สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันระบบการควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control) หรือเรานิยมเรียกว่า " ซีเอ็นซี " นั้น ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการความเที่ยงตรง แม่นยำและความสม่ำเสมอของคุณภาพของชิ้นงาน คอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของเครื่อง ช่วยและเพิ่มผลผลิต แม้กระทั่งในสถาบันการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นระดับอุดมศึกษาหรือระดับอาชีวศึกษา ก็ได้ใช้ประโยชน์และบรรจุรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ไว้ในหลักสูตร

ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์ องค์ประกอบและโครงสร้างของโปรแกรมเอ็นซี การควบคุมการเคลื่อนที่ในระบบเอ็นซี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การควบคุมเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์

การควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์ เป็นระบบควบคุมคำสั่งเชิงตัวเลขและตัวอักษรด้วยคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เก็บข้อมูลหรือช่วยในการป้อนข้อมูลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขโปรแกรม ระบบซีเอ็นซีมีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 5 ส่วนคือ

2.1.1 ส่วนที่เป็นโปรแกรมสั่งงาน (Part program)

โปรแกรมสั่งงานในระบบซีเอ็นซีจะมีลักษณะเป็นแถว โดยในแต่ละแถวจะมีรหัสคำสั่ง (NC code) ที่เขียนไว้ในรูปแบบของตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์ ซึ่งรหัสคำสั่งในแต่ละแถวนี้จะแทนตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดบนเครื่องจักรซีเอ็นซี เพื่อใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นส่วน

2.1.2 ส่วนที่ใช้ป้อนข้อมูลของโปรแกรม (Program input device)

การป้อนข้อมูลของโปรแกรมในเครื่องจักรซีเอ็นซีที่เป็นแบบซอฟต์ไวร์ (Soft wire) นั้นจะใช้วิธีการป้อนโปรแกรมเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ชุดควบคุมการทำงานของครื่อง (MCU) ด้วยสายส่งสัญญาณ (Interface bus) เช่น RS-232-C โดยที่เราไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องอ่านเทปเพื่อแปลรหัสคำสั่งเหมือนกับเครื่องในระบบเอ็นซี

2.1.3 หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง (Machine Control Unit)

หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่องหรือ MCU มีหน้าที่อ่านและตีความหมายของคำสั่งที่ส่งมาจากส่วนป้อนข้อมูลของโปรแกรม หลังจากนั้นก็จะแปลงเป็นสัญญาณเพื่อไปควบคุมการขับเคลื่อนของเครื่องจักรซีเอ็นซีต่อไป

หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่องแบ่งออกเป็น 2 ส่วนสำคัญๆ คือ ส่วนที่ทำหน้าที่อ่านโปรแกรม (Data Processing Unit : DPU) เช่น เครื่องอ่านเทปกระดาษ เครื่องอ่านเทปแม่เหล็ก หรือ RS-232-C เป็นต้น และส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี (Control Loop Unit : CLU) เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน การเคลื่อนที่ของแนวแกน การเปลี่ยนเครื่องมือตัด การเปิด/ปิดน้ำหล่อเย็น เป็นต้น

2.1.4 ส่วนที่เป็นระบบควบคุมการเคลื่อนที่ (Drive system)

การควบคุมการขับเคลื่อนในระบบซีเอ็นซีแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ ใช้มอเตอร์แบบเป็นขั้น (Stepping motor) ใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบเซอร์โว (DC servo motor) ใช้มอเตอร์กระแสตรงแบบโซเวอร์ที่ไม่มีแปรงถ่าน (Brushless DC Servo motor) หรือบางครั้งเรียกว่า AC servo motor นอกจากนั้นก็อาจจะใช้ระบบขับเคลื่อนเป็นแบบไฮดรอลิก โดยใช้มอเตอร์ไฮดรอลิกแบบเซอร์โว (Hydraulic servo motor)

2.1.5 เครื่องจักรกล (Machine tool)

เครื่องจักรที่ถูกออกแบบมาเพื่อถูกควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซีจะมีระบบการควบคุมสองลักษณะ คือแบบวงรอบเปิดและแบบวงรอบปิด หรือการผสมผสานระหว่างแบบวงรอบปิดและแบบวงรอบเปิด โดยเครื่องจักรที่ควบคุมแบบวงรอบเปิดจะมีสัญญาณส่งไปที่มอเตอร์ ทำให้โต๊ะจับชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามที่โปรแกรมไว้ ซึ่งการควบคุมด้วยระบบนี้จะไม่มีระบบตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับ (Feedback system) ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าสัญญาณที่ส่งมานั้นได้ทำแล้วหรือยังหรือมีข้อผิดพลาดอย่างไร ส่วนการควบคุมแบบวงรอบปิดจะมีการตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับเมื่อโต๊ะหรือเครื่องมือตัดเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่โปรแกรมไว้ ก็จะมีสัญญาณจับเพื่อควบคุมให้โต๊ะจับชิ้นงานหรือเครื่องมือตัดหยุด

2.2 องค์ประกอบและโครงสร้างของโปรแกรมเอ็นซี

2.2.1 องค์ประกอบของโปรแกรม

โปรแกรมเอ็นซี (NC Program) จะมีลักษณะเหมือนโปรมแกรมคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยประกอบด้วยหลายบรรทัด ในแต่ละบรรทัดประกอบด้วยคำสั่งต่างๆ ที่ใช้กำหนดหน้าที่การทำงานของเครื่องจักรโดยอาศัยชุดควบคุมเครื่อง ในโปรแกรมเอ็นซีจะใช้รหัสอยู่ 3 ชนิดคือ หมายเลข (Numbers) , ตัวอักษร (Character) และสัญลักษณ์ (Symbols) ซึ่งรหัสเอ็นซี ประกอบด้วย

- ตัวอักษร (Character) ในโปรแกรมเอ็นซีนี้จะใช้ตัวอักษรเพื่อกำหนดลักษณะการทำงานหรือกำหนดเงื่อนไขต่างๆ โดยตำแหน่งของตัวอักษร นี้จะกำหนดไว้ที่ด้านหน้าของแต่ละคำ (Word)

- คำ (Word) หมายถึงกลุ่มของตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่กำหนดกันขึ้นเพื่อใช้กำหนดเงื่อนไขในการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี เช่น

  N10 หมายถึงหมายเลขบรรทัดของโปรแกรม

  G01 หมายถึงการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตามอัตราป้อน

  X1.0 หมายถึงระยะการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X เท่ากับ 10 หน่วย

- บล็อก (Block) หมายถึงการนำจำนวนคำ (Word) หลายๆ คำมาประกอบกันเป็นคำสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี ยกตัวอย่างเช่น

N01 G90 G54 G17	บล็อกที่ประกอบด้วยจำนวนคำ 4 คำ
N10 T01 M06	บล็อกที่ประกอบด้วยจำนวนคำ 3 คำ
N15 G01 X2.0 Y1.5 F7.5	บล็อกที่ประกอบด้วยจำนวนคำ 5 คำ

- โปรแกรม (Program) หมายถึงการรวมกันของบล็อกหลายๆ บล็อกที่เขียนขึ้นตามลำดับขั้นตอนในการตัดเฉือนชิ้นงานตามที่เรากำหนดไว้ ในโปรแกรมนั้นจะประกอบด้วยคำสั่งเกี่ยวกับการทำงานและคำสั่งช่วยในการทำงาน ตัวอย่างคำสั่งในการทำงาน เช่น คำสั่งเคลื่อนที่เร็ว (G00) คำสั่งเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (G01) เป็นต้น ส่วนคำสั่งช่วยในการทำงานนั้นจะประกอบไปด้วยตำแหน่งที่เคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด (Coordinate) ความเร็วรอบของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด (Spindle speed) อัตราป้อน (Feed rate) การชดเชยรัศมีของเครื่องมือตัด (Cutter radius compensation) เป็นต้น

จากที่กล่าวมาแล้วว่าในแต่ละบล็อกประกอบด้วยหลายคำ ในแต่ละคำประกอบด้วยหนึ่งตัวอักษรภาษาอังกฤษหรือเรียกว่า " โค้ด " (Code) ซึ่งเป็นคำสั่งให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ทำงานในลักษณะที่ต้องการ แล้วตามด้วยตัวเลข (Numbers) สำหรับประกอบการสั่งการหรือการทำงานนั้นๆ โค้ดต่างๆ ที่ใช้ในเอ็นซีโปรแกรม สามารถแยกได้ 3 ประเภท คือ 1. โค้ดคำสั่งการควบคุมโปรแกรม (Program Control Instructions) 2. โค้ดคำสั่งทางเรขาคณิต (Geometric Instructions) 3. โค้ดคำสั่งทางเทคนิค (Technical Instructions)

โดยคำสั่งการควบคุมโปรแกรมเกี่ยวข้องกับการกำหนดลำดับขั้นตอนการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลซีอ็นซี ได้แก่ N ส่วนคำสั่งทางเรขาคณิตเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรเพื่อให้ได้รูปทรงทางเรขาคณิตของชิ้นงานที่ต้องการ ได้แก่ G, X, Y, Z, I, J, K เป็นต้น และคำสั่งทางเทคนิคเป็นการควบคุมทางเทคนิคของการทำงานของเครื่องจักร ได้แก่ M, F, S และ T เป็นต้น

2.2.2 จีโค้ด (G Code) และเอ็มโค้ด (M Code)

- เอ็มโค้ด (M Code)

คำสั่งที่เครื่องจักรกลซีเอ็นซี ต้องใช้ในกระบวนการแมชชีนต่างๆ เช่น การให้สปินเดิลหมุนในทิศที่ต้องการ การเปลี่ยนทูล การใช้น้ำหล่อเย็น การหยุดสปินเดิล และการหยุดโปรแกรม เป็นต้น โดยคำสั่งเหล่านี้กำหนดให้ใช้เป็น โค้ดเอ็ม

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างเอ็มโค้ดพื้นฐานของเครื่องกลึงและเครื่องกัด

M-Code พื้นฐาน	
โค้ด	คำสั่ง
M00	หยุดโปรแกรมชั่วคราว แล้วจะทำงานต่อเมื่อกดสวิทช์สั่ง
M01	หยุดโปรแกรมเมื่อต้องการ (Optional stop) โดยเมื่อจะให้หยุดต้องกดปุ่ม Optional stop ที่ แผงควบคุมของคอนโทรลเลอร์
M03 M04	ให้สปินเดิลหมุนตามเข็มนาฬิกา ให้สปินเดิลหมุนทวนเข็มนาฬิกา
M05	หยุดหมุนสปินเดิล
M06	สลับเปลี่ยนทูล
M07 M08	เปิดให้น้ำหล่อเย็น (Coolant 2) ให้ไหลเป็นละออง (Mist) เปิดให้น้ำหล่อเย็น (Coolant 1) ให้ไหลท่วมทูล (Flood)
M09	ปิดการไหลของน้ำหล่อเย็น
M13 M14	ให้สปินเดิลหมุนตามเข็มนาฬิกาและเปิดให้น้ำหล่อเย็น ให้สปินเดิลหมุนทวนเข็มนาฬิกาและเปิดให้น้ำหล่อเย็น
M30	จบโปรแกรมแล้วกลับไปบล็อกแรกหรือที่เริ่มต้นโปรแกรม

- จีโค้ด (G Code)

เป็นคำสั่งที่ทำให้ระบบควบคุมหรือคอนโทรลเลอร์สั่งการให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีทำการแมชชีนให้เป็นรูปทรงเรขาคณิตตามความต้องการ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างจีโค้ดพื้นฐานของเครื่องกลึงและเครื่องกัด[8]

G-Code พื้นฐาน	
โค้ด	คำสั่ง
G00	การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งด้วยความเร็วฟีดสูงสุด โดยไม่โดนชิ้นงาน หรือวิ่ง "แรพพิด" (Rapid)
G01	การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงลึกเข้าไปในชิ้นงานด้วยความเร็วฟีดที่กำหนด
G02	การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งวงกลมลึกเข้าไปในชิ้นงานด้วยความเร็วฟีดที่กำหนดในทิศทางตามเข็มนาฬิกา
G03	การเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้งวงกลมลึกเข้าไปในชิ้นงานด้วยความเร็วฟีดที่กำหนดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
G04	หยุดการเคลื่อนที่ในระยะเวลาที่กำหนด หรือ ดะเวลล์ (Dwell)
G17	ระบบอ้างอิงระนาบทำงาน ระนาบ XY
G18	ระบบอ้างอิงระนาบทำงาน ระนาบ XZ
G19	ระบบอ้างอิงระนาบทำงาน ระนาบ YZ
G20/G70 G21/G71	ระบบอ้างอิงหน่วยของระยะการเคลื่อนที่เป็น นิ้ว (Inch Unit) ระบบอ้างอิงหน่วยของระยะการเคลื่อนที่เป็น มิลลิเมตร (Metric Unit)
G80 G81 – G83	ยกเลิกไซเคิล (Cycle) ต่างๆ ไซเคิลการเจาะรู (Drilling cycle) ต่างๆ
G84 G85 – G88	ไซเคิลการทำเกลียว ไซเคิลการคว้านรู (Boring cycle) ต่างๆ
G90 G91	ระบบอ้างอิงการเคลื่อนที่แบบสัมบูรณ์ (Absolute) ระบบอ้างอิงการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ (Incremental)
G94 G95	ให้ค่าฟีดเป็น มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)หรือ นิ้วต่อนาที (inch/min) ให้ค่าฟีดเป็น มิลลิเมตรต่อรอบ (mm/rev)หรือ นิ้วต่อรอบ (inch/rev)
G98 -99	ไม่ได้ใช้ใน ISO6983 และRS-274D

นอกจากการแบ่งจีโค้ดตามความหมายของคำสั่งแล้ว ยังสามารถแบ่งจีโค้ดในอีก 2 ลักษณะ คือ จีโค้ดที่แสดงผลในหนึ่งบล็อก (One-shot G code) เช่น G04 และจีโค้ดที่แสดงผลจนกว่าจะมีโค้ดในกลุ่มเดียวกันปรากฏ หรือจีโค้ดนั้นถูกยกเลิก (Modal G code) เช่นโค้ดกลุ่มคำสั่งการเคลื่อนที่ (G00-G03) เป็นต้น

2.1.3 โค้ดอื่นๆ ในคำ (Word)

โค้ดในแต่ละคำ นอกเหนือจาก G-Code และ M-Code แล้วยังประกอบด้วยโค้ดอื่นๆ อีก 7 ประเภท คือ 1. เลขที่บล็อก (เลขบรรทัด) : N 2. ตำแหน่ง หรือระยะทางความยาว : X, Y และ Z 3. ตำแหน่งจุดศูนย์กลางวงกลม : I, J และ K 4. ความเร็วสปินเดิลและความเร็วตัด : S และ V 5. ความเร็วฟีด : F 6. เลขที่ทูล : T 7. อื่นๆ : B, D และ O เป็นต้น

- เลขที่บล็อก (Block Number, Sequence Number) : N

เลขที่บล็อกหรือลำดับคำสั่งต่างๆ จะเริ่มด้วยตัวอักษร N ตามด้วยตัวเลข (0 ถึง 9) จำนวนตัวเลขอาจมีเพียง 3 ตัว (3 หลัก) หรือสูงสุด 999 บล็อก (N001 ถึง N999) ซึ่งใช้ในคอนโทรลเลอร์ยุคแรกๆ เนื่องจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในยุคนั้นมีหน่วยความจำน้อย ในปัจจุบันเลขที่บล็อกในคอนโทรลเลอร์สามารถกำหนดได้ถึง 5 หลักหรือมากกว่า ทำให้สามารถรับโปรแกรมขนาดใหญ่ของชิ้นงานที่ซับซ้อนที่ทำจากซอฟท์แวร์ CAD/CAM ได้ การกำหนดเลขที่บล็อกสามารถเริ่มจากเลข 1, 2, 3, 4 . หรือเพิ่มไปยังบล็อกถัดไปครั้งละหนึ่ง ซึ่งมีข้อเสีย คือ ทำให้ลำบากต่อการแก้ไขโปรแกรมโดยเฉพาะในการแทรกบล็อก ดังนั้นลำดับที่ใช้จึงนิยมให้เพิ่มครั้งละ 5 หรือเพิ่มครั้งละ 10

ในคอนโทรลเลอร์บางรุ่น เลขที่บล็อกไม่จำเป็นต้องกำหนดให้ทุกๆ บรรทัดแต่จะกำหนดเฉพาะ บล็อกที่ใช้อ้างอิงถึงในโปรแกรมย่อย (Subprogram) ดังนั้นจึงควรศึกษาคู่มือการโปรแกรมของแต่ละคอนโทรลเลอร์และของแต่ละรุ่น

- ตำแหน่ง หรือ ระยะทาง (Dimension) : X Y Z

การเคลื่อนที่ของทูลจากตำแหน่งปัจจุบันไปยังตำแหน่งที่ต้องการในแนวเส้นตรงหรือเส้นโค้งวงกลม (Arc) สามารถระบุได้โดยใช้ ตัวเลข (0 ถึง 9) ตามท้ายแกน X, Y และZ โดยมีเครื่องหมาย บวก (+) และ ลบ (-) นำหน้าตัวเลขเพื่อบอกทิศทางตามแกนนั้นๆ โค้ดที่ต้องกำหนดค่า X, Y และZ ได้แก่ G00, G01, G02 และ G03 เป็นต้น

คอนโทรลเลอร์ ส่วนมากสามารถป้อนตัวเลขได้ 4 หลัก และจุดทศนิยม 3 ตำแหน่ง ดังนั้น ถ้าใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm.) ในกรณีนี้ ค่าต่ำสุดที่เคลื่อนที่ได้ (Resolution) คือ 0.001 ม.ม. ในกรณีหน่วยเป็น นิ้ว จุดทศนิยมที่ใช้จะมี 4 ตำแหน่ง หรือโปรแกรมให้เคลื่อนที่ได้ระยะทางต่ำสุดได้ครั้งละ 0.0001 นิ้ว

คอนโทรลเลอร์ของบางบริษัทจะไม่ใช้จุดทศนิยมแทรก เช่น ในกรณีที่ใช้หน่วยเมตริก เป็นมิลลิเมตร เมื่อต้องการให้เคลื่อนที่ไปในแนวแกน X เป็นระยะ 425.22 ม.ม. และ Y เป็นระยะ –78.936 ม.ม. ดังนั้นเวิร์ดที่ต้องป้อนสำหรับคอนโทรลเลอร์ที่ไม่ใช้จุดทศนิยม คือ X 425220 Y –78936 สำหรับในคอนโทรลเลอร์ประเภทนี้ถ้าป้อนเป็น X 42522 (ไม่มีเลขศูนย์ตามท้าย) จะทำให้ระยะทางเป็น 42.522 ม.ม. ซึ่งไม่ถูกต้อง ดังนั้นคอนโทรลเลอร์ประเภทนี้จึงจำเป็นต้องป้อนตัวเลขให้ครบทุกหลัก

- ตำแหน่งจุศูนย์กลางของวงกลม : I J K

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมและของส่วนโค้งของวงกลม (Arc) ใช้โคออร์ดิเนต I, J, และK การบอกตำแหน่งใช้ตัวเลขตามท้ายโคออร์ดิเนต ดังเช่น โคออร์ดิเนต I เป็นแกนที่ขนานกับแกน X, J ขนานกับแกน Y และK ขนานกับแกน Z จีโค้ดที่ใช้คือ G02 และG03

- ความเร็วสปินเดิล (Spindle speed) : S

ความเร็วสปินเดิล คือความเร็วรอบของสปินเดิล ใช้ตัวอักษร S ตามด้วยตัวเลข เช่น S1500 หมายถึงให้ความเร็วสปินเดิลเป็น 1500 รอบต่อนาที ความเร็วสปินเดิลจะนิยมเรียกสั้นๆ ว่า "สปีด" (Speed)

- ความเร็วฟีด (Feed rate) : F

ความเร็วฟีด คือความเร็วของการเคลื่อนที่ของทูลในขณะแมชชีนชิ้นงาน หรือเคลื่อนที่ลึกลงไปในชิ้นงานเพื่อกัดหรือกลึงเอาเนื้อชิ้นงานออก หน่วยของความเร็วฟีด สามารถกำหนดได้เป็น มม./ นาที (mm/min) หรือ นิ้ว/ นาที (inch/min) สำหรับการกัดและการเจาะคำสั่งที่ใช้คือ G54 และมม./รอบ (mm/rev) หรือ นิ้ว/รอบ (inch/rev) สำหรับการกลึง คำสั่งที่ใช้คือ G95

- เลขที่ทูล : T

เลขที่ทูล สำหรับการเลือกใช้ทูลในเครื่องแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ และเครื่องกลึงซีเอ็นซี ใช้ตัวอักษร T ตามด้วยตัวเลข โดยทั่วไปใช้ร่วมกับโค้ดการเปลี่ยนทูล (M06)

2.3 การควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในระบบเอ็นซี

การควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดในระบบเอ็นซีแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง (Point to Point) และการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (Continuous Path)

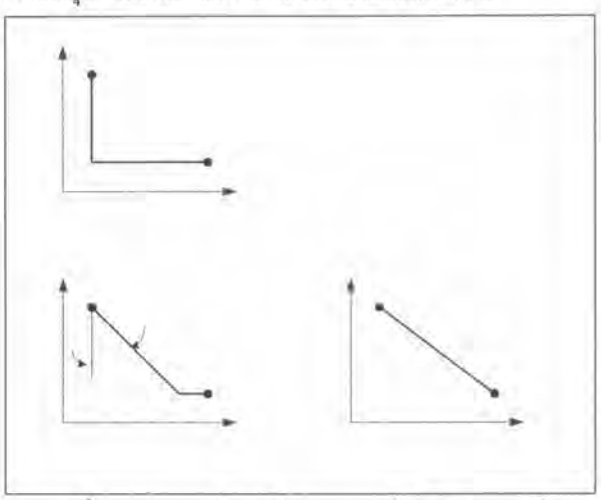
2.3.1 การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง (Point to Point)

ระบบควบคุมแบบนี้จะควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างจุดสองจุดที่โปรแกรมไว้ในลักษณะเคลื่อนที่เร็ว (Rapid traverse) โดยที่เครื่องมือจะไม่สัมผัสชิ้นงาน เช่น เคลื่อนที่เพื่อทำการเจาะรู ในการเคลื่อนที่อาจเลือกเดินไปในเส้นทางใดก็ได้ใน 3 เส้นทาง แล้วแต่การควบคุม

- ทางเดินแนวแกน (Axial Path) เครื่องมือเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากขนานกับแกนหลัก ทั้ง 2 แกน แกน X และ Y ในการควบคุมชนิดนี้ ตัวควบคุมจะกำหนดให้เครื่องมือเคลื่อนที่ไปตามแนวแกนใดแกนหนึ่งก่อนจึงเคลื่อนที่ไปในแนวของอีกแกนหนึ่ง ทำให้เคลื่อนที่ช้าที่สุด แต่ระบบควบคุมไม่ซับซ้อน

- ทางเดินแนวเส้น 45 องศา เครื่องมือจะเคลื่อนตัวทำมุม 45 องศา จนถึงอีกจุดตัดหนึ่ง แล้วจึงเคลื่อนที่ต่อไปตามแนวของแกนที่ขนานอยู่จนถึงจุดสิ้นสุด ทางเดินแบบนี้เป็นแบบที่พบเห็นได้บ่อยที่สุดในการควบคุมแบบจุดต่อจุด

- ทางเดินเส้นตรง ในระบบควบคุมชนิดนี้ตัวควบคุมมีความสามารถที่จะตั้งค่าการเคลื่อนที่ในแกน X และ Y ให้เป็นไปพร้อมกัน เพื่อให้เกิดจุดตัดที่จะทำให้เกิดแนวเดินที่เป็นเส้นตรงขึ้น วิธีนี้ทำให้ได้เส้นทางที่เร็วที่สุดระหว่างจุดสองจุด แต่วิธีนี้ต้องใช้อุปกรณ์ที่ซับซ้อนเพื่อสร้างความเร็วในการกำหนดจุดของแต่ละแกนเพื่อรักษาเส้นตรงไว้



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง

งานปกติของระบบควบคุมแบบจุดต่อจุด คือ การเจาะ การคว้าน การตัดเกลียว และการเจาะรูโลหะแผ่น การปฏิบัติงานมักจะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนต่อไปนี้

- ปรับตำแหน่ง เครื่องมือเคลื่อนที่ไปตามแกนสู่ศูนย์กลางของตำแหน่งที่ต้องการเจาะรูโดยไม่มีการปฏิบัติงานใดๆ เพียงเคลื่อนไปสู่ตำแหน่งที่ถูกต้องเท่านั้น

- เครื่องจักรทำงาน การทำงานของเครื่องจักรมักเกิดที่แกน Z โดยการทำงานดำเนินไปตามความเร็วของเพลา อัตราป้อน และความลึกที่กำหนด

- การถอยกลับ เมื่อเครื่องมือทำการเจาะถึงความลึกที่ต้องการแล้ว เครื่องมือจะถอนตัวกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น

- ซ้ำรอบการทำงาน เมื่อเจาะตำแหน่งที่หนึ่งเสร็จเครื่องมือจะเลื่อนสู่ตำแหน่งใหม่และทำงานตามลำดับขั้นตอนเดิมจนงานเสร็จสมบูรณ์

2.3.2 การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่อง (Continuous Path)

ระบบควบคุมแบบต่อเนื่อง หรือระบบการเดินตามเส้นขอบ ระบบการเดินตามเส้นขอบ (Contouring System) เป็นการเคลื่อนที่ในหลายแนวแกนพร้อมกันซึ่งจะมีเงื่อนไขของทางเดิน เช่น เส้นตรงหรือเส้นโค้ง ระบบนี้สามารถที่จะควบคุมการขับมอเตอร์โดยอิสระจากกันด้วยความเร็วต่างกัน ในเส้นทางที่กำหนดจนกว่าจะถึงจุดที่กำหนด โดยการหมุนแกนทั้ง 2 แกนหรือมากกว่านั้นไปพร้อมๆ กัน ระบบเส้นรอบรูปจะมีความซับซ้อนมากกว่าจุดต่อจุด เพราะว่าแต่ละแกนของการเคลื่อนที่ ต้องการตำแหน่ง และความเร็วต่างกัน ระบบการเดินตามเส้นขอบนั้นสามารถที่จะสร้างเส้นทางเดินให้เครื่องมือเคลื่อนที่ได้ในรูปร่างต่างๆ ทั้ง 2 แกน 3 แกน บางระบบมี 4 หรือ 5 แกน ซึ่งคอนทัวริ่ง (Contouring) ตามนิยามของเส้นทางเดินของเครื่องมือ คือ วิถีตามเส้นทางที่ระบบสร้างชุดของจุดที่อยู่ระหว่างตำแหน่งของพิกัดที่กำหนดมาให้

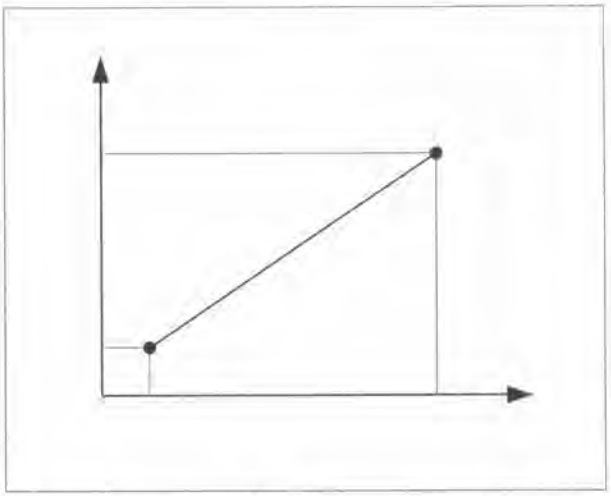
เส้นทางเดินซีเอ็นซี (CNC Interpolation) ตัวกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องมือ คือ อุปกรณ์อิเลคทรอนิคหรือ โปรแกรมซอฟแวร์ ที่มาหน้าที่ 2 อย่างคือ คำนวณความเร็วของเครื่องมือตามแนวแกนของแต่ละแกน ตามที่ให้อัตราป้อนมาและสร้างพิกัดตามเส้นทางเดินของโปรแกรม ทางเดินของเครื่องมือสามารถจำแนกได้ 5 แบบ คือ เส้นตรง เส้นโค้ง เกลียว (Helical) พาราโบลา และลูกบาศก์ เครื่องซีเอ็นซีส่วนใหญ่จะใช้ทางเดินแบบเส้นตรงและเส้นโค้ง

- เส้นทางเดินแบบเส้นตรง (Linear Interpolation)

เส้นทางเดินแบบเส้นตรง เครื่องมือจะเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายเป็นเส้นตรง เส้นทางเดินแบบเส้นตรงต้องการตัวแปร 3 ตัว คือ จุดเริ่มต้น จุดสุดท้าย และความเร็ว

สำหรับการเคลื่อนที่ในลักษณะของ 2 แนวแกน เส้นทางเดินแบบเส้นตรงจะวัดความเร็วในรูปของพัลซ์ต่อวินาทีสำหรับแกน X และ Y ในแต่ละแนวแกนจะมีอัตราส่วนความเร็ว

ของแกน X และ Y เท่ากับอัตราส่วนของระยะทางแบบต่อเนื่อง $\frac{dx}{dy}$ ตัวอย่างเช่น เส้นตรงระหว่างจุด S และ E



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และY จากจุด S ไปจุด E

จากรูปที่ 2.2 ระยะทางแบบต่อเนื่องตามแนวแกน X และ Y คือ 4 และ 2 หน่วย ดังนั้นการเคลื่อนที่จะพร้อมกัน และหยุดที่จุด 4 และ 2 พัลซ์ (หรืออัตรา 2 : 1) เพื่อควบคุมลูปของแกน X และ Y

ในการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน จะคำณวนระยะทางแบบต่อเนื่อง dx, dy และ dz ตาม X,Y และ Z จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสุดท้าย มี 3 ระยะทางแบบต่อเนื่องเข้ามาเกี่ยวข้อง และกลายเป็นการป้อนตำแหน่งโดยตรงในลูปควบคุม พิจารณาที่ตัวอย่าง เพื่อที่จะเคลื่อนที่จากจุด S ถึง E ระยะทางแบบต่อเนื่องสำหรับตำแหน่งควบคุมคือ

$$dx = 4\text{-}1 = 3$$

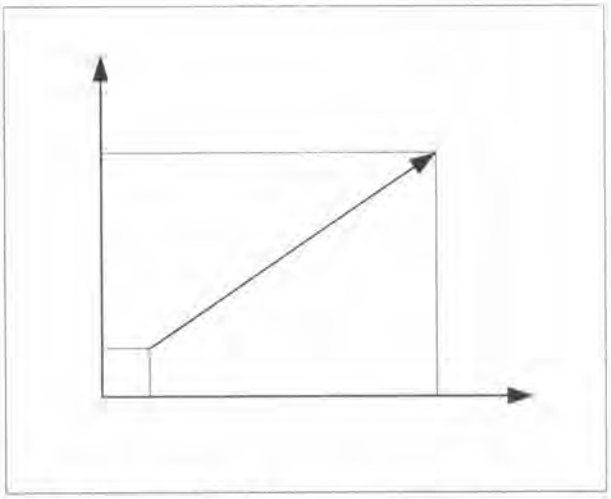
$$dy = 4\text{-}2 = 2$$

$$dz = 9\text{-}3 = 6$$

และอัตราสำหรับควบคุมความเร็ว คือ

$$Vx:Vy:Vz = dx:dy:dz = 3:2:6$$

การสร้างคำสั่งทางเดินของชุดเคลื่อนที่ จำเป็นต้องควบคุมความเร็วให้คงที่ในขณะที่เคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนด วิธีการสร้างโดยใช้ความเร็วคงที่จะแบ่งระยะทางที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งด้วยระยะทางที่มีขนาดเท่าๆกันหลายจุดต่อกัน



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของแกน Xและ Yด้วยความเร็ว V

ในกรณีที่ต้องการเคลื่อนที่พร้อมกัน 2 แกน หรือเส้นทางที่เคลื่อนที่มีลักษณะไม่ขนานกับแกนใดแกนหนึ่ง เราสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 2.3 กำหนดให้เส้นทางการเคลื่อนที่เริ่มจากจุด x_0, y_0 เคลื่อนไปด้วยความเร็ว Vเป็นเส้นตรงไปยังจุด x_f, y_f เมื่อ T คือ อัตราสุ่มเวลา สามารถหาจำนวนจุดในการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$N = \frac{\left[(x_f - x_0)^2 + (y_f - y_0)^2\right]^{1/2}}{VT} \tag{2.1}$$

จะได้ระยะเคลื่อนที่แต่ละช่วงเวลาการสุ่ม หรือแต่ละจุดดังนี้

$$\Delta x = \frac{(x_f - x_0)}{N} \tag{2.2}$$

$$\Delta y = \frac{(y_f - y_0)}{N} \tag{2.3}$$

ชุดคำสั่งที่ใช้ในการเคลื่อนที่

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x \tag{2.4}$$

$$y_n = y_{n-1} + \Delta y \tag{2.5}$$

ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ตามทางเดินมีความเร็วคงที่ตามที่กำหนดไว้ตลอดระยะทาง

2.4 งานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ธเนศ เรื่องธุระกิจ [1]

โครงการวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาถึงการนำทฤษฎีการควบคุมแบบดิจิตอล มาใช้กับโต๊ะเคลื่อนที่ในระบบคาทีเซี่ยนและใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม โดยเพิ่มส่วนการเคลื่อนที่ในแนวแกนแซด และมีอุปกรณ์วัดแบบเลเซอร์ที่มีความละเอียดสูง เพื่อทำการติดตามคอนทัวร์ของชิ้นงานโดยใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ในแนวแกนเอ็กซ์ และวาย ที่สร้างขึ้นในแบบต่างๆ ด้วยความเร็วที่กำหนด การเคลื่อนที่ในแนวแกนแซด จะควบคุมระยะห่างระหว่างหัววัดกับผิวของชิ้นงานให้คงที่ ซึ่งทำให้ได้ตำแหน่งของชิ้นงานในลักษณะ 3 มิติ ข้อมูลสามารถนำไปสร้างชิ้นงานที่มีรูปร่างและขนาดใกล้เคียงกันได้

2.4.2 วันชัย ธีรพัฒน์พร [2]

โครงการวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาลักษณะโครงสร้างของรหัสภาษาเอชพีจีแอล ซึ่งได้มาจากการกำหนดขนาดแบบร่างต่างๆ ลงบนโปรแกรมสำเร็จรูปออโต้แคด แล้วสั่งข้อมูลออกทางแฟ้มข้อมูลการพิมพ์ (Plot to file) ซึ่งลักษณะโครงสร้างของแฟ้มข้อมูลที่ได้นั้น จะมีรูปแบบโครงสร้างตามหลักเกณฑ์ของโครงสร้างรหัสภาษาเอชพีจีแอล แล้วนำมาผ่านการถอดรหัส โดยโปรแกรมถอดรหัสเอชพีจีแอลที่จัดทำขึ้น เพื่อแปลงรหัสเอชพีจีแอลมาเป็นพิกัดตำแหน่งอ้างอิงเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมโต๊ะเอ็กซ์วายแซดต่อไป

2.4.3 ณวัชร์ พงศ์พานิช [3]

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่แสดงการจำลองการทำงานของเครื่องกลึงซีเอ็นซีบนคอมพิวเตอร์ โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของตัวแปลภาษา โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนรับข้อมูลจากผู้ใช้ ส่วนตรวจสอบไวยากรณ์ของชุดคำสั่ง และส่วนแสดงผลเป็นภาพเคลื่อนไหว 2 มิติ และโปรแกรมได้รับการออกแบบโดยพิจารณาให้มีระบบช่วยเหลือเพื่อช่วยให้ผู้ใช้ที่เริ่มใช้โปรแกรมสามารถใช้โปรแกรมและเขียนชุดคำสั่งได้อย่างรวดเร็ว

2.4.4 Dong-Il Kim; Sungkwun Kim [4]

เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำตัวควบคุมพีไอดีมาใช้ควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ซึ่งต้องการความแม่นยำ และความแม่นตรง ว่าสามารถทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ที่ต้องการ กับ

เส้นทางการเคลื่อนที่เคลื่อนที่จริงมีค่าความผิดพลาดลู่เข้าหาศูนย์หรือไม่ ในข้อจำกัดว่าไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ของระบบ และมีสิ่งรบกวนที่ไม่ทราบรูปแบบเข้ามารบกวน

2.4.5 Masood, T.; Mubashar, A.; Jawad Khan, M.A. [5]

เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบโปรแกมควบคุมเครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยงานวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนการจำลองการทำงานแบบ 2 มิติ และส่วนที่ใช้ติดต่อกับเครื่องซีเอ็นซี ซึ่งความสามารถของโปรแกรมคือจะมีการสร้างเส้นทางเดินซีเอ็นซี 2 แบบ คือเส้นทางเดินแบบเส้นตรง และเส้นทางเดินแบบวงกลม แสดงภาพภาพการเคลื่อนที่ในขณะทำงานจริง วงจรทางการควบคุมใช้วงจรไม่ยุ่งยาก และส่งผ่านข้อมูลทางพอร์ตขนาน

2.4.6 Eun-Chan Park; Hyuk Lim; Chong-Ho Choi [6]

เป็นงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของโต๊ะเอ็กซ์วายในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วแบบกลับทิศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วแบบกลับทิศนี้จะมีผลกับแรงเสียดทานและทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงทำการทดลองโดยเพิ่มการชดเชยความเสียดทานที่เกิดขึ้นก่อนการเคลื่อนที่

2.4.7 นายกฤษณันท์ มะลิทอง [7]

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแปลเอ็นซีโค้ด (NC-Code) ซึ่งเป็นรหัสคำสั่งที่ป้อนให้กับเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยโปรแกรมพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio .NET 2003 บนระบบปฏิบัติการ Windows 2000 โปรแกรมมีลักษณะตัวแปลภาษา (Interpreter) แปลรหัสคำสั่งที่อยู่ในรูปเท็กซ์ไฟล์ (Text file) โดยมีการสร้างเส้นทางเดินแบบเส้นตรงและเส้นโค้ง (Linear and Circular Interpolation) เพื่อใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ และควบคุมชุดโต๊ะเอ็กซ์วายแซด ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ใช้ประมวลผล และควบคุมการทำงานของระบบ โดยสื่อสารผ่านการ์ดอินเตอร์เฟสเอนโคเดอร์ และ D/A เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของโต๊ะเอ็กซ์วายแซดที่ได้พัฒนามาแล้ว ในการทดสอบโปรแกรมทำโดยทดสอบการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและวงกลมจากการแปลเอ็นซีโค้ด และทดสอบการแปลเอ็นซีโค้ดที่สร้างจากโปรแกรม CATIA V5R14 และ Unigraphics V18.0

2.4.8 ทวี งามวิไลกร [8]

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบแขนกลเคลื่อนที่นำและแขนกลเคลื่อนที่ตามเพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบประกอบด้วยแขนกลแฮบติคแบบ 6 องศาอิสระที่มีโครงสร้างแบบขนานและแขนกลตามแบบ 5 องศาอิสระที่มีโครงสร้างแบบขนานในตระกูล เอช 4 แขนกลแฮบติคได้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อให้ใช้งานง่ายมีความคล่องตัวสูงและสามารถสร้างแรงสะท้อนกลับสู่ผู้ควบคุมได้ แขนกลตามได้ถูกปรับปรุงให้สามารถกัดเซาะชิ้นงานได้ ในงานวิจัยนี้แขนกลแฮบติคถูกใช้เป็นแขนกลเคลื่อนที่นำที่สามารถเก็บข้อมูลตำแหน่งของพื้นผิวของชิ้นงานที่ต้องการทำซ้ำ ข้อมูลตำแหน่งที่ได้จะถูกส่งไปที่แขนกลตามเพื่อให้แขนกลตามกัดเซาะชิ้นงานต้นแบบออกมา ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งทั้ง Forward Kinematics, Inverse Kinematics และความสัมพันธ์เชิงความเร็ว

2.4.9 นายกรรมมันต์ ชูประเสริฐ [9]

งานวิจัยนี้นำเสนอแขนกลแบบขนาน 5 แกนในตระกูลเอช-4 ซึ่งมีสามองศาอิสระในการเลื่อนตำแหน่งกับหนึ่งองศาอิสะในการหมุน พร้อมกับโต๊ะหมุนจับชิ้นงานอีกหนึ่งองศาอิสระเพื่อสนับสนุนงานด้าน Rapid Prototyping ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งทั้ง Forward Kinematics, Inverse Kinematics ,ความสัมพันธ์เชิงความเร็ว และ สมการพลวัตการเคลื่อนที่ซึ่งหาโดยวิธี ลากานต์ ทั้งหมดนี้ได้ถูกนำมาทดสอบโดยการควบคุมแบบป้อนกลับที่เป็น real time ผลการทดสอบแบบจำลองทางทางพลศาสตร์อันได้แก่ kinematics, Jacobian, และสมการพลวัตของแขนกล ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรม MATLAB และการใช้โปรแกรมคำนวณผล ADAMS จากแบบจำลองเสมือนแขนกล. แบบจำลองความแรงเสียดทานที่หาได้นำมาใช้ชดเชยความเสียดทานที่เกิดขึ้นจริงในระบบแขนกลเพื่อใช้ระบบควบคุมตำแหน่งแบบ resolved acceleration. สมการพลวัตย้อนกลับถูกนำมาใช้กับ4แกนของแขนกลเอชในส่วน feedback linearization. จากผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพของระบบติดตามตำแหน่งและระบบควบคุมแรงแบบอิมพิแดนด์ มีผลที่พอใจ และสามารถปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นโดยการเสริมโครงสร้างให้แข็งแรงและลดผลจากการคำนวณที่ซับซ้อน

2.4.10 ประสิทธิพร พงศ์วศิน [10]

งานวิจัยนี้เสนอเทคนิคการควบคุมเส้นทางเดินของแขนกล ซึ่งมีความสามารถในการทำงานที่มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจรู้ที่ส่วนปลายของแขนกล ในการงานวิจัยนี้จะใช้แขนกลที่มี 6 องศาอิสระ มาทำการควบคุมการทำงาน โดยจะศึกษาและพัฒนา

สมการทางคณิตศาสตร์ ต่างๆ ของแขนกล เช่น ฟอร์เวิร์สคิเนแมติกส์ อินเวิร์สคิเนแมติกส์ จาโคเบียน และสมการพลวัตสำหรับการควบคุมการทำงานของแขนกล ในการควบคุมได้ทำการ Simulation การควบคุมแบบ Inverse Dynamics Control และการควบคุมแรงทางอ้อมโดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบอิมพิแดนซ์ สำหรับการควบคุมแบบอิมพิแดนซ์จะทำการ Simulation โดยการปรับค่าของแรงสัมผัสที่ปลายของแขนกล และจะทำการ Simulation ใน Cartesian space เท่านั้น โดยที่แรงจะถูกป้อนเข้าไปในทิศทางเดียวกันกับปลายของแขน-กล จากนั้นจะทำการบันทึกค่าระยะขจัดของปลายของแขนกลเมื่อมีแรงมากระทำ ผลการ Simulation ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการประเมินค่าความยืดหยุ่นของแขนกล และผลการ Simulation ที่ได้แสดงให้เห็นว่าความยืดหยุ่นของแขนกลนั้นเป็นเชิงเส้น ซึ่งเริ่มต้นจาก 0 จนมีค่าประมาณ 2.5 มิลลิเมตร และเป็นไปตามรูปร่างของแรงสัมผัสจากภายนอกที่ใช้ในการ Simulation