป็นบทนำ ซึ่งจะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของการศึกษานี้ และวัตถุประสงค์ ขอบเขต และประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย และรวมถึงสิ่งริเริ่มที่นำเสนอในงานวิจัย ซึ่งจะเป็นภาพรวมของวิทยานิพนธ์ บทที่สองเป็นเรื่องของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวถึงประวัติการวิจัยที่ผ่านมา ทั้งในเรื่องของการควบคุมแรง การควบคุมด้วยกล้องดิจิตัล และการควบคุมแบบผสมแบบต่างๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงแนวทางในการพัฒนาที่ผ่านมา และสิ่งที่จะคาดว่าเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้ บทที่สามเป็นรายละเอียดวิธีในการประมวลผลรูปภาพเพื่อให้ได้ข้อมูลวัตถุตามที่ต้องการ วิธีการประมวลผลรูปภาพในบทนี้ จะนำไปใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยกล้องดิจิตัลในบทที่สี่และการควบคุมแบบผสมระหว่างแรงและพารามิเตอร์รูปภาพในบทที่หก บทที่สี่เกี่ยวข้องกับการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบกล้องดิจิตัล ซึ่งจะอธิบายถึงวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้อย่างละเอียด และแสดงผลลัพธ์ในการทดสอบกับหุ่นยนต์แบบต่างๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นจุดเด่นของวิธีการ ทั้งในเรื่องของโครงสร้างที่ง่าย และไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ สามารถนำไปใช้ได้กับหุ่นยนต์ทั่วไป บทที่ห้าเกี่ยวข้องกับการควบคุมแรงของหุ่นยนต์ ซึ่งแสดงรายละเอียดผลลัพธ์ในการศึกษาทดลองควบคุมแรงของหุ่นยนต์ด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้เข้าใจวิธีในการควบคุมแรงอย่างลึกซึ้งและผลสรุปที่ได้ บทที่หกเป็นเรื่องของการควบคุมแบบผสมระหว่างแรงกับพารามิเตอร์รูปภาพ ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีในปัจจุบันและวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งแสดงผลลัพธ์ในการทดสอบวิธีการที่นำเสนอกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม รวมถึงผลสรุปที่ได้จากการศึกษา บทที่เจ็ดเป็นบทสรุปของงานวิจัยในภาพรวมและงานวิจัยต่อเนื่อง