บทที่ 4
ผลการดำเนินการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาวิจัยการสร้างระบบฐานความรู้ด้านเครื่องกัดอัตโนมัติเพื่อพัฒนาแรงงาน ฝีมือในภาคอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ ซึ่งมีผลการดำเนินงานเป็นดังนี้

4.1 ผลสำรวจข้อมูลการใช้เครื่องตัดแต่งอัตโนมัติ

ในการประเมินผลการสำรวจได้ทำการประเมินผลการสำรวจจากแบบสอบถามจำนวน 100 โรงงาน ในการประเมินผลได้ประเมินผลเป็นดังนี้

ประเภทอุตสาหกรรมที่ตอบแบบสำรวจ มากที่สุดได้แก่ประเภทอุตสาหกรรมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ คิดเป็น 41 % รองลงมาคือประเภทอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ คิดเป็น 24 % ดังแสดงในรูปที่ 4.1

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ตอบแบบสำรวจพบว่าปัญหาเกี่ยวกับเรื่องการบำรุงรักษาเครื่องจักร และปัญหาเกี่ยวกับโปรแกรม เกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็น 22 % รองลงมาคือปัญหาเกี่ยวกับเรื่องการ Set up เครื่องมือเครื่องจักรคิดเป็น 19 % ดังแสดงในรูปที่4.2

เมื่อพิจารณาการใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี ประเภทต่างๆในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ พบว่าในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์มีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติหลายประเภท เช่น เครื่องกัด (CNC Milling) เครื่องกลึง (CNC Turning) เครื่องอีดีเอ็ม (EDM) และเครื่องไวต์คัต (Wire Cut) และอื่นๆ ซึ่งปริมาณการใช้เครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) มากที่สุดคิดเป็น 64% รองลงมาเป็นเครื่องกลึงคิดเป็น 16 % และเครื่องอีดีเอ็ม (EDM) คิดเป็น 10% ของเครื่องจักรอัตโนมัติทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ ดังในรูปที่ 4.3

จากข้อมูลข้างต้นจึงทำการศึกษาเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling) ที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์และเป็นเครื่องจักรที่มีการนำเข้าจากต่างประเทศเพื่อมาใช้ในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ ประเทศที่มีการนำเข้ามากที่สุดได้แก่ ประเทศญี่ปุ่น คิดเป็น 50 % รองลงมาคือเครื่องกัดจากประเทศเยอรมัน คิดเป็น 20 % และไต้หวัน 17% ดังแสดงในรูปที่ 4.4

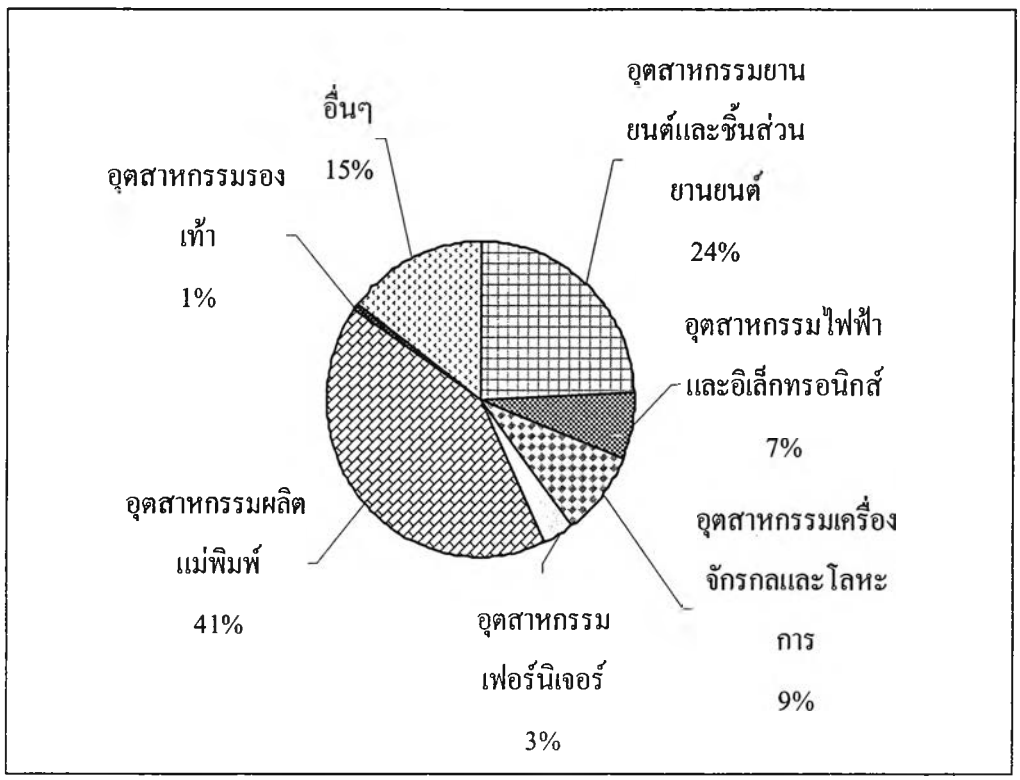
ระบบควบคุมการทำงาน (Controller) ของเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) เป็นหัวใจสำคัญในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี ระบบการควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีที่มีใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมแม่พิมพ์มีหลายชนิด ซึ่งชนิดที่ใช้มากที่สุดในกลุ่มนี้ ได้แก่ ระบบควบคุมของ Fanuc คิดเป็น49 %

ของเครื่องกัดซีเอ็นซีทั้งหมด รองลงมาคือ Heidenhain คิดเป็น 17% และ Mitsubishi 12% ดังแสดงในรูปที่ 4.5

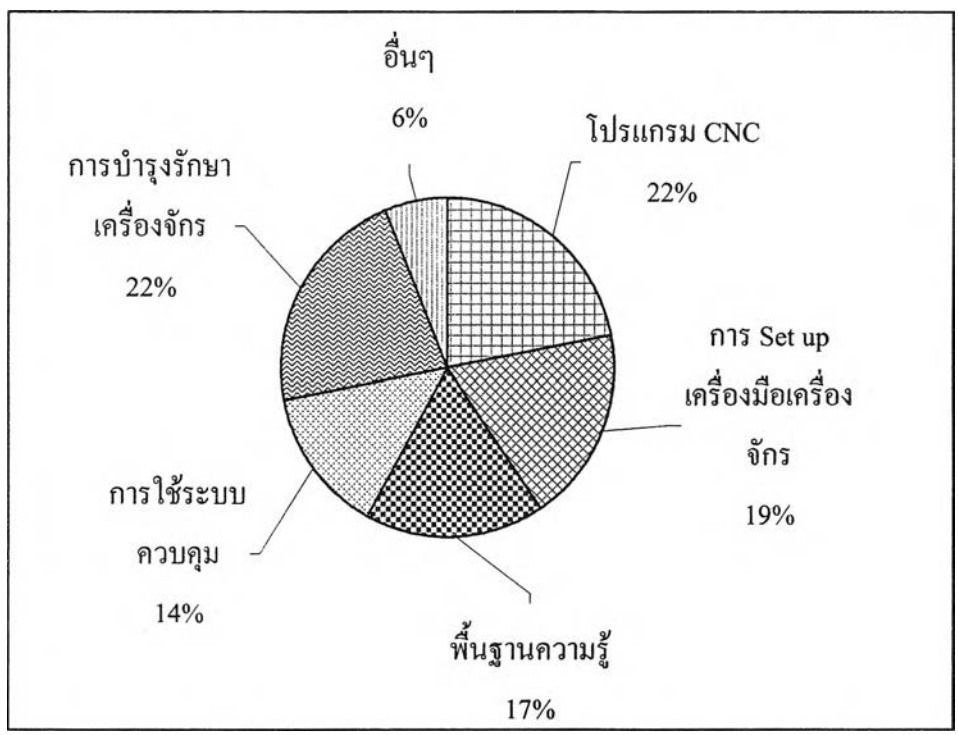
ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์จากการสำรวจพบว่าปัญหา ปัญหาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมในการควบคุมเครื่องจักรเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด คิดเป็น 23 % รองลงมาคือเกี่ยวกับเรื่องการบำรุงรักษาเครื่องจักร คิดเป็น 21 % และปัญหาเกี่ยวกับเรื่องการปรับตั้งเครื่องมือเครื่องจักรคิดเป็น 15 % ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จากข้อมูลการสำรวจเบื้องต้นจะเห็นว่าในอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ได้มีการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติหลายชนิด เช่น เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling) เครื่องอีดีเอ็ม (EDM Machine) เครื่องไวต์คัต (Wire Cut) เป็นต้น และที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดคือ เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling) ที่เป็นหัวใจสำคัญในการผลิตแม่พิมพ์ให้ได้คุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ และในการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ก็มีปัญหาและอุปสรรคมากมาย เช่น การใช้โปรแกรมในการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี การบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ การปรับตั้งเครื่องมือเครื่องจักร และในการที่จะพัฒนาอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ให้ก้าวหน้า จึงจำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาบุคลากรในภาคอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ให้มีทักษะและความสามารถ ในด้านการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติที่ทันสมัย เพื่อแก้ปัญหาในด้านต่างๆ เช่น ด้านการเขียนโปรแกรม การปรับตั้งเครื่องมือ เป็นต้น ให้กับอุตสาหกรรมแม่พิมพ์

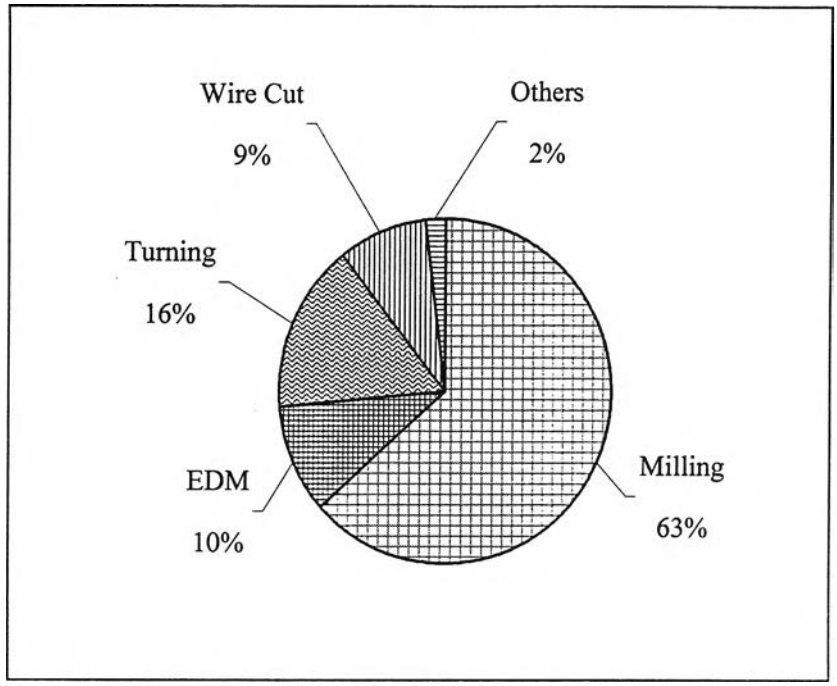
ดังนั้นในการศึกษาจึงเลือกที่จะศึกษาฐานความรู้ด้านเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) ที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดในอุตสหกรรมแม่พิมพ์ โดยได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบเครื่องกัดอัตโนมัติที่มีชุดควบคุมที่แตกต่างกัน 3 ชุดควบคุม คือ Fanuc, Heidenhain, และ Mitsubishi ซึ่งเป็นชุดที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ ซึ่งการเปรียบเทียบได้เริ่มจากการแบ่งประเภทเครื่องจักรซีเอ็นซีต่างๆ จากนั้นทำการเปรียบเทียบเครื่องกัดซีเอ็นซี



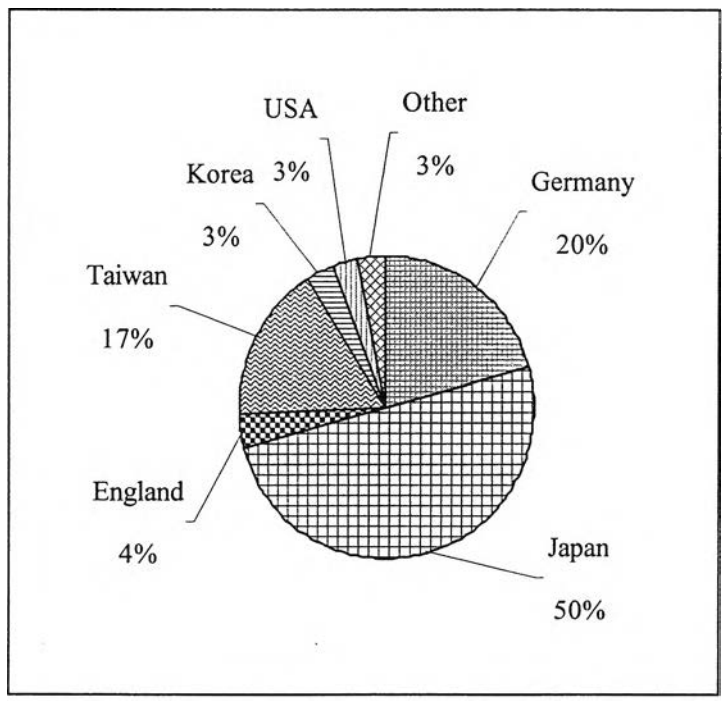
รูปที่ 4.1 แสดงประเภทอุตสาหกรรมที่ตอบแบบสำรวจ



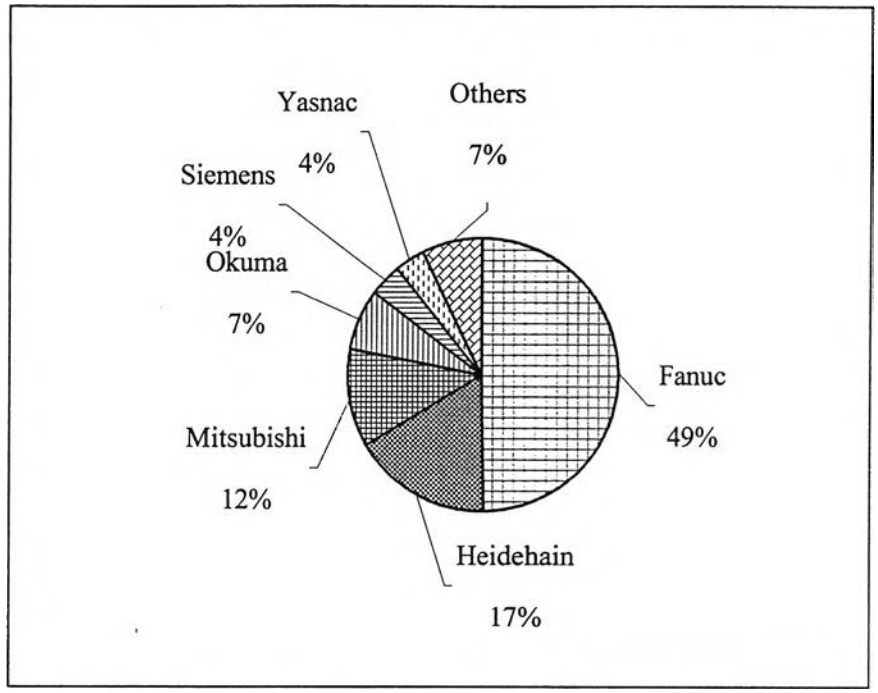
รูปที่ 4.2 แสดงปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี



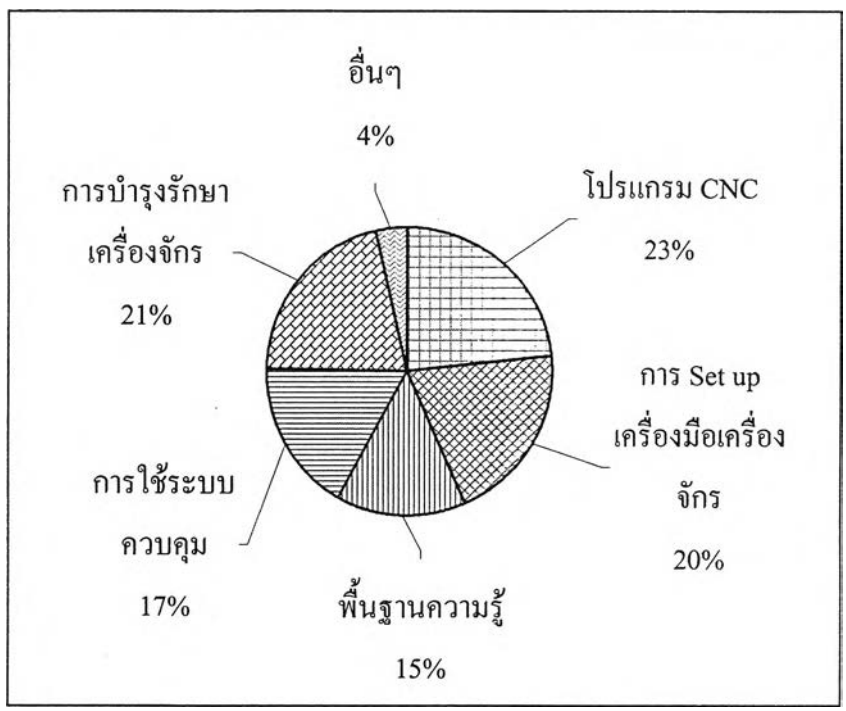
รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณการใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์



รูปที่ 4.4 แสดงปริมาณการนำเข้าเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling)
จากประเทศต่างๆ



รูปที่ 4.5 แสดงปริมาณชนิดของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องกัดอัตโนมัติ ในกลุ่มอุตสาหกรรมแม่พิมพ์



รูปที่ 4.6 แสดงปัญหาและอุปสรรคที่เกิดในการใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์

4.2 ประเภทและคุณลักษณะของเครื่องจักรซีเอ็นซี

จากการสำรวจและศึกษาข้อมูล สามารถจำแนกประเภทและคุณลักษณะของเครื่องจักร ซีเอ็นซี ได้จากลักษณะการใช้งาน ดังนี้

4.2.1 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

การทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไป คือ พื้นฐานเบื้องต้นของการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะทำการผลิตชิ้นงานเหมือนกับเครื่องจักรกลทั่วไปจะต่างกันที่การควบคุมการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีจะใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานในขั้นตอนต่างๆ แทนที่จะใช้ช่างควบคุมเครื่อง ส่วนของการควบคุมเครื่องจักรแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การควบคุมการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ (Movement)และการควบคุมความเร็วของการเคลื่อนที่ (Speed) ซึ่งการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซีสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.2.1.1 การทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

เครื่องจักรซีเอ็นซีจะทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับคำสั่งเป็นภาษาที่ระบบควบคุมเข้าใจได้เสียก่อนว่าจะให้ทำอะไร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์(Key Board) หรือเทปแม่เหล็ก(Magnetic Tape) เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงาน โดยอาศัยมอเตอร์ป้อน (feed motor) เพื่อให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ได้ เช่น เครื่องกัดซีเอ็นซีจะมีการเคลื่อนที่ 3 แนวแกน ก็จะมีมอเตอร์ป้อน 3 ตัว

จากนั้นระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้ว ก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อย ไม่สามารถไปหมุนขับให้มอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้น จึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (drive amplified) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ ตามที่โปรแกรมกำหนด

ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน จะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ เนื่องจากระบบควบคุมซีเอ็นซีไม่สามารถมองได้ ซึ่งต่างกับช่างควบคุมเครื่องที่อาศัยสายตามองดูตำแหน่งของ

คมตัดกับชิ้นงาน ก็รู้ว่าจะต้องเลื่อนแท่นเลื่อนไปอีกเป็นระยะทางเท่าใด ดังนั้น จึงต้องออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถจะบอกตำแหน่งของแท่นเลื่อนให้ระบบควบคุมรู้ได้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่า **ระบบวัดขนาด** (Measuring System) ซึ่งประกอบด้วยสเกลแนวตรง (Liner Scale) มีจำนวนเท่ากับจำนวนแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกล ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่แท่นเลื่อนเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าแท่นเลื่อน เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใด

จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าว ทำให้เครื่องซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปทรงและขนาดที่ต้องการได้ เนื่องจากลักษณะสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป จึงทำให้เครื่องจักรกลซีเอ็นซี เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติ และมีปริมาณความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ดังรูปที่ 4.14 ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของเครื่องจักร CNC

4.2.1.2 *ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบควบคุมซีเอ็นซี*

ระบบควบคุมซีเอ็นซีมีส่วนประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 5 ส่วนคือ

1. ส่วนที่เป็นโปรแกรมสั่งงาน (Part Program)

โปรแกรมสั่งงานในระบบซีเอ็นซีจะมีลักษณะเป็นแถว โดยแต่ละแถวจะมีรหัสคำสั่ง(NC Code) ที่เขียนไว้ในรูปแบบของตัวเลข ตัวอักษร และสัญลักษณ์ ซึ่งรหัสคำสั่งในแต่ละแถวนี้ จะแทนตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดบนเครื่องจักรซีเอ็นซี เพื่อใช้สำหรับการขึ้นรูปชิ้นส่วน ตัวอย่างของโปรแกรมคำสั่ง เช่น N10 G00 X200 Y100 Z5 M03 S200 เป็นต้น

2. ส่วนที่ใช้ป้อนข้อมูลของโปรแกรม(Program input device)

การป้อนข้อมูลของโปรแกรมในเครื่องจักรซีเอ็นซีที่เป็นแบบซอฟต์ไวร์ (Soft Wire) นั้นจะใช้วิธีป้อนโปรแกรมเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องด้วยสายส่งสัญญาณ (Interface Bus) เช่น RS-232-C โดยที่เราไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องอ่านเทปเพื่อแปลรหัสคำสั่ง เหมือนกับเครื่องในระบบเอ็นซี

3. หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง(Machine Control Unit : MCU)

หน่วยควบคุมการทำงานของเครื่อง(MCU) มีหน้าที่อ่านและตีความหมายของคำสั่งที่ส่งมาจากส่วนป้อนข้อมูลของโปรแกรม หลังจากนั้นก็จะแปลงเป็นสัญญาณเพื่อไปควบคุมระบบการขับเคลื่อนของเครื่องจักรซีเอ็นซีต่อไป

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

4. ส่วนที่เป็นระบบควบคุมการขับเคลื่อน (Drive System)

การควบคุมการขับเคลื่อนในระบบซีเอ็นซี แบ่งเป็น 4 ชนิด คือ ชนิดที่ใช้มอเตอร์แบบเป็นขั้น (Stepping Motor) ใช้มอเตอร์กระแสตรง (DC Servo Motor) ใช้มอเตอร์กระแสสลับ (AC Servo Motor) และระบบไฮดรอลิกส์(Hydraulic Servo Drive)

5. เครื่องจักรกล (Machine Tool)

เครื่องจักรกลที่ถูกออกแบบมาเพื่อควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี จะมีระบบการควบคุม 2 ลักษณะ คือ แบบวงจรรอบเปิด และวงจรรอบปิด หรือ การผสมผสาน ระหว่างแบบวงจรรอบเปิด และแบบวงจรรอบปิด โดยเครื่องจักรที่ควบคุมแบบวงจรรอบเปิด จะมีสัญญาณส่งไปที่มอเตอร์ ทำให้โต๊ะจับชิ้นงานเคลื่อนที่ไปตามที่โปรแกรมไว้ ซึ่งการควบคุมระบบนี้จะไม่มีระบบตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับ (Feedback System) ทำให้ไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้ว่าสัญญาณที่ส่งมานั้นได้ทำแล้วหรือยัง หรือมีข้อผิดพลาดอย่างไร ส่วนการควบคุมแบบวงจรรอบปิด จะมีระบบตรวจสอบสัญญาณย้อนกลับ เมื่อโต๊ะหรือเครื่องมือตัดเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งที่โปรแกรมไว้ก็จะมีสัญญาณจับ เพื่อควบคุมให้โต๊ะจับชิ้นงานหรือเครื่องมือตัดหยุด ดังรูปที่ 4.15 ตัวอย่างการควบคุมเครื่องจักรด้วยระบบปิด

4.2.2 ประเภทของเครื่องจักรซีเอ็นซี

การแบ่งประเภทของเครื่องจักรซีเอ็นซี มีการแบ่งประเภทจากลักษณะการการขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. งานตัดเฉือนผิวโลหะ (Metal Cutting)

เป็นประเภทที่นำระบบซีเอ็นซีมาใช้งานมากที่สุด จะประกอบด้วย เครื่องกลึงซีเอ็นซี และเครื่องกัดซีเอ็นซี เป็นต้น ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.7

2. งานเจียรไน(Grinding)

เป็นงานอีกประเภทหนึ่งที่นำระบบควบคุมอัตโนมัติมาใช้งาน ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.8

I21234206

3. งานขึ้นรูปด้วยวิธีพิเศษ (Unconventional Machining)

เป็นลักษณะการขึ้นรูปที่ไม่เหมือนกับเครื่องซีเอ็นซีที่ใช้สำหรับงานตัดเฉือนผิวโลหะ เช่น เครื่องกัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า(EDM) เครื่องตัดโลหะโดยใช้ลำแสงอิเล็คตรอน(Electron Beam Machining) เครื่องตัดโลหะด้วยเลเซอร์(Laser Cutting Machining) เครื่องตัดโลหะด้วยเส้นลวด(Wire cutting Machining) ดังแสดงในรูปที่ 4.9

4. งานตัดเจาะและพับขึ้นรูป(Fabrication)

เป็นการนำระบบซีเอ็นซีมาใช้สำหรับงานตัดเจาะและพับขึ้นรูปในงานโลหะแผ่น ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.10

5. งานประยุกต์ใช้สำหรับงานพิเศษหรืองานเฉพาะอย่าง (Special-Purpose application)

เป็นการนำระบบอัตโนมัติมาใช้กับงานที่มีลักษณะพิเศษและเป็นงานเฉพาะอย่าง เช่น เครื่องวัดจุดโคออร์ดิเนต (Coordinate Measurement Machines: CMM) งานประกอบชิ้นส่วน (Assembly) งานขนถ่ายวัสดุ(Metal Handling) ดังแสดงในรูปที่ 4.11

4.2.3 เครื่องจักรกลซีเอ็นซีในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์

ในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์มีการใช้เครื่องจักรชนิดต่างๆดังนี้

1. เครื่องเจาะซีเอ็นซี (CNC Drilling Machines)

ในการผลิตแม่พิมพ์นั้นกระบวนการเจาะรูเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญมาก ความเที่ยงตรงของตำแหน่งและขนาดรูเจาะที่ถูกต้อง ตลอดจนจำนวนรูเจาะในตำแหน่งต่างๆกัน ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญและประสบการณ์สูงจึงจะปฏิบัติงานสำเร็จลงได้ ซึ่งปัญหานี้พบกันมากในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนานำระบบควบคุมซีเอ็นซี ไปควบคุมการทำงานของเครื่องเจาะ

เครื่องเจาะซีเอ็นซี มีการออกแบบใช้ตั้งแต่แบบง่ายๆ ไปจนถึงแบบที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้

1) เพลาหัวเครื่อง (Spindle head) ทำหน้าที่จับยึดเครื่องมือตัด และทำให้เกิดการเคลื่อนที่หมุนของดอกเจาะ
2) โต๊ะทำงาน (Table) สำหรับจับยึดชิ้นงานและสามารถเคลื่อนที่ได้ในแนวแกน (Axis) X และ Y

3) กลไกป้อน (Feed Mechanisms) ทำหน้าที่ควบคุมและเลื่อนเครื่องมือตัดเข้าหาชิ้นงานในแนวแกน Z

นอกเหนือจากลักษณะการออกแบบข้างต้นแล้ว ยังมีแบบที่โต๊ะงานอยู่กับที่และเพลาหัวเครื่องเป็นส่วนเคลื่อนที่ทั้ง 3 แนวแกน ชิ้นงานชิ้นหนึ่งอาจต้องตัดเฉือนด้วยเครื่องมือตัดหลายอัน ดังนั้น อาจมีระบบเปลี่ยนเครื่องมือตัด(Tool Change Systems) ประกอบอยู่ด้วย นอกจากนี้ เครื่องเจาะซีเอ็นซีบางเครื่องยังได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานกัดเบาๆได้อีกด้วย

2. เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machines)

เครื่องกลึงซีเอ็นซีส่วนใหญ่จะมีแนวแกนการเคลื่อนที่เพียง 2 แนวแกนเท่านั้น ลักษณะการออกแบบส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องกลึง ดังแสดงในรูปที่ 4.12

3. เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machines)

เป็นเครื่องจักรกลที่มีขอบข่ายการทำงานค่อนข้างกว้าง กล่าวคือ นอกจากจะสามารถทำงานกัดเช่นเดียวกับเครื่องกัดทั่วไปแล้ว ยังสามารถทำงานอื่นๆ เช่น เจาะรู ทำเกลียว คว้านรู ได้อีกด้วย โดยทั่วไปเครื่องกัดซีเอ็นซีจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลาตั้งและ เครื่องกัดซีเอ็นซีเพลานอน ซึ่งขึ้นอยู่กับการวางตำแหน่งของเพลาหัวเครื่อง เครื่องกัดซีเอ็นซีจะมีแนวแกนการควบคุมตั้งแต่ 3 แกน 4 แกน 5 แกน และมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 4.13

4. เครื่องตัดเจาะซีเอ็นซี

เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการตัดเจาะงานโลหะแผ่น และเป็นการเพิ่มปริมาณการผลิตงานโลหะแผ่น คือ การลดเวลาเปล่างานสำหรับการจัดตำแหน่งในการตัดโลหะแผ่นให้เป็นรูปร่างต่างๆ สำหรับชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนมากๆ ซึ่งจะช่วยให้ลดเวลาการตัดเฉือนรวมได้ถึง 70 - 90% เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วตั้งแต่ 40-50 ม./นาที โดยที่การทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติทุกขั้นตอน อีกทั้งยังช่วยลดขั้นตอนในการจัดเตรียมงานและการตกแต่งงานสำเร็จ ดังรูป 4.10 เครื่องตัดเจาะซีเอ็นซี (CNC Punch Press)

นอกจากนี้เครื่องตัดเจาะซีเอ็นซียังมีข้อดีคือ ในลักษณะงานที่มีขนาดใหญ่และต้องการตัดเจาะทั้งรูและขอบมุมต่างๆ หลายตำแหน่ง ซึ่งอาจจะต้องสร้างชุดแม่พิมพ์ขึ้นมาใช้ ถ้าปริมาณการผลิตจำนวนน้อยจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง การเลือกใช้เครื่องตัดเจาะซีเอ็นซีจะช่วยให้ประหยัดกว่าและสามารถเปลี่ยนแบบงานต่างๆได้ง่าย โดยเพียงแต่แก้ไขหรือสร้างโปรแกรมใหม่เท่านั้น

เนื่องจากงานตัดเจาะต้องการเพียงแต่การควบคุมตำแหน่งเท่านั้น ดังนั้น เครื่องตัดเจาะซีเอ็นซีจึงมีแนวแกนการเคลื่อนที่เพียง 2 แกน ดังแสดงในรูปที่ 4.10

5. เครื่องวัดขนาดซีเอ็นซี (CNC Measuring Machines)

งานวัดและตรวจสอบขนาดถือเป็นงานที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิต และต้องใช้เวลาค่อนข้างมาก (ประมาณ 30-100 % ของเวลาตัดเฉือน) การวัดและตรวจสอบขนาดมักจะต้องทำทั้ง 3 มิติ (3D) ดังนั้น เครื่องวัดขนาดซีเอ็นซีส่วนใหญ่จึงมักมีการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน และสามารถเขียนโปรแกรมในการวัดชิ้นงาน เพื่อใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานที่เหมือนกันจำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.11

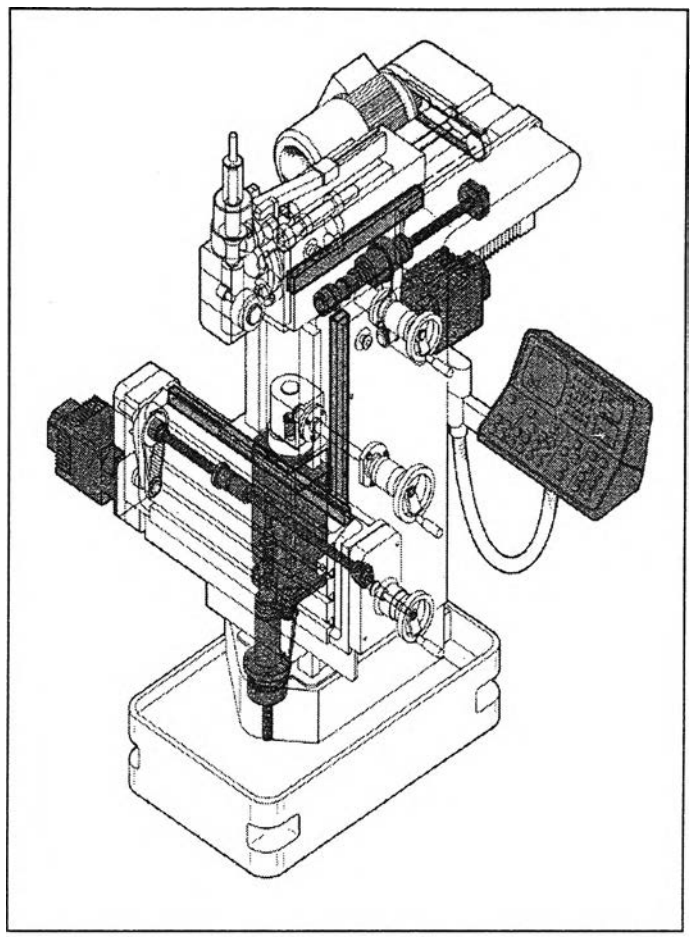
6. เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าซีเอ็นซี (CNC EDM Machine)

เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM: Electrical-Discharge Machining) หรือ (Spark-erosion Machining) เป็นเครื่องกัดเซาะเนื้อชิ้นงานโดย Spark discharge โดยใช้ tool ที่เรียกว่า อิเล็คโตรด (Electrode) ซึ่งชิ้นงานและอิเล็คโตรดทั้งสองจะต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ในของเหลวไดเลคตริก (dielectric) ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน และสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็ง อิเล็คโตรด (Electrodes) สำหรับงานEDM โดยทั่วไปจะทำจาก กราไฟต์ (Graphite) , brass, ทองแดง (Copper), หรือ คอปเปอร์-ทังสเตน (Copper-tungsten) ตัวอย่างที่ 4.9 ก แสดงเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยซีเอ็นซี

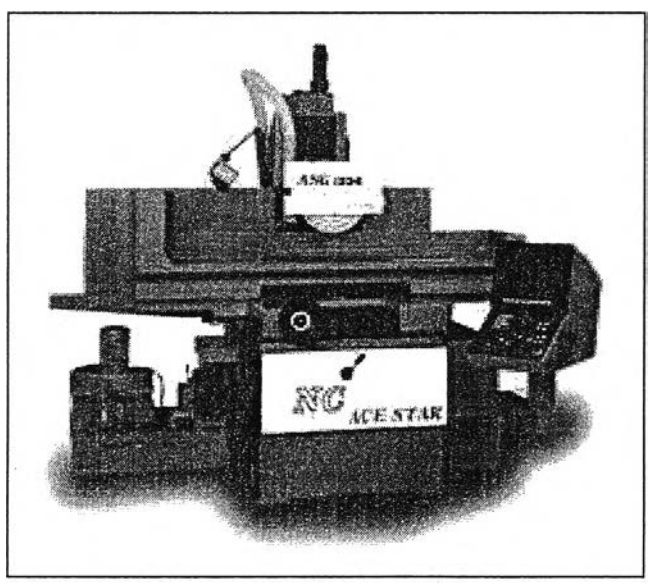
7. เครื่องกัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าซีเอ็นซี (CNC Wire EDM machine)

เครื่องกัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรที่ใช้เส้นลวดในการตัดชิ้นงาน สามารถผลิตชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็ง ชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนและต้องการความเที่ยงขนาดสูง โดยในการตัดชิ้นงานจะมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่ชิ้นงาน และเส้นลวด ภายในของเหลวที่เป็นน้ำกลั่น ซึ่งเส้นลวดที่ใช้ในการตัดนิยมใช้เส้นลวดที่ผลิตจากทองเหลือง และทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ข เครื่องกัดโลหะด้วยลวดไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยซีเอ็นซี

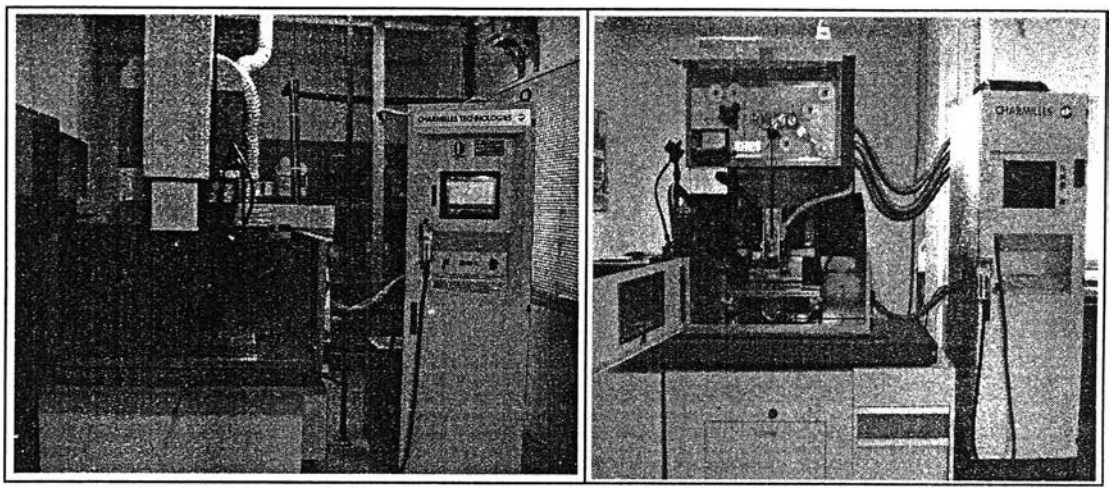
จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการผลิตที่สามารถจะผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพและราคาถูก เพื่อแข่งขันกันในตลาดผู้บริโภคนั้น จำเป็นที่จะต้องมีระดับของเทคโนโลยีในการผลิตที่เหมาะสม การใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกระทำได้ แต่ก็จะมีปัญหาว่าจะเลือกใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีได้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ทำอยู่ได้อย่างไร และทำอย่างไรจึงจะสามารถควบคุมเครื่องจักรกลนั้นให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพของเครื่อง



รูปที่ 4.7 เครื่องกัดซีเอ็นซี(เพลาตั้ง)

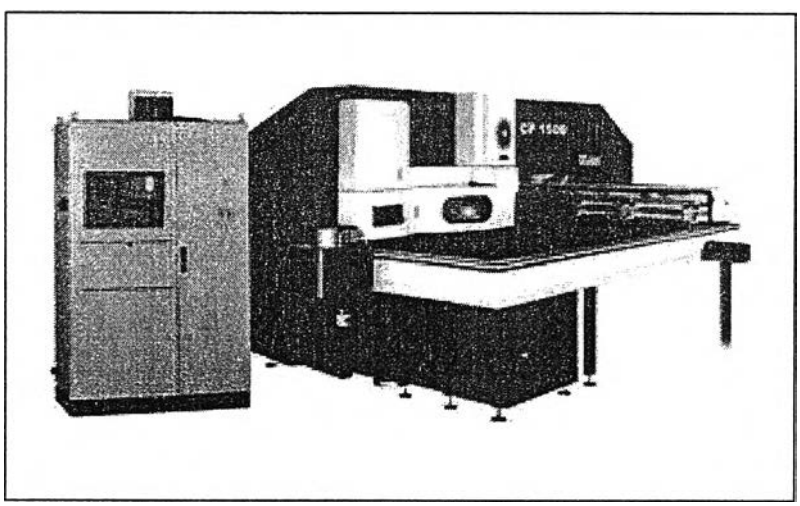


รูปที่ 4.8 เครื่องเจียรไนที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี

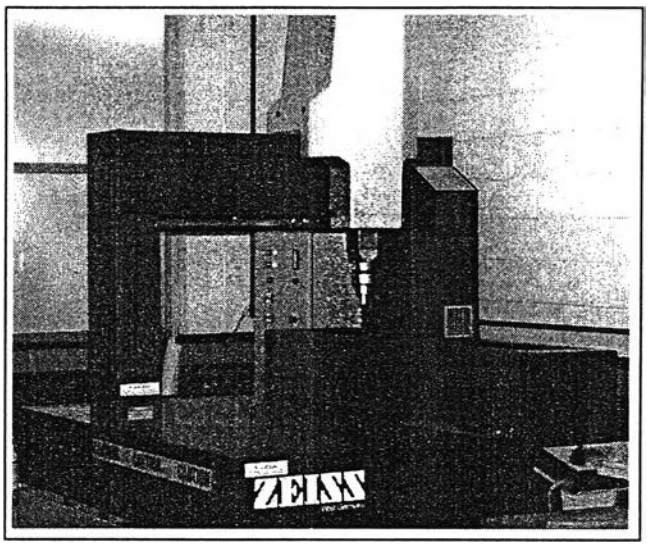


ก) เครื่องกัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า ข) เครื่องตัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า

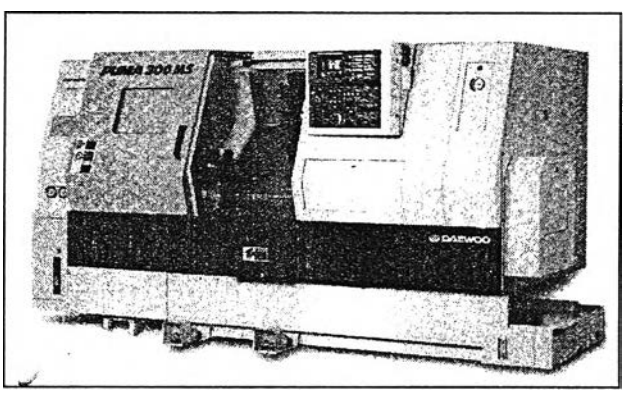
รูปที่ 4.9 เครื่องกัดโลหะและเครื่องตัดโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี



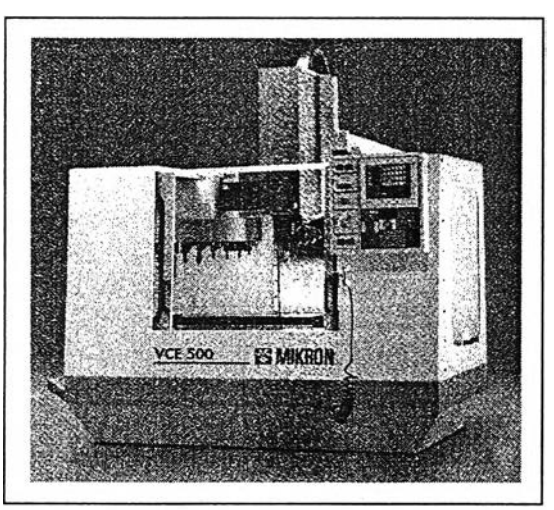
รูปที่ 4.10 เครื่องตัดเจาะซีเอ็นซี(CNC Punch Press) ที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี



รูปที่ 4.11 เครื่องวัดจุดโคออร์ดิเนต(CMM) ที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี



รูปที่ 4.12 เครื่องกลึงซีเอ็นซี



รูปที่ 4.13 เครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ 3 แกน

4.3 การเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี

เครื่องกัดซีเอ็นซีจะสามารถทำงานได้ต้องขึ้นอยู่กับชุดควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งชุดควบคุมถือว่าเป็นส่วนสำคัญมากของเครื่องซีเอ็นซี โดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยส่วนรับข้อมูล(Data Input) ส่วนประมวลผลข้อมูล (Data Processing) ส่วนส่งข้อมูลออก(Data Output) และส่วนเชื่อมต่อกับเครื่องกัดซีเอ็นซี ในการเปรียบเทียบเครื่องกัดซีเอ็นซีที่ชุดควบคุมแตกต่างกันจะทำการเปรียบเทียบชุดควบคุมทั้งหมด 3 บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ควบคุม ได้แก่ ชุดควบคุม(Controller)ของ Heidenhain, Fanuc, และ Mitsubishi ได้ทำการเปรียบเทียบในส่วนต่างๆดังนี้

- ชุดควบคุมของเครื่องซีเอ็นซี
- อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร
- การควบคุมการขับเซอร์โว
- การควบคุมความเร็วของเพลาขับ
- โปรแกรมควบคุม

ซึ่งทั้งสามชุดควบคุมมีความแตกต่างกันดังในตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเครื่องกัดซีเอ็นซี จากตารางจะพบว่าเครื่องกัดซีเอ็นซีที่ชุดควบคุมแตกต่างกันจะมีลักษณะการใช้งานของเครื่องกัดส่วนใหญ่เหมือนกัน อีกทั้งการทำงานต่างๆของเครื่องกัดก็เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดเพียงบางส่วน ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่การทำงานดังนี้

4.3.1 ชุดควบคุมของเครื่องซีเอ็นซี (Machine Control Unit)

ชุดควบคุมของเครื่องซีเอ็นซี ถือว่าเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากในการปฏิบัติงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) ส่วนรับข้อมูล(Data Input) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการป้อนข้อมูลและเก็บข้อมูลของโปรแกรมซีเอ็นซี ประกอบไปด้วยฮาร์ดดิสก์ของคอมพิวเตอร์
2) ส่วนประมวลผลข้อมูล(Data Processing) ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ถูกส่งเข้ามา ซึ่งในส่วนนี้จะมีหน่วยประมวลผลกลาง หรือ ซีพียู(CPU)ของคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่คำนวณ และเปรียบเทียบค่าต่างๆ เช่น ตำแหน่งขนาดของชิ้นงาน อัตราป้อน ตำแหน่งการวางเครื่องมือตัด การคำนวณค่าชดเชยรัศมีของเครื่องมือตัดและการควบคุมระบบเปิด-ปิดน้ำหล่อเย็นโดยอัตโนมัติ เป็นต้น

3) ส่วนส่งข้อมูลออก(Data Output) ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งและสัญญาณป้อนไปยังวงจรควบคุมเซอร์โวเพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์

4) ส่วนเชื่อมต่อกับเครื่องซีเอ็นซี(Machine I/O Interface) ทำหน้าที่แยกข้อมูลสัญญาณที่จำเป็นสำหรับควบคุมทิศทางการหมุนของเพลาจับเครื่องมือตัด(Spindle) กลไกการเปิด/ปิดน้ำหล่อเย็น หรือคำสั่งอื่นๆและสัญญาณข้อมูลที่เกี่ยวกับการหยุดเครื่องฉุกเฉิน(Emergency Stop) การทำโปรแกรมแบบวัฏจักร(Cycle Start) คำสั่งหยุดการเคลื่อนที่ของทุกแกน(Feed hold) และสัญญาณอื่นๆที่ใช้ควบคุมระบบซีเอ็นซี

4.3.2 การติดต่อสื่อสาร (Communication)

ในระบบซีเอ็นซีจำเป็นต้องมีการติดต่อสื่อสารกันระหว่างหน่วยประมวลผลกลาง(CPU) และส่วนประกอบของระบบอื่นๆ ซึ่งอยู่ภายนอกของเครื่องคอมพิวเตอร์

โดยทั่วไปแล้วในระบบซีเอ็นซีจะมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลโดยผ่านระบบบัส (Bus System) ในส่วนของการส่งและการรับข้อมูลนั้น ช่างควบคุมเครื่องจะมีอุปกรณ์สื่อสารเพื่อควบคุมระบบซีเอ็นซี 3 ชนิดคือ

1) จอภาพ หรือมอนิเตอร์ (Monitor)

ในระบบซีเอ็นซีจะประกอบด้วยจอภาพซีอาร์ที (CRT: Cathode Ray Tube) และอุปกรณ์แสดงสัญญาณต่างๆ เช่น หลอดไฟหรือสัญญาณไฟต่างๆ

จอภาพจะเป็นส่วนที่ใช้แสดงเกี่ยวกับข้อมูลของโปรแกรมซีเอ็นซี ดังนี้

- แสดงข้อมูลของโปรแกรมที่ใช้งาน (Active Part Program)
- แสดงแนวแกนใช้งานปัจจุบัน (Current Axis)
- แสดงทางเดินของเครื่องมือตัด (Tool Path)
- แสดงข้อมูลที่เกี่ยวกับการวางตำแหน่งของมีด (Tools Offset)
- แสดงการจำลองการตัดเฉือนชิ้นงาน (Simulation)
- แสดงสัญญาณเมื่อโปรแกรมมีการผิดพลาด (Alarm for program errors) หรือระบบควบคุมเซอร์โวผิดพลาด
- แสดงข้อมูลอื่นๆ เช่น การแปลงสถานะของการส่งข้อมูลหรือบอดเรด (Baud rate) ของสายส่งข้อมูล RS-232-C เป็นต้น

2) แผงควบคุมการทำงาน (Operator Control Panel)

แผงควบคุมการทำงานนี้จะเป็นส่วนที่ช่างควบคุมเครื่องใช้ติดต่อสื่อสารกับระบบซีเอ็นซี นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ส่วนควบคุมเครื่อง (Machine Controls) และส่วนควบคุมโปรแกรม (Program Controls)

- ส่วนควบคุมเครื่อง(Machine Controls)

จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมสวิตช์เปิด-ปิดต่างๆ(On-Off and push) สวิตช์แบบเลือก (Selector Switch) มือหมุนแบบอิเลคทรอนิคส์(Electronic handwheel)และสวิตช์ปรับ(Override Switch) โดยสวิตช์ที่กล่าวมานี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องซีเอ็นซี ไม่ว่าจะเป็นการควบคุมการเปิด/ปิด เพลาจับยึดเครื่องมือตัด(Spindle) ควบคุมการเปิด/ปิดน้ำหล่อเย็น (Coolant) ควบคุมการเคลื่อนที่และทิศทางของแนวแกน ควบคุมความเร็วและอัตราป้อน (Speed and Feed) ในลักษณะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความเร็วและอัตราป้อนด้วยสวิตช์ปรับ

- ส่วนควบคุมโปรแกรม (Program Controls)

ประกอบด้วยการป้อนข้อมูลของโปรแกรม และการแก้ไขโปรแกรม ซึ่งสามารถป้อนข้อมูลได้โดยตรงจากแป้นพิมพ์(Keypad or Keyboard) ของแผงควบคุมการทำงาน การป้อนข้อมูลของโปรแกรมในลักษณะนี้เรียกว่า "การป้อนด้วยมือ (Manual Data Input: MDI)"

แป้นพิมพ์มี 2 ชนิดคือ แป้นพิมพ์ที่เกี่ยวกับข้อมูลตัวอักษร และตัวเลข ซึ่งจะใช้สำหรับการป้อนข้อมูลคำสั่งของโปรแกรมทีละตัวอักษร ส่วนแป้นพิมพ์คำสั่งนี้จะเป็นคำสั่งที่มีการใช้งานบ่อยๆในโปรแกรมซีเอ็นซี โดยที่เราสามารถเลือกได้รวดเร็วทำให้สะดวกและประหยัดเวลาในการป้อนข้อมูล ตัวอย่างเช่น การตรวจแก้ไขโปรแกรม (Correction) จะประกอบไปด้วยการแทรกข้อมูล (Insert) การลบ (Delete) การยกเลิก (Cancel) เป็นต้น

3) ส่วนป้อนข้อมูลเข้า/ออกของโปรแกรม(Part Program Input and Output)

เนื่องจากข้อมูลของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมในระบบซีเอ็นซีนั้น สามารถเก็บข้อมูลได้ด้วยอุปกรณ์เก็บข้อมูล เช่น เทปกระดาษ แผ่นฟลอปปี้ดิสก์ และเทปแม่เหล็ก เป็นต้น โดยข้อมูลที่เก็บไว้ในอุปกรณ์เก็บข้อมูลเหล่านี้เมื่อจะนำไปใช้งานจำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์ช่วยสำหรับการส่งถ่ายข้อมูล ซึ่งได้แก่ เครื่องอ่านเทปกระดาษ (Punched Tape Reader) เครื่องอ่านเทปแม่เหล็ก(Magnetic Tape Leader) และคอมพิวเตอร์ที่ใช้สายส่งข้อมูล RS-232-C ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะต่อเชื่อมกันกันด้วยระบบบัส(Bus System) ของหน่วยประมวลผลกลาง และการ์ดของหน่วยเชื่อมต่อ(I/O Interface Card)

4.3.3 การควบคุมการขับเซอร์โว (Servo Drive Control)

การควบคุมเครื่องจักรในระบบซีเอ็นซีนั้น จำเป็นต้องอาศัยระบบการแปลงและควบคุมสัญญาณพัลส์ที่ถูกส่งมาจากระบบซีเอ็นซี ไปเป็นสัญญาณสำหรับควบคุมการขับเคลื่อนของมอเตอร์ โดยการควบคุมการขับเซอร์โวนี้ จะประกอบด้วยระบบย่อย 2 ระบบ คือ ระบบควบคุมการเชื่อมต่อเซอร์โว (Servo Control Interface) และระบบเชื่อมต่อสัญญาณย้อนกลับ (Feedback Interface)

จากรูปที่ 4.16 ระบบควบคุมการเชื่อมต่อเซอร์โว เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งและความเร็วในการขับเคลื่อนมอเตอร์ แต่เนื่องจากสัญญาณควบคุมที่ส่งมาจากระบบซีเอ็นซี และระบบควบคุมการเชื่อมต่อเซอร์โวมีกำลังต่ำ ดังนั้นก่อนที่จะส่งสัญญาณควบคุมไปยังมอเตอร์ จึงจำเป็นที่จะต้องขยายคลื่นสัญญาณ โดยใช้ชุดขยายสัญญาณขับเซอร์โว (Servo Drive Amplifier) ชุดขยายสัญญาณขับเซอร์โวนี้จะไม่เป็นส่วนประกอบของชุดควบคุมระบบซีเอ็นซี แต่จะเป็นส่วนประกอบของระบบควบคุมการขับมอเตอร์ ส่วนระบบเชื่อมต่อสัญญาณย้อนกลับ(Feedback Interface) นี้จะมีอุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด (Encoder or Resolver) ทำหน้าที่บันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่ เพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังหน่วยประมวลผลกลาง และวงจรอิเลคทรอนิคส์ของชุดควบคุมเซอร์โว ซึ่งระบบควบคุมนี้ จะนำสัญญาณไปคำนวณหาระยะทาง ในการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนต่อไป

4.3.4 การควบคุมความเร็วรอบของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด (Spindle Speed Control)

การควบคุมความเร็วรอบของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด ส่วนมากจะควบคุมด้วยคำสั่ง S ในโปรแกรมซีเอ็นซี แต่ในระบบควบคุมการขับเซอร์โว จำเป็นที่จะต้องอาศัยระบบควบคุมความเร็วรอบของเพลาขับเคลื่อนที่ เช่น การควบคุมความเร็วรอบของเพลาขับ ในระบบเชื่อมต่อสัญญาณย้อนกลับเป็นต้น ในระบบซีเอ็นซี บางครั้งจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์แปลงสัญญาณ จากสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก(D/A Converter) เนื่องจากสัญญาณที่ใช้ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ จะเป็นสัญญาณแบบแอนะลอก แต่คอมพิวเตอร์ของระบบซีเอ็นซีจะส่งสัญญาณแบบดิจิตอล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์แปลงสัญญาณ เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้

4.3.5 พีเอ็มซี (PMC: Programmable Machine Controller)

การควบคุมสัญญาณที่ส่งไปเพื่อควบคุมระบบซีเอ็นซี แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) สัญญาณควบคุมตัวเลข(Numerical Control Signals)

ซึ่งใช้ควบคุมข้อมูลของตำแหน่ง (Position Data) ข้อมูลของความเร็ว (Velocity Data) ข้อมูลการวางตำแหน่งเครื่องมือตัด (Tools Offset) ข้อมูลเกี่ยวกับการชดเชยรัศมีของเครื่องมือตัด (Compensation Data) และข้อมูลของตัวแปรอื่นๆ

2) สัญญาณควบคุมลำดับ(Sequence Control Signals)

จะใช้ในการควบคุมลำดับขั้นการทำงานของเครื่องจักร โดยจะมีหน่วย Input/Output ที่ส่งสัญญาณแบบดิจิตอล

ส่วนการควบคุมในระบบซีเอ็นซีนั้น จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ของคอมพิวเตอร์ร่วมกับหน่วยประมวลผลของพีแอลซี (PLC: Programmable Logic Controller) ซึ่งพีแอลซี หรือ พีซี (PC: Programmable Control) เป็นระบบการควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี ดังแสดงในรูปที่ 4.17 การเชื่อมต่อ PMC เข้ากับระบบควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยใช้การเขียนโปรแกรมในลักษณะเช่นเดียวกันกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และพีแอลซี (PLC) ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซีนั้นจะเรียกว่า "PMC: Programmable Machine Controller" ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับระบบควบคุมต่อไปนี้

- การเปลี่ยนเครื่องมือโดยอัตโนมัติ (Automatic Tool Change)
- ควบคุมระบบน้ำหล่อเย็น (Coolant Control)
- เชื่อมต่อลิมิตสวิตช์ (Limit Switch Interface)
- ควบคุมระบบจับยึดชิ้นงาน (Clamping System Control)
- เชื่อมต่อ อินพุต/เอาต์พุต โปรแกรมเอ็นซี (NC I/O Interface)
- การหยุดฉุกเฉิน (Emergency Stop)
- เชื่อมต่ออินพุต/เอาต์พุต กับเครื่องจักร (Machine I/O Interface)
- อื่นๆ

4.3.6 การขับป้อน(Feed Drives)

การขับป้อนจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน ในขณะที่ตัดเฉือน แท่นเลื่อนจะพาชิ้นงานหรือ คมตัดเคลื่อนที่ก็ได้ ดังรูปรูปที่ 4.18 การเคลื่อนที่ตัดเฉือนของเครื่องมือตัด

ระบบขับป้อนโดยทั่วไปจะให้มอเตอร์กระแสตรงในการหมุนขับและควบคุมการทำงานด้วยวงจรอิเลคทรอนิคส์จากภายนอก มอเตอร์ชนิดนี้จะสามารถหมุนและเบรคให้หยุดได้ ทั้ง2 ทิศทาง ขณะตัดเฉือนชิ้นงาน การเคลื่อนที่ป้อนจะต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและสามารถต้านแรงกระทำจากภายนอกได้ เช่น แรงตัดเฉือน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ ระบบขับป้อนจึงต้องได้รับการออกแบบให้มีความแข็งแกร่งสูง มีการเคลื่อนที่คงที่และสม่ำเสมอ สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนอัตราป้อนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ขณะทำงานคมตัดอาจทื่อ หรือการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนถูกกีดขวาง หรือการเร่งอัตราป้อนให้เคลื่อนที่เร็วและหยุดโดยทันทีทันใด สาเหตุเหล่านี้จะทำให้มอเตอร์รับภาระมากเกินไป(Over Loading) ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันอุบัติเหตุเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วจะใช้คลัตช์แบบลูกกลิ้ง (Over Running Clutch) ร่วมกับวงจรอิเล็คทรอนิคส์

ปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ระบบขับป้อนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็คือ การเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบขับป้อนให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักร และการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 4.19 ไดอะแกรมระบบขับป้อน

อุปกรณ์ในระบบขับป้อนประกอบด้วย

4.3.6.1 มอเตอร์

เครื่องจักรซีเอ็นซีสมัยใหม่จะออกแบบให้ระบบขับป้อนแบบเซอร์โว (Servo drives) ทำให้สามารถปรับอัตราป้อนและความเร็วรอบได้โดยไม่มีขีดจำกัดของขั้นความเร็วรอบและอัตราป้อน มอเตอร์ที่ใช้ในระบบขับป้อน โดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันคือ

1) มอเตอร์กระแสตรง(DC Motors)

ลักษณะสร้างของมอเตอร์กระแสตรง จะใช้เป็นแม่เหล็กถาวรที่มี 4, 6 หรือ 8 ขั้ว ประกอบด้วยระบบเบรค(Brake) แกนมอเตอร์(Rotor) อุปกรณ์วัดรอบ(Tachogenerator) และ อุปกรณ์วัด (Measuring Box) ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง

การใช้มอเตอร์กระแสตรง ทำให้สามารถปรับอัตราป้อนได้ละเอียด และมีวงจรควบคุมที่ไม่ซับซ้อน ส่วนข้อเสียก็คือ มอเตอร์ชนิดนี้ต้องใช้แปรงถ่าน ซึ่งจะต้องคอยทำความสะอาดและเปลี่ยนเมื่อแปรงถ่านหมด นอกจากนี้แปรงถ่านยังทำให้แกนมอเตอร์สึกหรอ ส่งผลให้กำลังมอเตอร์ลดลง ข้อเสีย

อีกประการหนึ่งก็คือ หากต้องการกำลังขับสูง มอเตอร์ก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย และเมื่อใช้ความเร็วรอบสูงๆ แรงบิดจะลดลง ดังนั้นจึงมักใช้กับเครื่องจักรเอ็นซี ขนาดเล็ก และขนาดกลาง

2) มอเตอร์แบบเป็นขั้น(Stepping Motor)

มอเตอร์ชนิดนี้เป็นมอเตอร์ที่ทำงานแบบต่อเนื่อง โดยการแปลงคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบให้เป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม การหมุนในแต่ละมุม หรือเคลื่อนที่เปลี่ยนไป 1 ขั้นจะเท่ากับ 1 คลื่นสัญญาณ ดังนั้น ตำแหน่งของเพลาจะถูกกำหนดโดยจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบ และความเร็วในการหมุนของเพลาจะวัดเป็นจำนวนขั้นต่อวินาที(Steps per Second) จะเท่ากับความถี่ของคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าไปในระบบ ที่วัดเป็นจำนวนคลื่นสัญญาณต่อวินาที(Pulses per second) ความเที่ยงตรงของระบบจะขึ้นอยู่กับความสามารถของมอเตอร์ในการแบ่งขั้นการหมุนตามจำนวนคลื่นสัญญาณที่ป้อนเข้าในระบบ แรงบิดของมอเตอร์ชนิดนี้จะลดลงเมื่อความเร็วในการหมุนละขั้นเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรกลเล็กๆ ที่ไม่ต้องใช้กำลังขับมาก เช่น เครื่องพรอตเตอร์ (Plotter Machine) เป็นต้น

3) มอเตอร์กระแสสลับ(Alternate Current Motors)

ส่วนมากจะเป็นมอเตอร์แบบซิลโครนัส (Synchronous Motor) มอเตอร์ชนิดไม่ใช้แปรงถ่าน ทำให้ลดงานบำรุงรักษาได้ เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงในขนาดเดียวกัน มอเตอร์กระแสสลับจะสามารถให้แรงบิดได้ดีกว่า แต่วงจรควบคุมจะมีความซับซ้อนมากกว่าวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ดังในรูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบการสร้างและขนาดของมอเตอร์กระแสตรง กับมอเตอร์กระแสสลับแบบ3 เฟส (3 Phases)

4.3.6.2 **บอลล์สกรู**(Ball Screws)

การส่งกำลังขับด้วยบอลล์สกรู ซึ่งจะมีลูกบอลไหลหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา ถือเป็นหัวใจของระบบขับป้อนของเครื่องจักรซีเอ็นซี บอลล์สกรูจะประกอบด้วยสกรูกับนัตที่มีลักษณะเป็นเกลียวกลมร่องเกลียวกลมบนสกรูและนัตจะขุบแข็งและเจียรไนผิวเรียบมัน เพื่อลดความฝืดและเพิ่มความเที่ยงขนาดในการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.22 การขับป้อนของโต๊ะงาน

เมื่อมอเตอร์หมุนขับสกรู นัตก็จะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรูพาให้แท่นเลื่อนและโต๊ะงานเคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน ภายในตัวนัตประกอบด้วย ชุดของลูกบอลจำนวนมาก ดังในรูปที่ 4.23 ทำให้มั่นใจได้ว่าความเสียดทานในการส่งกำลังขับจากสกรูไปยังแท่นเลื่อนจะมีน้อยมาก นัตจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ซีก และขันประกอบยึดเข้าด้วยกันทำให้สามารถลดระยะคลอน (Backlash) ให้เหลือน้อยที่สุด ทำให้การเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนมีความเที่ยงตรงสูง

การต่อกำลังระหว่างมอเตอร์กับบอลล์สกรูจะมีชุดคลัตช์ความฝืดเป็นตัวเชื่อม ซึ่งคลัตช์จะมีหน้าที่ต่อกำลังขับและยังช่วยป้องกับอุบัติเหตุที่เกิดจากแท่นเลื่อนที่เกิดจากโต๊ะงานชน หรือกระแทกกับสิ่งกีดขวาง ทำให้เครื่องซีเอ็นซีไม่เสียหายมากเกินไป เนื่องจากเมื่อมีการชนหรือกระแทกกันขึ้น จนแรงมากถึงค่าหนึ่ง ชุดคลัตช์ก็จะตัดระบบการส่งกำลังขับระหว่างมอเตอร์กับตัวบอลล์สกรูทันที

4.3.7 ระบบการวัด(Measuring System)

ระบบการวัดการเคลื่อนที่ของแนวแกนหรือโต๊ะงานของเครื่องจักรในระบบซีเอ็นซี แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1) การวัดโดยตรง(Direct Measurement)

การวัดด้วยวิธีนี้จะใช้สเกลวัดยึดติดกับชุดแท่นเลื่อนหรือโต๊ะงาน ขณะที่โต๊ะงานเคลื่อนที่อุปกรณ์อ่านค่าวัด ก็จะอ่านค่าวัดจากขีดสเกลวัด และแปลงข้อมูลนี้ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อส่งไปยังระบบควบคุมต่อไป ดังรูปที่ 4.24

ข้อดีของการวัดโดยตรงคือ ความไม่เที่ยงตรงของเพลานำเลื่อน เช่น หากเพลานำเลื่อนเกิดระยะคลอน(Backlash) ขณะหมุนขับนั้น จะไม่มีผลต่อค่าที่อ่านได้ จากอุปกรณ์อ่านค่าวัด เนื่องจากอุปกรณ์อ่านค่าวัด จะอ่านค่าจากสเกลที่ติดอยู่กับโต๊ะงานในขณะเคลื่อนที่เท่านั้น

2) การวัดโดยทางอ้อม (Indirect Measurement)

การวัดด้วยวิธีนี้อาศัยอุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด (Resolver or Rotary Encoder) ซึ่งจะทำการบันทึกค่าการเคลื่อนที่หมุนขับของบอลล์สกรูและส่งสัญญาณข้อมูลไปยังระบบควบคุมของเครื่อง จากนั้นระบบควบคุมเครื่องก็จะใช้สัญญาณข้อมูลที่ได้รับนี้ไปคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่ของโต๊ะงานต่อไป ดังรูปที่ 4.25

4.3.8 การกำหนดแนวแกนของเครื่องจักร

เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซีโดยทั่วไปมีพื้นฐานการเคลื่อนที่ในลักษณะผสมผสานของแนวแกน 2 แนวแกนคือ แนวแกนที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (Linear motion) และแนวแกนที่เคลื่อนที่หมุน (Rotary motion)

การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง เครื่องจักรจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและจะขนานกันแนวแกนอ้างอิง ส่วนการเคลื่อนที่หมุนนั้น เครื่องจักรจะหมุนรอบแนวแกนอ้างอิง

ในการกำหนดแนวแกนในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรในระบบซีเอ็นซีนั้นจะอาศัยระบบการวัดโคออร์ดิเนตแบบ Cartesian Coordinate System ซึ่งประกอบด้วยแนวแกน 3 แนวแกน โดยที่แต่ละแนวแกนจะทำมุมฉากซึ่งกันและกัน ดังรูปที่ 4.26 การกำหนดแนวแกนของเครื่องจักร

นอกจากนี้ เครื่องจักรในระบบซีเอ็นซีบางชนิดก็จะมีแนวแกนป้อนและแนวแกนหมุนรวมกันอยู่หลายแนวแกน ซึ่งตามมาตรฐาน EIA-267-B (Electronic Industrial Association) ได้กำหนดมาตรฐานแนวแกนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีไว้ทั้งหมด 14 แนวแกน ประกอบด้วยแนวแกนที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง 9 แนวแกน และแนวหมุน 5 แนวแกน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.8.1 **แนวแกนแรกที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง** (Primary linear axis)

แนวแกนแรกที่มีการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง ซึ่งประกอบด้วยแนวแกน X, Y และแนวแกน Z โดยการกำหนดแนวแกนบนเครื่องจักรซีเอ็นซีจะใช้กฎมือขวา คือนิ้วหัวแม่มือใช้แทนแนวแกน X นิ้วชี้ใช้แทนแนวแกน Y และนิ้วกลางใช้แทนแนวแกน Z ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.27 แสดงการกำหนดแนวแกนแรก 3 แนวแกนโดยใช้กฎมือขวา

แนวแกนทั้ง 3 แนวแกนนี้ได้กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ไว้ดังนี้

แนวแกน X สำหรับกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของโต๊ะชิ้นงานไปตามความยาว

แนวแกน Y สำหรับการกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของโต๊ะชิ้นงานในแนวขนานที่มีระยะทางสั้นๆ โดยจะทำมุมตั้งกับแนวแกน X และแนวแกน Y

แนวแกน Z สำหรับกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้น/ลง และขนานกับแนวแกนของชิ้นส่วนหลัก (Main machine) ของเครื่องซีเอ็นซี

การเคลื่อนที่ของแนวแกนทั้ง 3 แนวแกนบนเครื่องจักรซีเอ็นซีจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการระบุทิศทาง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีการกำหนด 2 ลักษณะคือ ทิศทางการเคลื่อนที่เป็นบวก(+) และทิศทางการเคลื่อนที่เป็น (-)

การเคลื่อนที่ของแนวแกน Z จะกำหนดให้เป็นบวก (+Z) เมื่อเพลาเคลื่อนที่หรือเพลาจับเครื่องมือตัดขึ้นไปยังหัวเครื่องหรือถอยห่างออกจากชิ้นงาน และจะกำหนดให้เป็นลบ (-Z) เมื่อเพลาจับเครื่องมือตัดเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน

การเคลื่อนที่ของแนวแกน X จะถูกกำหนดให้เป็นบวก (+X) โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่ของแนวแกน Z และอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของเพลาจับเครื่องมือตัดและทิศทางการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น เครื่องกัดเพลาตั้ง (Vertical Z axis) ค่า X จะเป็นบวกเมื่อเคลื่อนที่ไปทางขวา

4.3.8.2 **แนวแกนที่เคลื่อนที่หมุนรอบแกน** (Primary rotary axis)

แนวแกนที่เคลื่อนที่รอบแกนจะระบุโดยใช้อักษร A, B และ C โดยที่ A **แทน**การหมุนรอบแกน X, B แทนการหมุนรอบแกน Y และ C แทนการหมุนรอบแกน Z ส่วนการกำหนด**ทิศทาง**จะเป็นบวกเมื่อหมุนทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 4.28 การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่หมุนรอบแนว**แกน**

4.3.8.3 **แนวแกนที่สองที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง** (Secondary linear axis)

เครื่องจักรซีเอ็นซีบางชนิดได้มีการกำหนดแนวแกนที่เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเพิ่มเติมจาก 3 แนวแกนแรก (X, Y, Z) โดยแนวแกนที่ 2 นี้จะกำหนดด้วยอักษร U, V และ W ซึ่งมีทิศทางการเคลื่อนที่ขนานกับแนวแกนแรก กล่าวคือแนวแกน U จะเคลื่อนที่ขนานกับแนวแกน X, แนว**แกน** V จะเคลื่อนที่ขนานกับแนวแกน Y และแนวแกน W จะเคลื่อนที่ขนานกับแนวแกน Z ดังในรูปที่ 4.29 การกำหนดแนวแกนที่ 2 และทิศทางการเคลื่อนที่ของแนวแกน

4.3.8.4 **แนวแกนที่ 2 ที่เคลื่อนที่หมุนรอบแกน** (Secondary rotary axis)

การกำหนดแนวแกนที่ 2 ที่เคลื่อนที่หมุนรอบแกน จะกำหนดโดยตัวอักษร Dและ E โดยที่แนวแกน D และ E นี้จะขนานกับแนวแกนแรกคือ แนวแกน A, B หรือแนวแกน C เช่นเครื่องกัดซีเอ็นซีชนิดของหัวกัดคู่ (Dual milling heads) ดังในรูปที่ 4.30 แนวแกน A และ B จะหมุนรอบแกน X และ Y ส่วนแนวแกนที่ 2 ที่เคลื่อนที่หมุนรอบแกน คือแนวแกน D นั้นจะหมุนรอบแกน X ในบางกรณี D อาจจะถูกใช้ในการกำหนดอัตราป้อนที่ (Secondary feed) ส่วน R นั้นก็จะใช้กำหนดอัตราป้อนที่ 3 เช่นเดียวกัน

4.3.8.5 **แนวแกนที่ 3 ที่เคลื่อนที่ในแนวแกนเส้นตรง** (Tertiary linear axis)

เครื่องจักรซีเอ็นซีบางชนิดซึ่งใช้กับงานที่มีความสลับซับซ้อนมากๆ นั้นจะถูกออกแบบให้มีแนวแกนที่ 3 ที่จะเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงเพิ่มมากขึ้นอีก โดยที่แนวแกนที่ 3 นี้จะกำหนดด้วยอักษร P, Q และ R และการเคลื่อนที่ก็จะขนานกับแนวแกนแรกคือ แนวแกน X, Y และ Z

4.3.9 **ระบบของตำแหน่ง** (Positioning Systems)

ในการเขียนโปรแกรมซีเอ็นซีจำเป็นจะต้องอาศัยระบบโคออร์ดิเนต เพื่อระบุตำแหน่งในการเคลื่อนที่เครื่องมือตัดบนชิ้นงาน การเปลี่ยนเครื่องมือ (Tool change) และกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์จับยึด การกำหนดตำแหน่งของเครื่องมือตัดจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบสัมบูรณ์

(Absolute position system) และ แบบต่อเนื่อง (Incremental position system) โดยวิธีการกำหนดตำแหน่งของแต่ละวิธีเป็นดังนี้

4.3.9.1 **การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์** (Absolute positioning)

การกำหนดตำแหน่งของจุดวิธีนี้จะอาศัยจุดอ้างอิงเพียงจุดเดียวในแบบงาน ซึ่งจุดที่อ้างอิงนี้จะเป็นจุดศูนย์ของระบบโคออร์ดิเนต การระบุขนาดของชิ้นงานให้ลากขนานกับแนวแกนและเริ่มต้นจากจุดอ้างอิงเสมอ ดังรูปที่ 4.31 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์

4.3.9.2 **การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง** (Incremental positioning)

การกำหนดตำแหน่งของจุดโดยวิธีนี้จะอ้างอิงจุดสุดท้ายที่ระบุตำแหน่งเป็นจุดเริ่มต้นของการให้ขนาดใหม่ต่อไป ดังรูปที่ 4.32 การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง

4.3.10 **โคออร์ดิเนตอ้างอิง** (Reference Coordinate)

การเคลื่อนที่ต่างๆของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี จะถูกควบคุมด้วยระบบโคออร์ดิเนต ตำแหน่งต่างๆที่ถูกต้องภายในพื้นที่ทำงานของเครื่องจักรกลจะวัดระยะมาจากจุดศูนย์ (Zero point) นอกจากจุดศูนย์แล้ว เครื่องจักรกลซีเอ็นซียังมีจุดอ้างอิง (Reference point) อื่นๆ เพื่อช่วยเสริมการทำงานและการทำโปรแกรมอีกด้วย

4.3.10.1 **จุดศูนย์ของเครื่อง** (Machine zero point , M)

จุดศูนย์ของเครื่องจะแทนด้วยสัญลักษณ์

เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของระบบโคออร์ดิเนตของเครื่องกัดซีเอ็นซี จุดศูนย์ของเครื่องนี้จะใช้ในการจับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องจักร ซีเอ็นซีกล่าวคือการจับยึดชิ้นงานบนเครื่องจะต้องให้สัมพันธ์กันระหว่างขนาดที่กำหนดในแบบงานกับระบบโคออร์ดิเนตของเครื่อง เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบขนาดซึ่งกันและกันได้ เครื่องจักรกลซีเอ็นซีทุกเครื่องระมีระบบโคออร์ดิเนตประเภทนี้อยู่ด้วย ระบบนี้จะกำหนดจากการเคลื่อนที่กับระบบวัดระยะการเคลื่อนที่ของเครื่องกัดที่มีอยู่ จุดศูนย์ของเครื่องกัดนี้จะเป็นตำแหน่งที่ถูกกำหนดโดยบริษัทที่ผลิตเครื่อง ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเองได้ ดังรูปที่ 4.33 ตำแหน่งจุดศูนย์ของเครื่องกัด

4.3.10.2 **จุดอ้างอิง** (reference point, R)

จุดอ้างอิง (R) **จะใช้แทนด้วยสัญลักษณ์** เป็นจุดที่ช่วยในการปรับค่าและควบคุมระบบวัดขนาดระยะการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อนและเครื่องมือ ตำแหน่งของจุดอ้างอิงจะถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าอย่างเที่ยงตรงในทุกแนวแกนของการเคลื่อนที่ด้วยสวิตช์จำกัดระยะหรือสวิตช์ขาเตะ (Limit switches หรือ Trip dogs) ดังนั้น ค่าโคออร์ดิเนตของจุดอ้างอิงจะมีค่าเดิมเสมอและรู้ค่าตัวเลขที่แน่นอนที่สัมพันธ์กับจุดศูนย์ของเครื่อง

ถ้าเกิดเหตุขัดข้องขึ้นจนทำให้ข้อมูลของตำแหน่งแท่นเลื่อนและเครื่องมือในปัจจุบัน สูญหายไปจากระบบควบคุม ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากไฟฟ้าดับ เป็นต้น จะต้องเลื่อนแท่นเลื่อนต่างๆกลับไปหาจุดอ้างอิงก่อนเริ่มทำงานใหม่เสมอ เพื่อปรับค่าของระบบวัดระยะการเคลื่อนที่ให้ถูกต้อง ดังรูปที่ 4.34 ตำแหน่งจุดอ้างอิงของเครื่องกัด

4.3.10.3 **จุดศูนย์ของชิ้นงาน**(Workpiece zero point)

ในระบบโคออร์ดิเนทสามารถที่จะเลือกข้อมูลโคออร์ดิเนทได้ด้วยวิธีง่ายๆ โดยการกำหนดตำแหน่งที่จะวางชิ้นงานลงในระบบโคออร์ดิเนท ที่สะดวกต่อการอ่านค่าจุดโคออร์ดิเนต รูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นการวางแบบชิ้นงานสี่เหลี่ยมตรงจุดใดๆ ในระบบโคออดิเนต ส่วนรูปที่ 4.36 เป็นแบบชิ้นงานเดิมที่วางให้ขอบงานสองด้านซ้อนทับกับแกน X และแกน Y ซึ่งวิธีหลังนี้จะสามารถใช้ค่าที่กำหนดในแบบชิ้นงานเป็นค่าโคออดิเนทได้เลย และสามารถตรวจสอบค่าได้ง่ายกว่า และยังช่วยหลีกเลี่ยงการคำนวณหาค่าโคออดิเนตเพิ่มเติมได้

จุดศูนย์ของชิ้นงาน (W) จะแสดงด้วยสัญลักษณ์ เป็นจุดที่ช่วยในการกำหนดระบบโคออดิเนตของชิ้นงานที่สัมพันธ์กับจุดศูนย์ของเครื่อง จุดศูนย์ของชิ้นงานจะถูกเลือกใช้โดยผู้เขียนโปรแกรม และป้อนเข้าไปในระบบซีเอ็นซีในขั้นตอนของการปรับตั้ง

ตำแหน่งของจุดศูนย์ของชิ้นงานสามารถที่จะกำหนดเลือกใช้ได้อย่างอิสระโดยผู้เขียนโปรแกรม แต่ต้องอยู่ภายในขอบเขตการทำงานของเครื่องกัด โดยมีหลักเกณฑ์ง่ายๆ คือ การกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงานควรจะกำหนดไว้ในตำแหน่งที่เป็นจุดอ้างอิงต่างๆ ที่กำหนดไว้ในแบบชิ้นงานอยู่แล้ว เพื่อความสะดวก และหลีกเลี่ยงการคำนวณค่าโคออดิเนตเพิ่มเติมได้

โดยทั่วไปแล้ว ตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงานมักนิยมใช้เป็นตำแหน่งเดียวกันกับจุดศูนย์ของโปรแกรม(Program Zero Point)

4.3.10.4 จุดอ้างอิงของเครื่องมือ(Tool Reference Points)

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับการตัดเฉือนชิ้นงานตามเส้นขอบรูป สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึง คือ การเคลื่อนที่ของขอบคมตัดของเครื่องมือที่ยึดอยู่กับชุดพาเครื่องมือ(Tool Carrier) เช่น เพลางานของเครื่องกัด เป็นต้น จะต้องเคลื่อนที่ในลักษณะที่ทำให้ขอบคมตัดของมีดกัดเคลื่อนที่ตามเส้นขอบรูปของชิ้นงานอย่างถูกต้อง

การเขียนโปรแกรมขนาดความยาวของเครื่องมือ จะต้องตรงกับขนาดความยาวของเครื่องมือที่เป็นจริง(รูปที่ 4.37) ถ้าระบบควบคุมเริ่มทำงานด้วยขนาดความยาวของเครื่องมือที่ไม่ถูกต้อง ก็จะทำให้ไม่ได้ขนาดของเส้นขอบรูปที่ต้องการ ถ้าขนาดของเครื่องมือสั้นเกินไป (รูปที่ 4.38) ก็จะตัดเฉือนเนื้อวัสดุออกไม่หมด และถ้าเครื่องมือยาวเกินไป (รูปที่ 4.39) ก็จะทำให้เกิดการตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานออกมากเกินไป

ดังนั้นขนาดความยาวของเครื่องมือจึงต้องทำการวัดขนาดก่อนที่เครื่องจักรกลจะเริ่มทำงานตามโปรแกรม และข้อมูลที่วัดได้จะถูกป้อนเข้าไปไว้ในระบบความจำส่วนที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของเครื่องมือ(Tool Data Storage) ของระบบควบคุมซีเอ็นซีและในการตัดเฉือนชิ้นงาน จะต้องควบคุมจุดปลายเครื่องมือหรือขอบคมตัดให้สัมพันธ์กับขนาดของเครื่องมือตลอดเส้นทางการเคลื่อนที่ตัดเฉือน (Machining path) ซึ่งขนาดของเครื่องมือจะต้องปรับตั้งให้สัมพันธ์กับจุด ปรับตั้งเครื่องมือ (Tool Setting Point)

จุดปรับตั้งเครื่องมือ(Tool Setting Point E.) เป็นจุดที่มีตำแหน่งที่แน่นอนบนด้ามจับยึดเครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 4.40 จุดปรับตั้งเครื่องมือนี้จะอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้สามารถวัดขนาดความยาวของเครื่องมือว่าห่างจากปลายเพลายึดเครื่องมือนั้นเท่าไร โดยทั่วไปค่าขนาดของเครื่องมือที่จะต้องป้อนเข้าไปในระบบควบคุมประกอบด้วย

- ความยาวของเครื่องมือ จะใช้ค่าโคออดิเนต Z หรือ L
- ระยะเยื้องศูนย์ของจุดปลายเครื่องมือหรือรัศมีของเครื่องมือ ซึ่งจะใช้ค่าโคออร์ดิเนต X, R หรือ Q

ตำแหน่งที่จุดปรับตั้งเครื่องมือสัมผัสกับเพลายึดเครื่องมือ คือจุดปลายรูสวมยึดเครื่องมือ (Tool Socket Point, N) เมื่อสวมเครื่องมือหรือด้ามยึดเครื่องมือเข้าไปในรูของเพลายึดเครื่องมือของชุดพาเครื่องมือ เช่น ชุดเทอเรท เป็นต้น จุดปรับตั้งเครื่องมือจะซ้อนทับจุดปลายรูสวมยึดเครื่องมือพอดี

จุดอ้างอิงของเครื่องมือมีความสำคัญสำหรับการปรับตั้งเครื่องมือมาก ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องมือจะต้องป้อนเข้าไปเก็บไว้ในหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของเครื่องมือก่อนที่จะเริ่มทำงานตัดเฉือนตามโปรแกรมที่เตรียมไว้

4.3.11 คำสั่งที่ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี

ระบบการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องกัดทำงานตามต้องการตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ การที่เครื่องกัดจะเคลื่อนที่ทำงานได้นั้น ระบบควบคุมจะต้องได้รับการบอกกล่าวถึงวิธีการทำงาน ข้อมูลที่ใช้ในการบอกกล่าวจะถูกเขียนในรูปโปรแกรมซีเอ็นซี ซึ่งช่างควบคุมหรือช่างเขียนโปรแกรมจะทำการป้อนข้อมูลเข้าไปในระบบควบคุม ระบบควบคุมจะอ่านโปรแกรมซีเอ็นซีและเปลี่ยนข้อมูลที่ได้รับเป็นสัญญาณควบคุมสำหรับเครื่องกัด การสร้างโปรแกรมซีเอ็นซีจะถูกกำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตระบบควบคุมภายใต้แนวทางที่เป็นมาตราฐาน

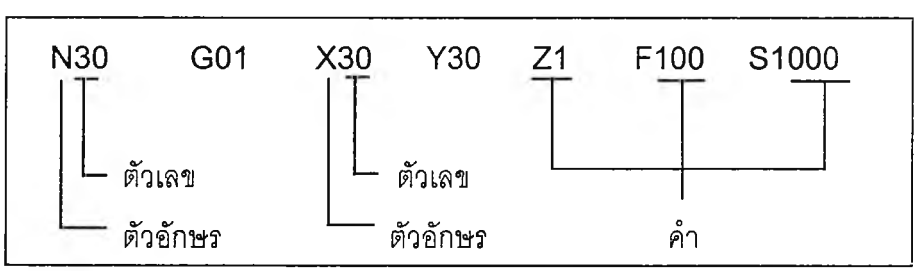
โปรแกรม (Program) หมายถึงการรวมกันของบล็อกหลายๆบล็อกที่เขียนตามลำดับขั้นตอนในการทำงานตามที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะประกอบด้วยคำสั่งที่เกี่ยวกับการทำงานและคำสั่งช่วยในการทำงาน เช่น คำสั่งเคลื่อนที่เร็ว (G00) คำสั่งเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง (G01) เป็นต้น ส่วนคำสั่งช่วยในการทำงานประกอบได้วยตำแหน่งที่เคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด (Coordinate) ความเร็วรอบของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด (Spindle speed0 อัตราป้อน (Feed rate) เป็นต้น

บล็อก (Block) หมายถึงการนำจำนวนคำ (Word) หลายคำมาประกอบกันเป็นคำสั่งควบคุมการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี เช่น

N01 T01 M06 บล็อกที่ประกอบด้วยจำนวนคำ 3 คำ

N02 G00 X0 Y0 Z2 M13 บล็อกที่ประกอบด้วยจำนวนคำ 5 คำ

โปรแกรมบล็อกประกอบด้วยรหัสคำสั่ง รหัสที่ใช้อยู่แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ หมายเลข (numbers) ตัวอักษร (Character) และสัญลักษณ์ (Symbols) รวมกัน



ตัวอักษร (character) ในโปรแกรมซีเอ็นซีจะใช้ตัวอักษรเพื่อกำหนดลักษณะการทำงาน หรือกำหนดเงื่อนไขต่างๆ โดยกำหนดตำแหน่งของตัวอักษรไว้ที่ด้านหน้าของคำแต่ละคำ (Word) ดังตัวอย่างของตัวอักษรตามมาตรฐานเยอรมัน (DIN 66025) ดังตาราง 4.2 ตัวอักษรตามมาตราฐานเยอรมัน (DIN 66025)

คำ (Word) หมายถึงกลุ่มของตังอักษรหรือสัญลักษณ์ที่ประกอบกันขึ้นเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี เช่น

N01 หมายถึง หมายเลขบรรทัดของโปรแกรม

G01 หมายถึง การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตามอัตราป้อน

4.3.11.1 ชนิดคำสั่งของโปรแกรมซีเอ็นซี

คำสั่งของโปรแกรมซีเอ็นซี หรือภาษาโปรแกรมซีเอ็นซีของระบบควบคุม จะเป็นกฎที่ใช้สำหรับการกำหนดว่าโปรแกรมบล็อกใดที่จะต้องเขียนขึ้นสำหรับสั่งให้เครื่องจักรทำงาน โปรแกรมซีเอ็นซีโดยปกติแล้วในโปรแกรม จะมีคำสั่งที่แบ่งได้เป็น 4 ชนิด

ก) คำสั่งของโปรแกรม จะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ

- หมายเลขโปรแกรม เช่น N4711
- หมายเลขบรรทัด เช่น N1, N2
- บรรทัดที่จะสั่งให้ข้ามไป เช่น /N7

ข) คำสั่งทางเรขาคณิต เป็นคำสั่งที่บอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด เช่น G00, G01, G02, G03

ค) คำสั่งทางเทคโนโลยี เป็นคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่

F = อัตราป้อน (มม./นาที)

S = ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

T = เครื่องมือตัด

ง) คำสั่งช่วย เป็นคำสั่งที่ใช้ช่วยในการทำงานหรือใช้ในการเปิดสวิทซ์อุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ เช่น M01, M03

4.3.11.2 ชนิดของคำในโปรแกรมซีเอ็นซี

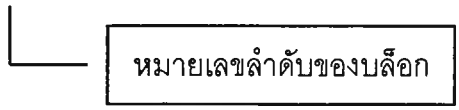
คำที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมซีเอ็นซี เพื่อกำหนดหน้าที่ และควบคุมการทำงานของเครื่อง ซีเอ็นซี แบ่งออกได้เป็นดังนี้

1) หมายเลขลำดับของบล็อก (Nxxx)

ในโปรแกรมเอ็นซีจะมีหมายเลขของบล็อกกำกับไว้ตามขั้นตอนในการทำงาน หรือขั้นตอนในการขึ้นรูปชิ้นงาน เช่น

N005 G00 X0 Y0

N006 G01 Z2 M13

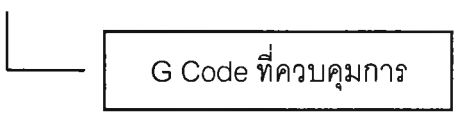


2) **การจัดเตรียมการทำงาน** (G)

การจัดเตรียมในการทำงานในระบบซีเอ็นซีจะกำหนดด้วยอักษร G และตามด้วยตัวเลข 2 หลัก เพื่อกำหนดและควบคุมการทำงาน ตัวอย่างรหัสที่ใช้ในการจัดเตรียมการทำงานสำหรับงานกัด (Milling)

เช่น N005 **G00** X0 Y0

N006 **G01** Z2 M13



หมายเหตุ : รหัส G จะเป็นรหัสที่มีการทำงานอยู่ 2 ลักษณะ คือ แบบ Modal และแบบ Nonmodalโดยที่ Modal จะเป็นรหัสที่ถูกปรับตั้งค่าไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง เมื่อเปิดสวิตซ์ของเครื่อง รหัสนี้จึงจะทำงานและจะถูกยกเลิกการทำงานเมื่อมีรหัส G ในกลุ่มเดียวกัน ไปคำสั่งยกเลิก ยกตัวอย่างเช่น รหัส G แบบ Modal เช่น G00, G01, G02, G03, G90, G91 เป็นต้น ส่วนNonmodal จะเป็นรหัสที่ทำงานในบรรทัดเดียวคือ เฉพาะบรรทัดที่มีรหัสนี้อยู่ เช่น G28, G49, G92 เป็นต้น

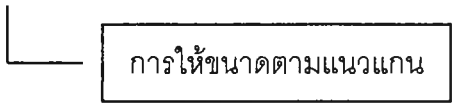
3) **การให้ขนาดตามแนวแกน** (X,Y,Z)

การให้ขนาดตามแนวแกนเป็นการระบุตำแหน่งปลายทางในการเคลื่อนที่ ของเครื่องมือตัดไปตามแนวแกนของเครื่องจักรซีเอ็นซี เช่น เคลื่อนที่ไปตามแนวแกน X, Y และ Z โดยที่การให้ขนาดนี้ จะใช้รหัสอักษรของแนวแกน และตามด้วยระยะทางในการเคลื่อนที่ ซึ่งตัวเลขระบุระยะทางในการเคลื่อนที่ อาจจะมีทั้งค่าบวก(+) และค่าลบ(-) เลขจำนวนเต็ม หรือมีจุดทศนิยมก็ได้ ตัวอย่างการให้ขนาดตามแนวแกน เช่น

N050 G90 **X-2.0** Y-1.0

N055 G01 **X0** Y0 F150

N060 G01 **Z-0.5**



หมายเหตุ : การให้ขนาดจะต้องมีจำนวนตัวเลขต่อ 1 คำไม่เกินจำนวน 8 ตัว (คอนโทรล Fanuc) เพราะถ้าเกิน 8 ตัวแล้วจะทำให้การส่งสัญญาณในระบบเอ็นซีผิดพลาดได้ ยกตัวอย่างเช่น X 1.23456789 , Y 1.2345678 เป็นต้น

4) ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง (I , J , K)

การให้ขนาดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของวงกลม (I , J , K) จะใช้ในกรณีที่เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง เช่น G02 หรือ G03 โดยที่

I คือ ขนาดที่วัดจากจุดเริ่มต้นของส่วนโค้งถึงจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งในแนวแกน X

J คือ ขนาดที่วัดจากจุดเริ่มต้นของส่วนโค้งถึงจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งในแนวแกน Y

K คือ ขนาดที่วัดจากจุดเริ่มต้นของส่วนโค้งถึงจุดศูนย์กลางของส่วนโค้งในแนวแกน Z

เช่น N015 G03 X0.5 Y3.0 **I-0.5 J0.866**

ตำแหน่งจุดศูนย์กลางส่วนโค้ง

5) การหมุนของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด (S)

ความเร็วรอบของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด (Spindlespeed) ในโปรแกรมเอ็นซีจะใช้รหัสตัวอักษร คือ S และตามด้วยตัวเลขของความเร็วรอบ 2 ถึง 5 หลัก โดยที่ความเร็วรอบนี้จะมีหน่วยวัดเป็นรอบ/นาที (revoluation per minute :RPM)

เช่น N004 **S1000** M03

ความเร็วรอบในการหมุน

6) เครื่องมือตัด (T)

การเรียกเครื่องมือตัด หรือการเปลี่ยนเครื่องมือตัด(M06) จะกำหนดโดยใช้รหัสตัวอักษร T และตามด้วยหมายเลขลำดับของเครื่องมือที่ติดตั้งไว้ในชุดเปลี่ยนเครื่องมือโดยอัตโนมัติ (automatic tool magazine)

เช่น N003 **T1** M06

การเรียกเครื่องมือตัดหมายเลข 1

7) **อัตราป้อน** (F)

การกำหนดอัตราป้อนในโปรแกรมเอ็นซีจะกำหนดโดยใช้รหัสตัวอักษร F(Feed) และตามด้วยค่าตัวเลขของอัตราป้อน โดยปกติแล้วการกำหนดอัตราป้อนสำหรับงานกัด และงานเจาะนั้น มีหน่วยวัดเป็นนิ้ว/นาที หรือ มิลลิเมตร/นาที และการกำหนดอัตราป้อนในงานกลึงจะมีหน่วยวัดเป็นนิ้ว/รอบ หรือ มิลลิเมตร/รอบ

เช่น N055 G01 X0 Y0 **F150**

N060 G01 Z-0.5 **F100**

อัตราป้อน

8) **การทำงานเสริม** (M)

การทำงานเสริมหรือคำสั่งช่วยงาน (Miscellaneous function) ในโปรแกรมเอ็นซีจะกำหนดด้วยรหัสอักษร M ซึ่งเป็นรหัสคำสั่งที่ช่วยควบคุมระบบการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี ร่วมกับคำสั่งการจัดเตรียมการทำงาน(G) การกำหนดรหัสคำสั่งชนิดนี้จะใช้ตัวเลข 2 หลักต่อท้ายตัวอักษร M

เช่น N01 T1 **M06**

N02 S1000 **M03 M08**

M Code ที่เสริมการทำงาน

4.3.12 เปรียบเทียบคำสั่งที่เหมือนและแตกต่างกันใน โปรแกรมซีเอ็นซี

การเปรียบเทียบคำสั่งที่ใช้ในการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี โดยทำการเปรียบเทียบคำสั่งของชุดควบคุม (Controller) Heidenhain 430 ที่เป็นชุดควบคุมที่ผลิตจากประเทศ เยอรมัน ,Fanucและ Mitsubishi ที่เป็นชุดควบคุมที่ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น ชุดควบคุมที่มีการใช้ในเครื่องจักรต่างๆสามารถระบุได้ขณะที่ทำการเลือกซื้อเครื่องจักร ซึ่งชุดชุดควบคุมแต่ละผู้ผลิตที่ประสิทธิภาพคล้ายคลึงกัน แต่ใช้มาตรฐานของคำสั่งที่แตกต่างกัน โดยที่ คำสั่งของ Heidenhain ใช้มาตรฐาน DIN 8589 ส่วนของ Mitsubishi ใช้มาตรฐาน ISO R-840 และ Fanuc ใช้มาตรฐาน ISO R-840 เช่นกัน ดังนั้นจึงมีความแตกต่างกันของคำสั่งที่ใช้ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบคำสั่งในโปรแกรมซีเอ็นซี

จากตารางเปรียบเทียบจะเห็นว่าคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี มีคำสั่งบางส่วนที่เหมือนกัน และบางส่วนที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.3.12.1 **คำสั่งที่เหมือนกัน**

คำสั่งในโปรแกรมซีเอ็นซีที่เหมือนกันทั้ง 3 ชุดควบคุมได้แก่

1) **คำสั่งที่ใช้ในการเคลื่อนที่**

ก.) การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงแบบเคลื่อนที่เร็ว (G00) ซึ่งมีทั่ง 3 ชุด ควบคุม จะเหมือนกัน คือ G00 Xx Yy Zz

ข.) การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง (G01) ภายใต้การควบคุมด้วยอัตราป้อน (F) คือ G01 Xx Yy Zz Ff

ค.) การเคลื่อนที่แนวเส้นโค้ง ตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา (G02/G03) ทั้ง 3 ชุดควบคุม จะใช้เหมือกันในส่วนของคำสั่ง G02/G03 แต่จะต่างกันเพียงการกำหนดการกำหนดจุดศูนย์กลางของการเคลื่อนที่ในแนวเส้นโค้ง คือ ชุดควบคุม Heidenhain จะกำหนดการเคลื่อนที่แนวเส้นโค้งได้ 2 แบบ คือ

- กำหนดระยะทางจากตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงานไปยังตำแหน่งจุดศูนย์กลางในแนวแกนเป็นแบบสัมบูรณ์ คือ G02/G03 Xx Yy Zz Ii Jj Kk

  Xx Yy Zz หมายถึง จุดสิ้นสุดส่วนโค้ง

  Ii Jj Kk หมายถึง จุดศูนย์กลางส่วนโค้ง ในแนวแกน X,Y,Z

- การเคลื่อนที่แนวเส้นโค้ง แบบกำหนดรัศมีส่วนโค้ง

  คือ G02/G03 Xx Yy Zz Rr

  R คือ รัศมีส่วนโค้ง โดยกำหนด R>0 เมื่อส่วนโค้ง มีมุมน้อยกว่า 180 องศา และ R<0 เมื่อส่วนโค้งมีมุมมากกว่า 180 องศา

ส่วนชุดควบคุม Fanuc และ Mitsubishi จะกำหนดการเคลื่อนที่แนวเส้นโค้ง ได้ 2 แบบคือ

- กำหนดระยะทางจากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งจุดศูนย์กลางในแนวแกน เรียกว่า เป็นการกำหนดจุดศูนย์แบบต่อเนื่อง คือ

  G02/G03 Xx Yy Zz Ii Jj Kk

  Xx Yy Zz คือ จุดสิ้นสุดส่วนโค้ง

  Ii Jj Kk คือ จุดศูนย์กลางส่วนโค้งในแนวแกน X , Y , Z

- การเคลื่อนที่แนวเส้นโค้งแบบรัศมีส่วนโค้ง คือ

G02/G03 Xx Yy Zz Rr

Xx Yy Zz คือ จุดสิ้นสุดส่วนโค้ง

Rr คือ รัศมีส่วนโค้ง

2) การกำหนดระนาบในการทำงาน

การกำหนดระนาบในการทำงานทั้ง 3 ชุดควบคุมจะเหมือนกัน คือ

- การกำหนดระนาบในการทำงาน XY คำสั่งที่ใช้คือ G17
- การกำหนดระนาบในการทำงาน XZ คำสั่งที่ใช้คือ G18
- การกำหนดระนาบในการทำงาน YZ คำสั่งที่ใช้คือ G19

3) การชดเชยเครื่องมือตัด

การชดเชยเครื่องมือตัด ทั้ง 3 ชุดควบคุม จะเหมือนกันในส่วนของ G40, G41 และ G42 คือ

- G40 เป็นการยกเลิกการชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดตามเส้นขอบรูป
- G41 เป็นการชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดด้านซ้ายตามเส้นขอบรูป
- G42 เป็นการชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดด้านขวาตามเส้นขอบรูป

4) การให้ขนาดแบบสัมบูรณ์และแบบต่อเนื่อง

การให้ขนาดแบบสัมบูรณ์และแบบต่อเนื่อง ทั้ง 3 ชุดควยคุมจะใช้เหมือนกันดังนี้

- การให้ขนาดแบบสัมบูรณ์ : G90

การให้ขนาดแบบสัมบูรณ์จะเป็นลักษณะที่อ้างอิงระยะทางกับจุดศูนย์ของระบบแนวแกนหลักทั้งสาม โดยปกติจะเป็นจุดเดียวกับจุดศูนย์ของชิ้นงานหรือจุดศูนย์ของโปรแกรมที่กำหนดจุดศูนย์ของชิ้นงานขึ้นมาใหม่

- การให้ขนาดแบบต่อเนื่อง : G91

การให้ขนาดแบบต่อเนื่องจะเป็นลักษณะที่อ้างอิงระยะทางกับตำแหน่งปัจจุบัน โดยให้ขนาดตมแนวแกนหลักทั้งสาม มีทิศทางบวก (+) หรือ ลบ (-) อ้างอิงจากระบบแนวแกนหลักทั้งสามและตำแหน่งปัจจุบัน

5) **การหมุนของเครื่องมือตัด S**

ในการป้อนความเร็วรอบความเร็วรอบของเครื่องกัดซีเอ็นซีสามารถสั่งเปลี่ยนความเร็วรอบได้โดยไม่จำเป็นที่จะต้องหยุดเครื่องก่อน นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มและลดความเร็วรอบได้ ประมาณ 20% ของความเร็วรอบปัจจุบัน การกำหนดความเร็วรอบอย่างเดียวไม่สามารถจะหมุนเพลางานได้ เพราะฉะนั้นจะต้องเพิ่มคำสั่งในการหมุนเพลางานดังนี้ คือ

M03 = เพลางานหมุนตามเข็มนาฬิกา (CLW)

M04 = เพลางานหมุนทวนเข็มนาฬิกา (CCLW)

M05 = หยุดเพลางาน

ซึ่งทั้ง 3 ชุดควบคุม จะเหมือนกัน แต่ชุดควบคุมของ Heidenhain จะเพิ่มคำสั่งหมุนเพลางานพร้อมกับเปิดน้ำหล่อเย็นได้ โดยใช้คำสั่ง ดังนี้

M13 = เพลางานหมุนทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับเปิดน้ำหล่อเย็น

M14 = เพลางานหมุนทิศทางทวนเข็มนาฬิกา พร้อมกับเปิดน้ำหล่อเย็น

6) **การกำหนดเครื่องมือตัด T**

ในการปฏิบัติงานกับเครื่องกัดซีเอ็นซี จะต้องเรียกเครื่องมือตัดออกมาใช้ และเปลี่ยนเครื่องมือตัดเมื่อถึง ขั้นตอนการทำงานต่อไป การเปลี่ยนและเรียกเครื่องมือตัดจะมีคำสั่งที่ใช้เรียกออกมาซึ่งทั้ง 3 ชุดควบคุม จะใช้ ดังนี้ คือ T ตามด้วยหมายเลขเครื่องมือตัด และตามด้วยคำสั่ง M06

7) **การกำหนดอัตราป้อน F**

การกำหนดอัตราป้อน สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีที่ใช้ชุดควบคุมของ Fanuc และ Mitsubishi สามารถกำหนดอัตราป้อนเป็นมาตรฐาน คือ G94 (มม./นาที) จนกระทั่งเราใช้คำสั่ง G95 (มม./รอบ) เครื่องจึงเปลี่ยนหน่วยตามอัตราป้อนใหม่ที่เราใส่เข้าไป

G94 = อัตราป้อน (มม./นาที)

G95 = อัตราป้อน (มม./รอบ)

สำหรับชุดควบคุม Heindenhain ไม่สามารถกำหนดได้

8) **คำสั่งช่วยงาน** (Miscellaneous function)

ในโปรแกรมเอ็นซีจะกำหนดด้วยรหัสอักษร M ซึ่งเป็นรหัสคำสั่งที่ช่วยควบคุมระบบการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี ร่วมกับคำสั่งการจัดเตรียมการทำงาน (G) การกำหนดรหัสคำสั่งชนิดนี้จะใช้ตัวเลข 2 หลักต่อท้ายตัวอักษร M ซึ่งทั้ง 3 ชุดควบคุมจะใช้ไม่แตกต่างกัน กล่าวคือ

- M02/M30 จะใช้เมื่อจบโปรแกรม
- M03/M04 จะใช้เมื่อเปิดเพลางานหมุน
- M05 จะใช้เพื่อให้เพลางานหยุดหมุน
- M08/M09 จะใช้เปิด/ปิดน้ำหล่อเย็น

4.3.12.2 **คำสั่งที่ต่างกัน**

คำสั่งในโปรแกรม ที่ใช้ในการควบคุมที่ต่างกัน ของชุดควบคุมทั้ง 3 คือ

1) ใช้ G24 และ G25 ตามด้วยค่า R คือขนาดที่ต้องการลบมุม ส่วนชุดควบคุม Mitsubishi และ Fanuc นั้น จะใช้ C หรือ R ตามหลัง G01 ซึ่งค่า C และ R คือขนาดที่ต้องการในการลบมุม
2) คำสั่งในการเคลื่อนที่เข้า และออกจากงาน จะมีเฉพาะชุดควบคุมของ Heidenhain คือ คำสั่ง G26 และ G27
3) คำสั่งการกำหนดขอบเขตวัสดุสำหรับภาพกราฟฟิค มีเฉพาะชุดควบคุมของ Heidenhain คือใช้ G30 เพื่อกำหนดขนาด(Blank) สำหรับทำภาพกราฟฟิคที่จุดต่ำสุด และ G31 เพื่อกำหนดขนาด(Blank) ที่จุดสูงสุด ส่วนของ Fanuc และ Mitsubishi ไม่จำเป็นต้องใช้
4) การย้ายจุดอ้างอิง Datum table ของชุดควบคุม Heidenhain ใช้ G54 และตามด้วยจุดในตาราง Datum table ส่วนของ Fanuc และ Mitsubishi จะใช้ G54, G55, G56, G57, G58 และG59
5) การย้ายจุดอ้างอิงในโปรแกรม ทั้ง 3 ชุดควบคุมจะมีลักษณะการทำงานเหมือนกัน แต่ต่างกันที่ G Code ที่ใช้ คือ Heidenhain ใช้ G54 ส่วนของ Fanuc ใช้ G92
6) การทำภาพเหมือนกลับด้าน จะมีเฉพาะ Heidenhain คือ ใช้ G28 ส่วนของ Fanuc และ Mitsubishi ในรุ่นที่ทำการศึกษา เปรียบเทียบไม่มีคำสั่งทำภาพเหมือนกลับด้าน
7) การย่อ/ขยาย จะมีเฉพาะ Heidenhain คือใช้ G72 ส่วนของ Fanuc และ Mitsubishi ในรุ่นที่ศึกษาเปรียบเทียบไม่มีคำสั่งการย่อ/ขยาย

8) การหมุนระบบโคออร์ดิเนต จะมีเฉพาะ Heidenhain คือ ใช้ G73 ส่วนของ Fanuc และ Mitsubishi ในรุ่นที่ศึกษาเปรียบเทียบไม่พบการหมุนระบบโคออร์ดิเนต
9) การป้อนหน่วยวัดในชุดควบคุม ทั้ง 3 สามารถกำหนดได้เหมือนกัน แต่จะต่างกันตรงที่ G Code ที่ใช้คือ ชุดควบคุมFanuc และ Mitsubishi จะใช้ G20 เมื่อกำหนดหน่วยเป็นนิ้ว และกำหนดหน่วยเป็นมิลลิเมตรจะใช้ G21 ส่วน Heidenhain จะใช้ G70 สำหรับหน่วยเป็นนิ้ว และ G71 สำหรับหน่วยเป็นมิลลิเมตร
10) วัฏจักรมาตรฐานจะแตกต่างกันกันทั้งหมด โดยที่ Heidenhain จะแตกต่างจาก Fanuc และ Mitsubishi โดยที่ วัฏจักรมาตรฐานของ Heidenhain ใช้ค่าพารามิเตอร์แตกต่างกับ Fanuc และ Mitsubishi ซึ่ง โปรแกรมของ Heidenhain ค่าพารามิเตอร์ P ตามหลัง G74 ถึง G84 และในกลุ่ม G200 จะใช้ค่าพารามิเตอร์ ที่เป็นค่า Q ส่วนของ Fanuc และ Mitsubishi เหมือนกัน ซึ่งทั้ง 2 ชุดควบคุมจะมีค่าเหมือนกัน คือใช้ค่าพารามิเตอร์ X,Y ,Z, R และ Q เป็นต้น

สรุปผลการเปรียบเทียบ

จากการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องจักรที่มีชุดควบคุมที่แตกต่างทั้งหมดจะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ชุดควบคุมของเครื่องกัดซีเอ็นซีจะเหมือนกันเกือบทั้งหมดเช่น เกี่ยวกับระบบควบคุมการทำงาน และระบบการขับป้อนต่างจะเหมือนกัน ซึ่งจะแตกต่างกันในส่วนของโปรแกรมการสั่งงานให้เครื่องปฏิบัติงานตามแบบงานแต่จะแตกต่างกันเพียงบางส่วนเท่านั้น เช่น วัฏจักรมาตรฐาน เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบเครื่องกัดซีเอ็นซี

รายละเอียด	Heidenhain	Fanuc	Mitsubishi
ชุดควบคุมของเครื่องซีเอ็นซี			
- ส่วนเก็บข้อมูล (Program memory)	Hard disk 6,000 block in max 64 program – 54 milion	Memory card 128-204 KB	Memory card
- CPU	-	32 bit	64 bit
- Block Processing Speed	4 ms	0.085 μs/step	0.15-0.2 gs/step
- Input Resolution and display step	1μm หรือ 0.0001°	1μm หรือ 0.0001°	1μm หรือ 0.0001°
- Max Axes	3-9	3-24	3-32
- Max Spindles	1-4	1-2	1-2
อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร			
- จอภาพ	Monochrome	LCD, Color LCD, Monochrome LCD/MDI	LCD, Color LCD, Monochrome
- แผงควบคุมการทำงาน	Remote, Keyboard	Remote, Keyboard /Keypad	Remote, Keyboard/Keypad
- ส่วนป้อนข้อมูลเข้า/ออก (Data Interface)	RS-232-C/RS-422	RS-232-C/RS-422	RS-232-C/RS-422
การควบคุมการขับเซอร์โว			
- เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Drive)	AC Servo motor	AC Servo motor	AC Servo motor
- ระบบการขับป้อน	บอลล์นัต และบอลล์สกรู	บอลล์นัต และบอลล์สกรู	บอลล์นัต และบอลล์สกรู
- ระบบการวัดระยะ	การวัดโดยตรง (Linear scale)	การวัดโดยตรง (Linear scale)	การวัดโดยตรง (Linear scale)
การควบคุมความเร็วของเพลาขับ			
- Spindle Drives	AC Spindle motor	AC Spindle motor	AC Spindle motor
โปรแกรมควบคุม	DIN 8589	ISO R-840	ISO R-840

ตารางที่ 4.2 ตัวอักษรตามมาตรฐานเยอรมัน (DIN 66025)

ตัวอักษร	ลักษณะสำคัญ
A	การหมุนรอบแกน X
B	การหมุนรอบแกน Y
C	การหมุนรอบแกน Z
D	หมายเลขการชดเชยขนาดเครื่องมือ
E	อัตราป้อนรอง
F	อัตราป้อน
G	คำสั่งการเคลื่อนที่
H	(ไม่มีการกำหนด)
I	พารามิเตอร์ของการแทนที่ หรือ ระยะพิตของเกลียวที่ขนานกับแกน X
J	พารามิเตอร์ของการแทนที่ หรือ ระยะพิตของเกลียวที่ขนานกับแกน Y
K	พารามิเตอร์ของการแทนที่ หรือ ระยะพิตของเกลียวที่ขนานกับแกน Z
L	(ไม่มีการกำหนด)
M	การทำงานเสริม
N	หมายเลขบล็อก
O	(ไม่มีการกำหนด)
P	การเคลื่อนที่ขนานกับแกน X แนวที่ 3
Q	การเคลื่อนที่ขนานกับแกน Y แนวที่ 3
R	การเคลื่อนที่ขนานกับแกน Z แนวแกนที่ 3 หรือการเคลื่อนที่ในแนวแกน Z
S	ความเร็วรอบของเพลางาน
T	เครื่องมือ
U	การเคลื่อนที่ขนานกับแกน X แนวที่ 2
V	การเคลื่อนที่ขนานกับแกน Y แนวที่ 2
W	การเคลื่อนที่ขนานกับแกน Z แนวที่ 2
X	การเคลื่อนที่ในแนวแกน X
Y	การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y
Z	การเคลื่อนที่ในแนวแกน Z

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบคำสั่งในโปรแกรมซีเอ็นซี

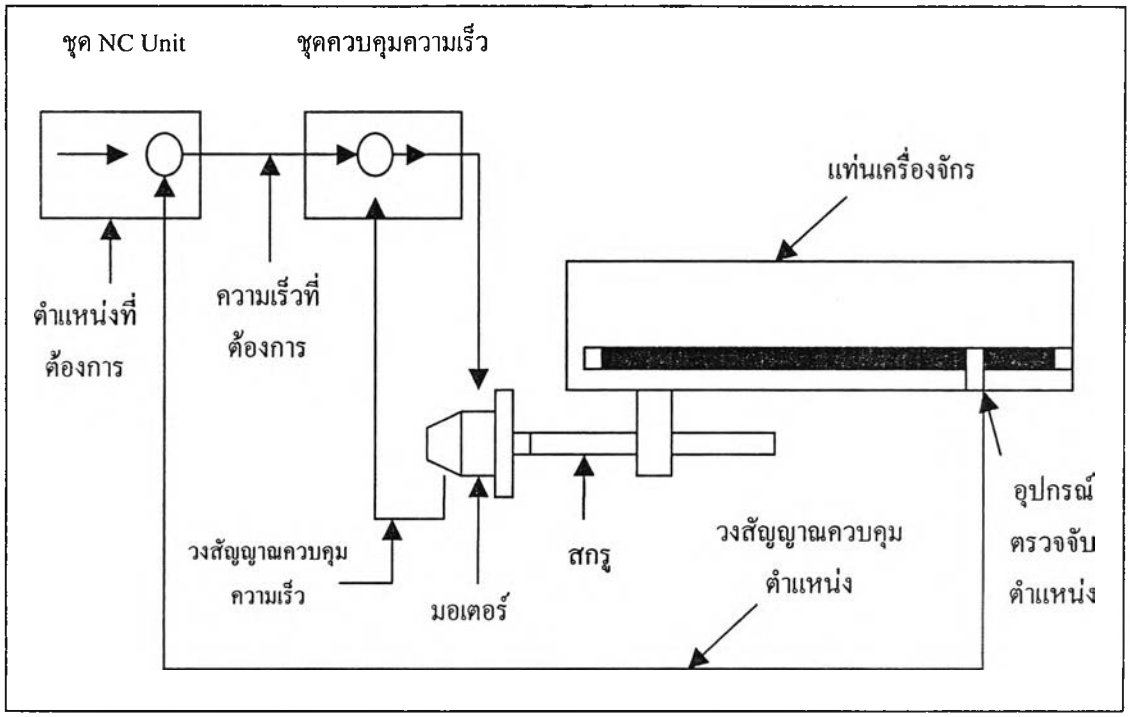
คำสั่ง	HEINDENHAIN	FANUC	MITSUBISHI
1. G Function			
1.1การเคลื่อนที่			
1.1.1 การเคลื่อนที่แนวเส้นตรงแบบเคลื่อนที่เร็ว	G00	G00	G00
1.1.2 การเคลื่อนที่แนวเส้นตรง	G01	G01	G01
1.1.3 การเคลื่อนที่แนวส่วนโค้งตามเข็มนาฬิกา	G02	G02	G02
1.1.4 การเคลื่อนที่แนวส่วนโค้งทวนเข็มนาฬิกา	G03	G03	G03
1.2 การกำหนดระนาบในการทำงาน			
1.2.1 เลือกระนาบการทำงาน XY เครื่องมืออยู่ในแนวแกน Z	G17	G17	G17
1.2.2 เลือกระนาบการทำงาน XZ เครื่องมืออยู่ในแนวแกน Y	G18	G18	G18
1.2.3 เลือกระนาบการทำงาน YZ เครื่องมืออยู่ในแนวแกน X	G19	G19	G19
1.3 คำสั่งในการลบมุม			
1.3.1 การลบมเส้นตรงด้วยระยะ R	G24	-	-
1.3.2 การลบมเส้นโค้งด้วยระยะ R	G25	-	-
1.4 การเคลื่อนที่เข้าและออกจากงาน			
1.4.1 การเคลื่อนที่เข้าหาขอบรูปแนวเส้นสัมผัสด้วยรัศมี R	G26	-	-
1.4.2 การเคลื่อนที่ออกจากขอบรูปแนวเส้นสัมผัสด้วยรัศมีR	G27	-	-
1.5 การกำหนดขอบเขตวัสดุ สำหรับภาพกราฟฟิค			
1.5.1 ขนาดวัสดุ (Blank) สำหรับการทำภาพกราฟฟิค-จุดต่ำสุด	G30	-	-
1.5.2 ขนาดวัสดุ (Blank) สำหรับการทำภาพกราฟฟิค-จุดต่ำสุด	G31	-	-
1.6 การชดเชยเครื่องมือตัด			
1.6.1 ยกเลิกการชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดตามเส้นขอบรูป	G40	G40	G40
1.6.2 การชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดด้านซ้ายตามเส้นขอบรูป	G41	G41	G41
1.6.3 การชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดด้านขวาตามเส้นขอบรูป	G42	G42	G42

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบคำสั่งในโปรแกรมซีเอ็นซี (ต่อ)

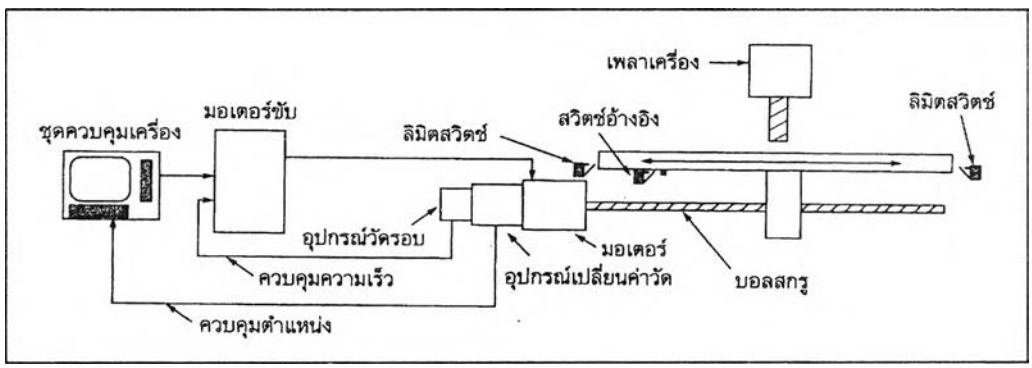
คำสั่ง	HEINDENHAIN	FANUC	MITSUBISHI
1.7 การย้ายจุดโคออดิเนต			
1.7.1 การย้ายจุดอ้างอิง ใน Datum Table	G53	G54-G59	G54-G59
1.7.2 การย้ายจุดอ้างอิง ใน โปรแกรม	G54	G92	G92
1.7.3 การทำภาพเหมือนกลับด้าน (Mirror Image)	G28	-	-
1.7.4 การย่อ/ขยาย	G72	-	-
1.7.5 การหมุนระบบโคออดิเนต	G73	-	-
1.8 วัฏจักรมาตรฐาน			
1.10.1 วัฏจักรการเจาะรู (Pecking)	G83,G200	G81,G82	G81,G82
		G83,G73	G83
1.10.2 วัฏจักรการต๊าปเกลียว (Tapping with a	G84,G85,	G84	G84
floating)	G86	-	-
1.10.3 Reaming	G201	-	-
1.10.4 Boring	G202	G85,G86,	G85,G86,
		G89	G89
1.10.5 Back boring	G204	G87	G87
1.10.6 การกัดร่องSlot	G74	-	-
1.10.7 การกัดเบ้าสี่เหลี่ยมตามเข็มนาฬิกา	G75	-	-
1.10.8 การกัดเบ้าสี่เหลี่ยมตามทวนนาฬิกา	G76	-	-
1.10.9 การกัดเบ้าทรงกระบอกตามเข็มนาฬิกา	G77	-	-
1.10.10 การกัดเบ้าทรงกระบอกทวนเข็มนาฬิกา	G78	-	-
1.10.11 Slot milling with reciprocating plunge	G210	-	-
1.10.12 Round slot with reciprocating plunge	G211	-	-
1.10.13 Rectangular pocket finish	G212	-	-
1.10.14 Rectangular stud finish	G213	-	-
1.10.15 Circular pocket finishing	G214	-	-
1.10.16 Circular stud finish	G215	-	-

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบคำสั่งในโปรแกรมซีเอ็นซี (ต่อ)

คำสั่ง	HEINDENHAIN	FANUC	MITSUBISHI
1.8 การป้อนหน่วย			
1.8.1 ป้อนข้อมูลเป็นนิ้ว	G70	G20	G20
1.8.2 ป้อนข้อมูลเป็นเมตริก	G71	G21	G21
1.9 การให้ขนาดแบบสัมบูรณ์ และ แบบต่อเนื่อง			
1.9.1 การกำหนดขนาดแบบสัมบูรณ์	G90	G90	G90
1.9.2 การกำหนดขนาดแบบต่อเนื่อง	G91	G91	G91
2. การให้ขนาดตามแนวแกน	X, Y, Z	X, Y, Z	X, Y, Z
3. ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง	I, J,K,R	I, J,K,R	I, J,K,R
4. การหมุนของเพลาจับยึดเครื่องมือตัด	S	S	S
5. เครื่องมือตัด	T	T	T
6. อัตราป้อน	F	F	F
7. M Function			
7.1 หยุดโปรแกรม	M00	M00	M00
7.2 หยุดโปรแกรมชั่วขณะ	M01	M01	M01
7.3 จบโปรแกรม / หยุดเพลาขับ / ปิดน้ำหล่อเย็น/ พร้อมเริ่มต้นทำงาน	M02	M02	M02
7.4 หมุนเพลาขับ ทิศทางตามเข็มนาฬิกา	M03	M03	M03
7.5 หมุนเพลาขับ ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	M04	M04	M04
7.6 หยุดเพลาขับ	M05	M05	M05
7.7 เปลี่ยนเครื่องมือตัด	M06	M06	M06
7.8 เปิดน้ำหล่อเย็น	M08	M08	M08
7.9 ปิดน้ำหล่อเย็น	M09	M09	M09
7.10 หมุนเพลาขับ ทิศทางตามเข็มนาฬิกา และ เปิดน้ำหล่อเย็น	M13	-	-
7.11 หมุนเพลาขับ ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และ เปิดน้ำหล่อเย็น	M14	-	-
7.12 จบโปรแกรม / หยุดเพลาขับ / ปิดน้ำหล่อเย็น/ พร้อมเริ่มต้นทำงาน	M30	M30	M30
7.13 เรียกวัฏจักรต่างๆให้ทำงาน (Cycle call)	M99	-	-

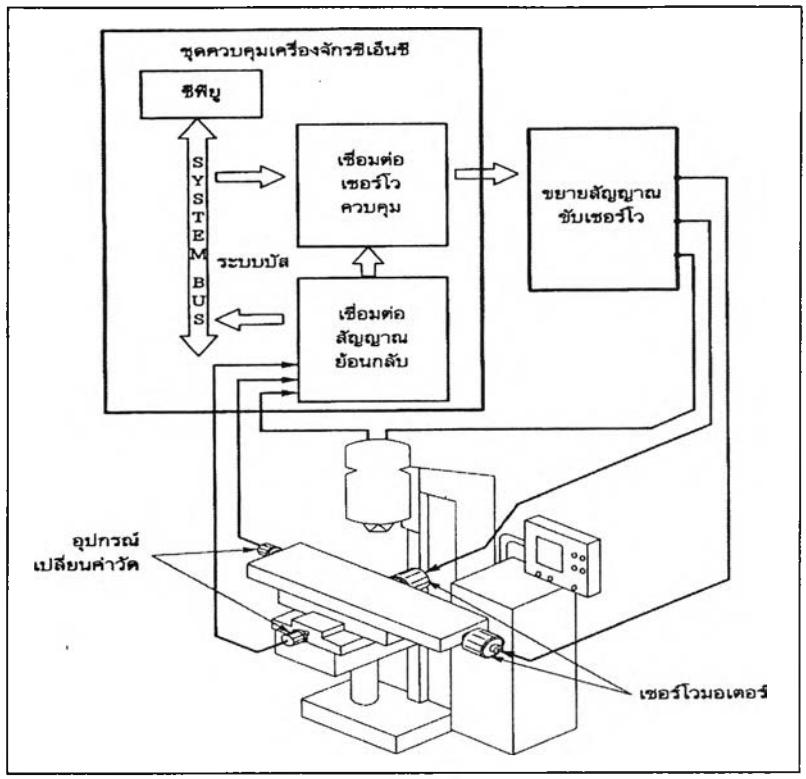


รูปที่ 4.14 ไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี

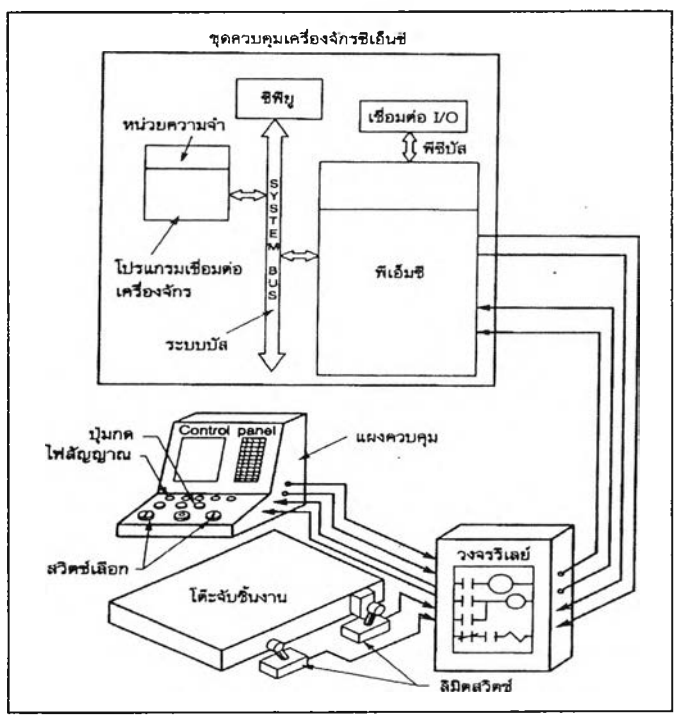


รูปที่ 4.15 ตัวอย่างการควบคุมเครื่องจักรด้วยระบบปิด

(อำนาจ ทองแสน, 2544: 20)

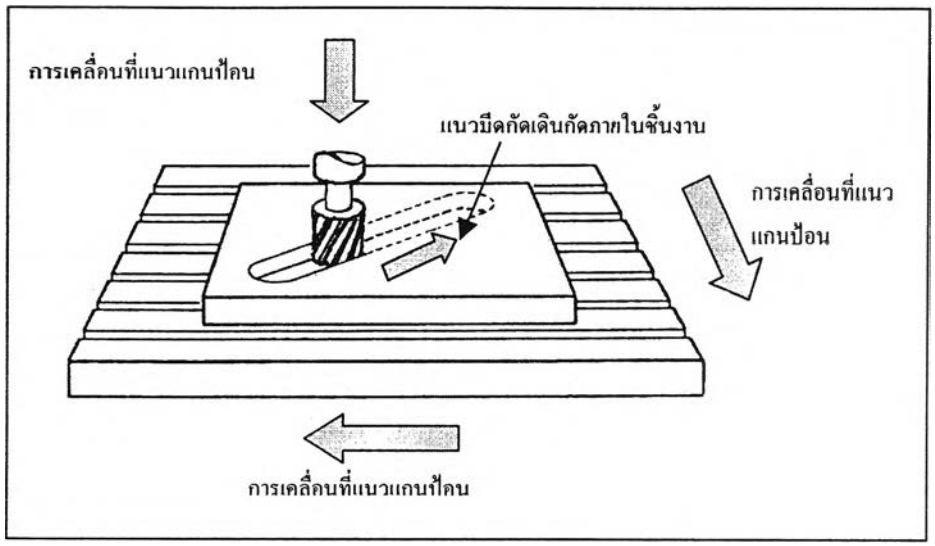


รูปที่ 4.16 การควบคุมการขับเซอร์โว (อำนาจ ทองแสน, 2544: 52)



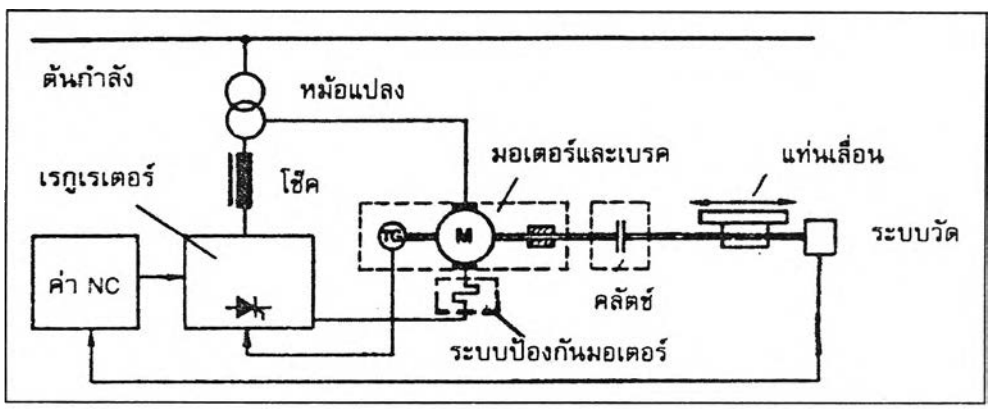
รูปที่ 4.17 การเชื่อมต่อ PMC เข้ากับระบบควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี

(อำนาจ ทองแสน, 2544: 53)

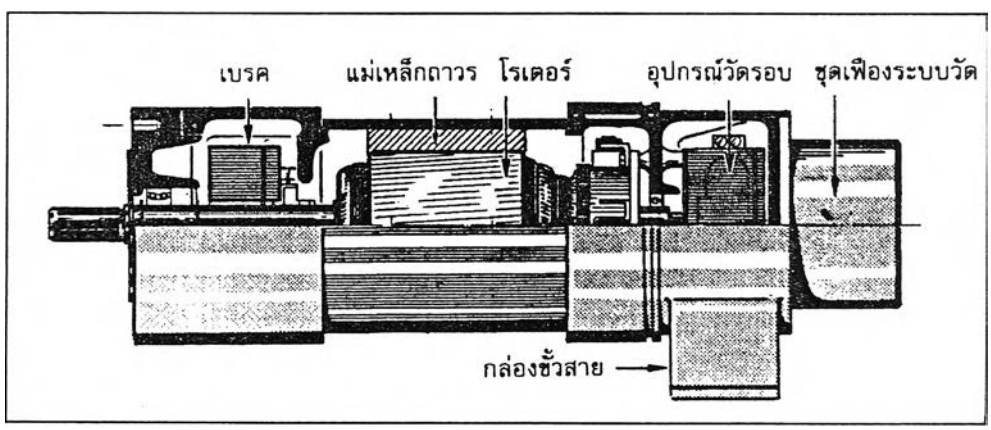


รูปที่ 4.18 การเคลื่อนที่ตัดเฉือนของเครื่องมือตัด

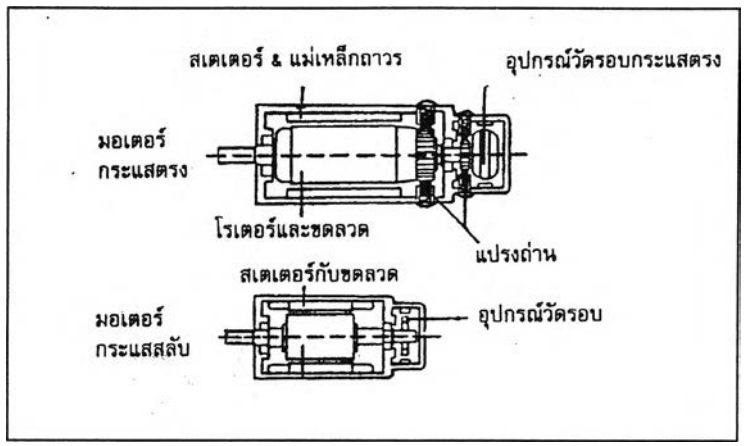
(ชาลี ตระการกูล, 2541:22)



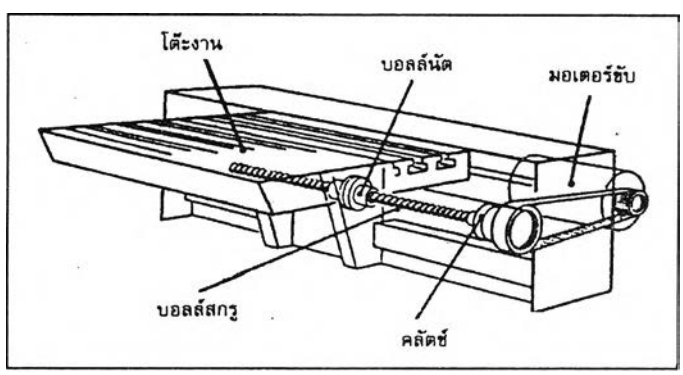
รูปที่ 4.19 ไดอะแกรมระบบขับป้อน (ชาลี ตระการกูล, 2541:23)



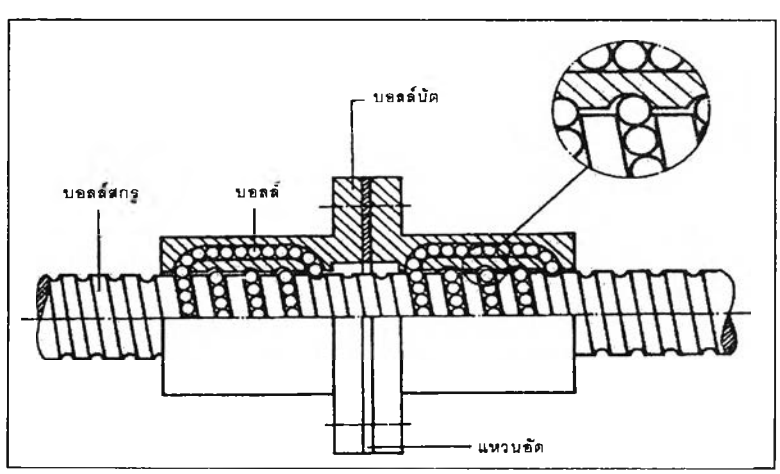
รูปที่ 4.20 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรง (ชาลี ตระการกูล, 2541:23)



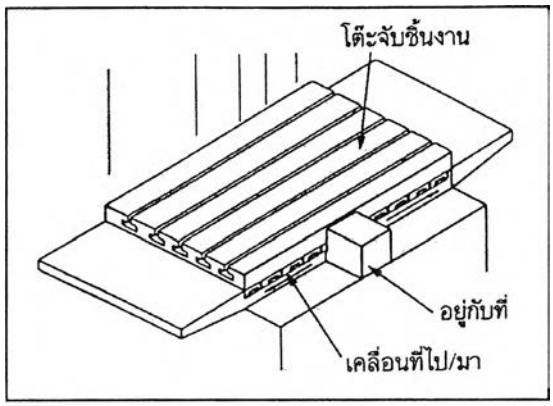
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบการสร้างและขนาดของมอเตอร์กระแสตรงกับมอเตอร์กระแสสลับแบบ3 เฟส (3 Phases) (ชาลี ตระการกูล, 2541:24)



รูปที่ 4.22 การขับป้อนของโต๊ะงาน(ชาลี ตระการกูล, 2541:25)

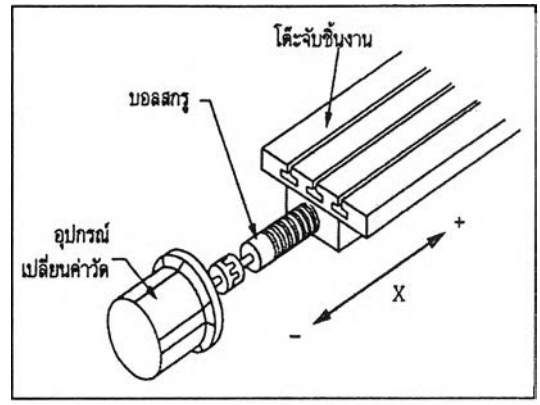


รูปที่ 4.23 ลักษณะสร้างภายในของชุดบอลล์สกรู (ชาลี ตระการกูล, 2541:25)



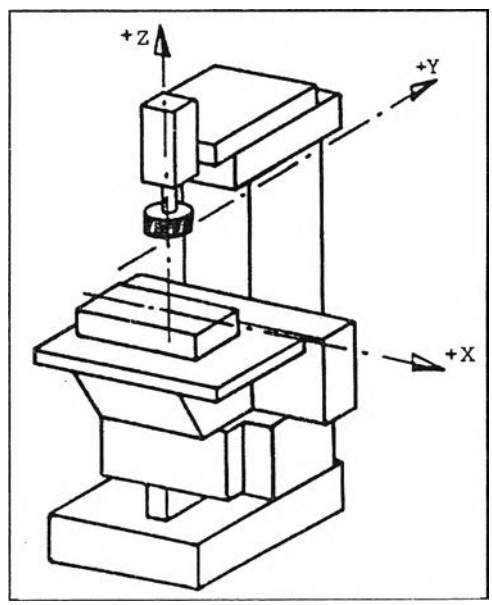
รูปที่ 4.24 ระบบการวัดโดยตรง

(อำนาจ ทองแสน, 2544: 58)

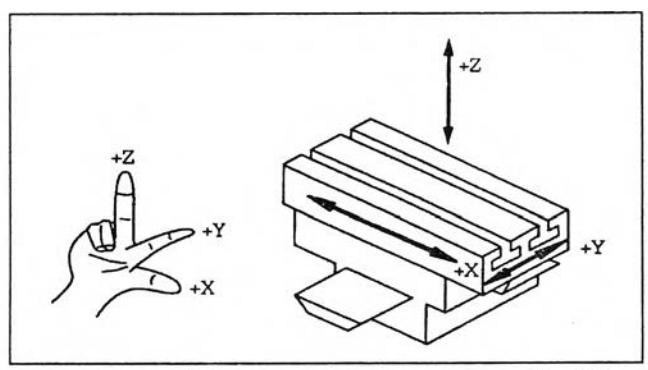


รูปที่ 4.25 ระบบการวัดโดยทางอ้อม

(อำนาจ ทองแสน, 2544: 59)

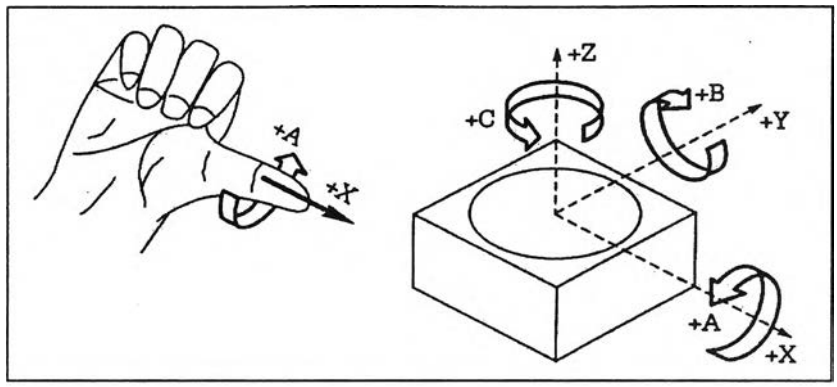


รูปที่ 4.26 การกำหนดแนวแกนของเครื่องจักร (อำนาจ ทองแสน, 2544: 64)



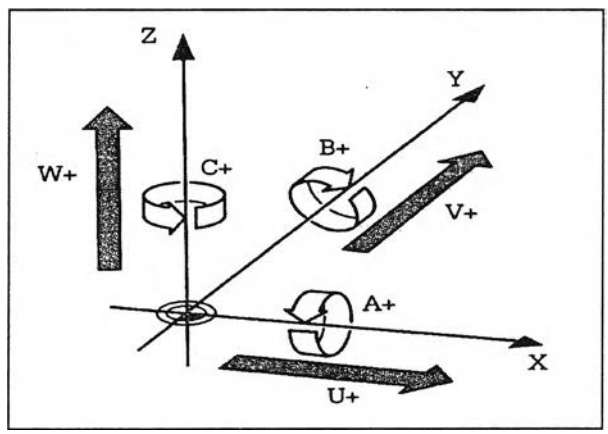
รูปที่ 4.27 แสดงการกำหนดแนวแกนแรก 3 แนวแกนโดยใช้กฎมือขวา

(อำนาจ ทองแสน, 2544: 65)



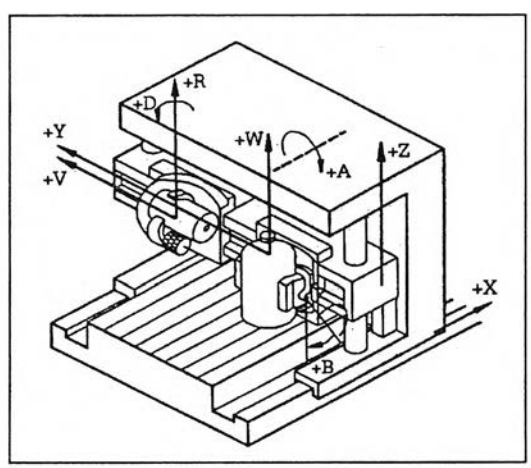
รูปที่ 4.28 การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่หมุนรอบแนวแกน

(อำนาจ ทองแสน, 2544: 67)

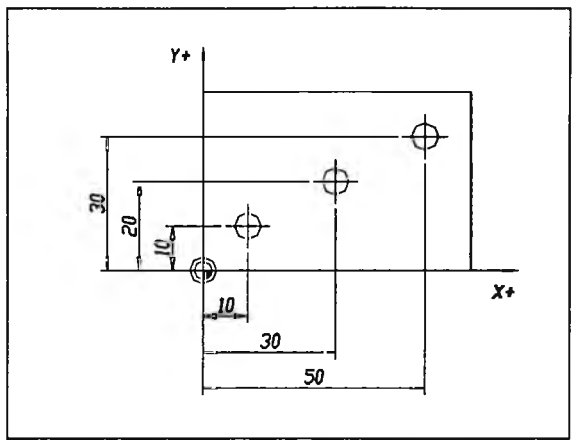


รูปที่ 4.29 การกำหนดแนวแกนที่ 2 และทิศทางการเคลื่อนที่ของแนวแกน

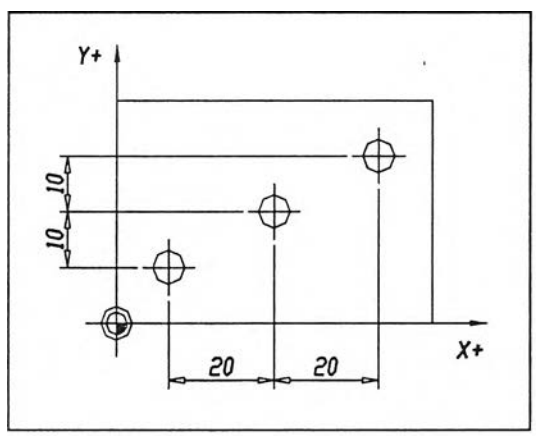
(อำนาจ ทองแสน, 2544: 68)



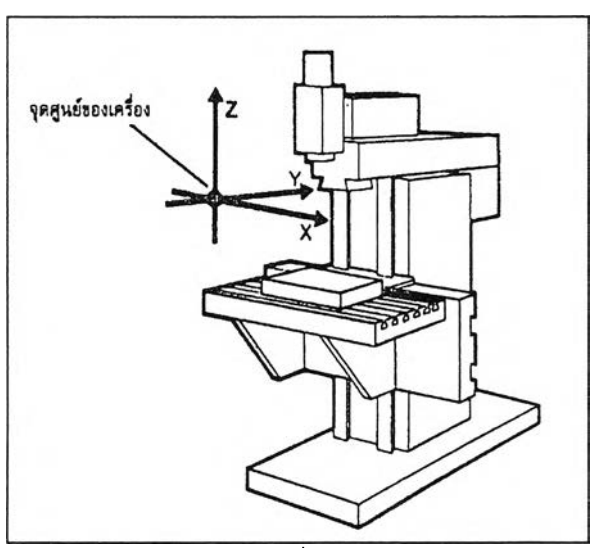
รูปที่ 4.30 เครื่องกัดชนิด 2 หัวกัด (อำนาจ ทองแสน, 2544: 70)



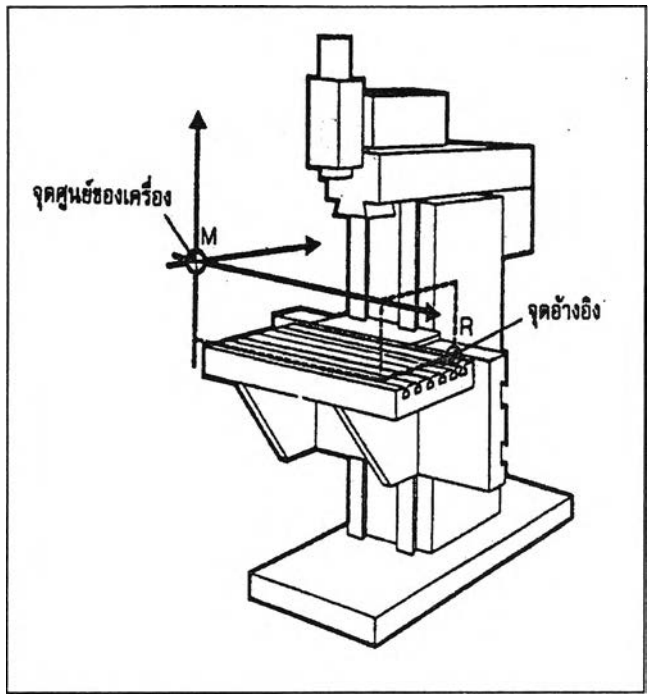
รูปที่ 4.31 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์



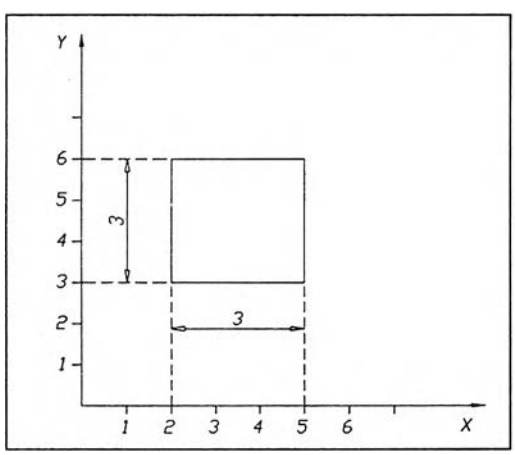
รูปที่ 4.32 การกำหนดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง



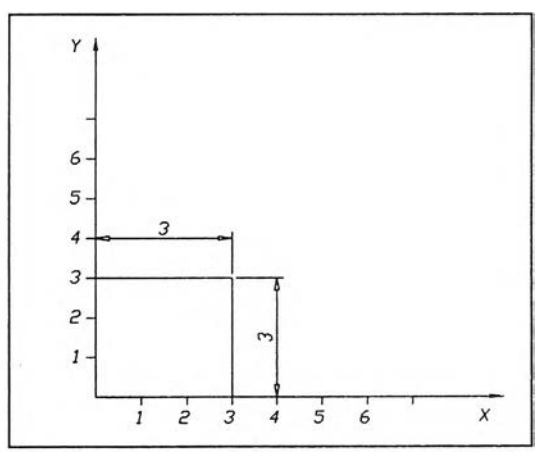
รูปที่ 4.33 ตำแหน่งจุดศูนย์ของเครื่องกัด (ชาลี ตระการกูล, 2541:116)



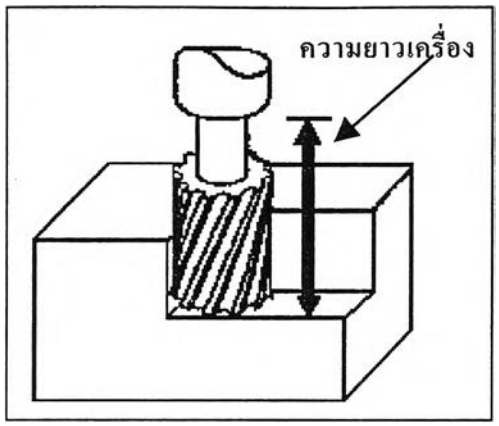
รูปที่ 4.34 ตำแหน่งจุดอ้างอิงของเครื่องกัด (ชาลี ตระการกูล, 2541:118)



รูปที่ 4.35 การวางแบบชิ้นงานที่จุดใดๆในระบบโคออร์ดิเนต

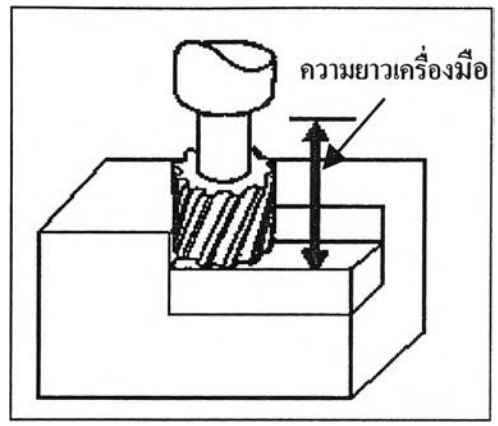


รูปที่ 4.36 การวางแบบชิ้นงานโดยใช้แนวแกนของระบบโคออร์ดิเนตเป็นหลัก



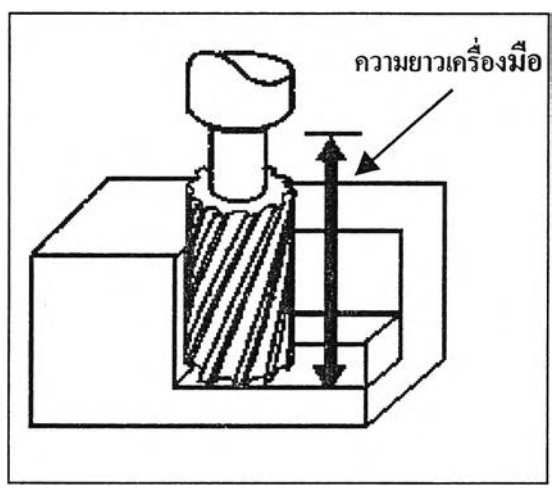
รูปที่ 4.37 ความยาวเครื่องมือที่ถูกต้อง

(ชาลี ตระการกูล, 2541:121)



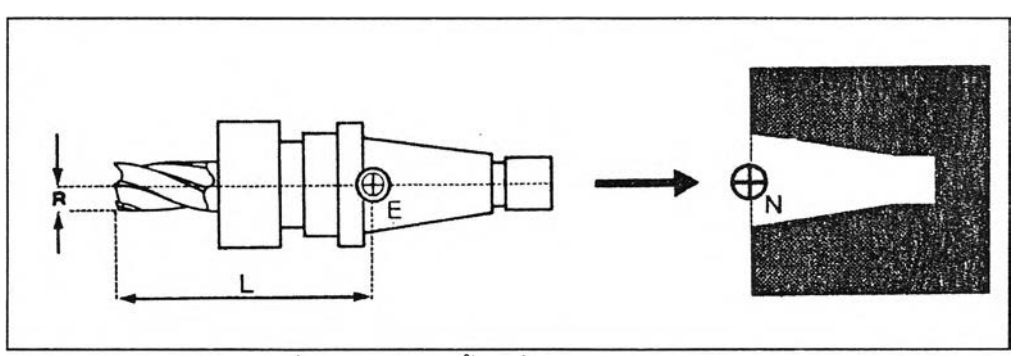
รูปที่ 4.38 เครื่องมือสั้นเกินไป

(ชาลี ตระการกูล, 2541:121)



รูปที่ 4.39 เครื่องมือยาวเกินไป

(ชาลี ตระการกูล, 2541:121)



รูปที่ 4.40 จุดปรับตั้งเครื่องมือของเพลามีดกัด

(ชาลี ตระการกูล, 2541:122)

4.4 การจัดสร้างเนื้อหาฐานความรู้ด้านเครื่องกัดอัตโนมัติ

จากการเปรียบเทียบระบบการทำงานต่างๆ ของเครื่องกัดซีเอ็นซี ทั้งหมดแล้วได้นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการจัดสร้างฐานความรู้เกี่ยวกับเครื่องกัดอัตโนมัติโดยจัดทำเป็นเนื้อหาสำหรับผู้ที่จะปฏิบัติงานที่ควรจะต้องทราบในการปฏิบัติงานกับเครื่องกัดซีเอ็นซี ซึ่งประกอบไปด้วยเนื้อหาของฐานความรู้ที่เหมือนกันและฐานความรู้ที่ต่างกัน โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 หัวข้อ เนื้อหาหลักที่เหมือนกันประกอบด้วยหัวข้อเนื้อหา ดังนี้

1) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องกัดซีเอ็นซี
2) ส่วนประกอบและหน้าที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซี
3) ระบบแกนและระนาบของเครื่องกัดซีเอ็นซี
4) การเลือกใช้เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดซีเอ็นซี
5) จุดอ้างอิงเครื่องมือตัด

ส่วนฐานความรู้ที่ต่างกันของทั้ง 3 ชุดควบคุม จะแตกต่างกันเฉพาะในส่วนของโปรแกรมคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องกัดเท่านั้น จึงกำหนดฐานความรู้ที่ต่างกันในส่วนของการเขียนโปรแกรม ซึ่งจะเป็นหัวข้อที่ 6 ของเนื้อหาที่จัดทำเพื่อใช้ในการสร้างฐานความรู้ หัวข้อที่ 6 นี้คือ **การเขียนโปรแกรมเบื้องต้น** ในการสร้างเนื้อหาที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ มีขั้นตอนการจัดทำดังนี้

4.4.1 กำหนดวัตถุประสงค์เนื้อหาฐานความรู้ด้านเครื่องกัดอัตโนมัติ

การกำหนดวัตถุประสงค์ เริ่มต้นจากการกำหนดวัตถุประสงค์หลักของเนื้อหาที่จำเป็นสำหรับผู้ปฏิบัติงานกับเครื่องกัดซีเอ็นซี จากนั้นกำหนดวัตถุประสงค์ของแต่ละหัวข้อ ซึ่งการกำหนดวัตถุประสงค์ได้กำหนดวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

เข้าใจความรู้พื้นฐานของเครื่องจักรซีเอ็นซี สามารถเขียนโปรมแกรม จัดเตรียมเครื่องมือตัด ปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมเพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานจริงได้โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี สามารถเลือกกระบวนการการตัดเฉือนโลหะ และการกำหนดข้อมูลตัดเฉือนให้เหมาะสมกับงานและการเลือกใช้สารหล่อเย็น

จากนั้นกำหนดวัตถุประสงค์ในแต่ละบท ดังนี้

บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องกัดซีเอ็นซี

- อธิบายประวัติและการพัฒนาเครื่องจักรซีเอ็นซี ได้
- ให้คำจำกัดความของเครื่องจักรซีเอ็นซีได้
- บอกหลักการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซีได้
- บอกข้อดี-ข้อเสียของเครื่องจักรทั่วไปกับเครื่องจักรซีเอ็นซี ได้
- บอกขั้นตอนการผลิตงานด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซีได้

บทที่ 2 ส่วนประกอบและหน้าที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซี

- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของระบบควบคุมเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของแนวแกนป้อนเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของการขับป้อนเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของระบบวัดขนาดเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของเพลางานเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของชุดเปลี่ยนเครื่องมือเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของระบบการหล่อเย็นเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายหน้าที่และหลักการทำงานของระบบการหล่อเย็นเครื่องกัดซีเอ็นซีได้

บทที่ 3 ระบบแกนและระนาบของเครื่องกัดซีเอ็นซี

- อธิบายถึงระบบแกนและระนาบของเครื่องกัดซีเอ็นซีได้
- อธิบายถึงระบบพิกัดที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมซีเอ็นซีได้
- อธิบายถึงจุดอ้างอิงต่าง ๆ ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม
- กำหนดจุดพิกัดตามแบบชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง

บทที่ 4 การเลือกใช้เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดซีเอ็นซี

- สามารถเลือกใช้เครื่องมือตัดได้ถูกต้อง
- อธิบายถึงชนิดของชุดเปลี่ยนเครื่องมือได้
- สามารถเลือกใช้อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือตัดได้
- สามารถคำนวณหาอัตราป้อนและความเร็วรอบได้
- สามารถเลือกใช้สารถหล่อเย็นได้
- สามารถเลือกใช้ชนิดของมีดอินเสิร์ตได้

บทที่ 5 จุดอ้างอิงเครื่องมีดตัด

- ให้เหตุผลที่ต้องกำหนดค่าความยาวเครื่องมือตัด ในเครื่องกัดซีเอ็นซีได้

- อธิบายวิธีการกำหนดความยาวของเครื่องมือตัดด้วยวิธี manual ได้
- อธิบายการใช้อุปกรณ์ตั้งศูนย์ของชิ้นงานในการหาตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงาน

บทที่ 6 การเขียนโปรแกรมเบื้องต้น

- อธิบายถึงโครงสร้างของซีเอ็นซีโปรแกรมได้
- อธิบายถึงการกำหนดของเขตและขนาดชิ้นงานได้
- อธิบายถึงวิธีการเรียกเครื่องมือตัดมาใช้งานได้
- อธิบายถึงความแตกต่างในการให้ขนาดแบบสัมบูรณ์ และ แบบต่อเนื่องได้
- อธิบายถึงการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงและเส้นโค้งได้
- สามารถชดเชยรัศมีของ Tool ได้อย่างถูกต้อง
- สามารถเขียนโปรแกรมให้ทำซ้ำ ๆ ได้
- สามารถเขียนโปรแกรมวัฏจักรต่างๆได้
- สามารถเลือกใช้การย้ายตำแหน่งจุดศูนย์ได้

4.4.2 จัดทำเนื้อหาฐานความรู้ด้านเครื่องกัดอัตโนมัติ

นำวัตถุประสงค์มาจัดเนื้อหาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยจัดทำเนื้อหาสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี ดังนี้

บทที่ 1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องกัดซีเอ็นซี ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- ความหมายของ CNC (Computerized Numerical Control)
- หลักการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี
- ข้อดี และข้อเสียของเครื่องจักรซีเอ็นซี
- เหตุผลในการเลือกใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี
- องค์ประกอบในการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องจักรซีเอ็นซี
- คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องจักรซีเอ็นซี
- ขั้นตอนการผลิตงานด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี

บทที่ 2 ส่วนประกอบและหน้าที่ของเครื่องกัดซีเอ็นซี ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- ระบบควบคุม (Control System)
- แนวแกนป้อน (Feed Axes)
- การขับป้อน (Feed Drivers)

- ระบบวัดขนาด (Measuring System)
- เพลางาน (Work Spindle)
- ชุดเปลี่ยนเครื่องมือ (Tool Changers)
- ระบบการหล่อเย็น (Cooling System)

บทที่ 3 ระบบแกนและระนาบของเครื่องกัดซีเอ็นซี ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- กฎมือขวาของระบบแนวแกน (RIGHT HAND RULE)
- ระบบโคออร์ดิเนท
- ระนาบของเครื่องกัดซีเอ็นซี
- จุดศูนย์เครื่อง (MACHINE ZERO POINT)
- จุดอ้างอิง (REFERENCE POINT)
- จุดศูนย์ของชิ้นงาน (WORKPIECE ZERO POINT)

บทที่ 4 การเลือกใช้เครื่องมือตัดสำหรับงานกัดซีเอ็นซี ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- เครื่องมือตัดสำหรับงานเจาะ
- เครื่องมือตัดสำหรับงานกัด
- อุปกรณ์จับยึดเครื่องมือสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซี
- อิทธิพลที่มีต่อการตัดเฉือนโลหะ
- สารหล่อเย็น (Cutting fluid)
- การเลือกอินเสิร์ทชนิดถอดเปลี่ยนได้

บทที่ 5 จุดอ้างอิงเครื่องมือตัด ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- การชดเชยขนาดความยาวเครื่องมือ
- การกำหนดขนาดความยาวของเครื่องมือตัดบนเครื่องกัดซีเอ็นซี
- การใช้อุปกรณ์ตั้งศูนย์ของชิ้นงานหาตำแหน่งจุดศูนย์ของชิ้นงาน

บทที่ 6 การเขียนโปรแกรมเบื้องต้น ประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- บทนำ
- ชนิดคำสั่งของโปรแกรมซีเอ็นซี
- ชนิดของคำ
- คำสั่งในโปรแกรมซีเอ็นซีที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่
- การชดเชยรัศมีของเครื่องมือตัด (Cutter Radius Compensation)
- การให้ขนาดแบบสัมบูรณ์ และ แบบต่อเนื่อง

- การกำหนดขนาดวัสดุ (Blank) สำหรับการทำภาพกราฟฟิก (สำหรับ Heidenhain)
- การเคลื่อนที่เข้าหาขอบรูป และออกจากขอบรูป (สำหรับ Heidenhain)
- การกัดลบมุม (สำหรับ Heidenhain)
- การเขียนโปรแกรมทำซ้ำ (สำหรับ Heidenhain)
- วัฏจักรสำหรับเจาะรู และทำเกลียว (Cycle for drilling ,Tapping and Thread Milling) (สำหรับ Heidenhain)
- วัฏจักรการกัดเบ้า และการกัดร่อง (Cycle for milling pockets ,studs and slots) (สำหรับ Heidenhain)
- คำสั่งในการย้ายจุดโคออร์ดิเนต (Coordinate Transformation Cycle) (สำหรับ Heidenhain)
- การเขียนโปรแกรมวัฏจักรตามมาตรฐาน (Standard Fixed Cycle) (สำหรับชุดควบคุมของ Fanuc และ Mitsubishi)

4.4.3 จัดทำแบบฝึกหัดท้ายบทและแบบทดสอบ

การจัดทำแบบฝึกหัดท้ายบท และแบบทดสอบเพื่อใช้ในการประเมินผลระหว่างการประยุกต์ใช้กับบุคลากรภาคอุตสาหกรรม โดยดำเนินการจัดทำแบบฝึกหัดท้ายบทตามเนื้อหาที่จัดทำในแต่ละบทพร้อมทั้งจัดทำเฉลยแบบฝึกหัดท้ายบท ส่วนการจัดทำแบบทดสอบได้จัดทำเป็น 2 ส่วน คือ แบบทดสอบก่อนการอบรม และแบบทดสอบหลังการอบรม โดยแบบทดสอบทั้ง 2 ส่วนจะเหมือนกัน พร้อมเฉลยแบบทดสอบ

4.5 ผลการปรับปรุงเนื้อหาฐานความรู้ด้านเครื่องกัดอัตโนมัติ

เมื่อจัดทำเนื้อหาหลักสูตรที่ใช้ในการสร้างฐานความรู้ด้านเครื่องกัดอัตโนมัติก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับบุคลากรภาคอุตสาหกรรม ได้มีการปรับปรุงเบื้องต้นโดยนำเนื้อหาที่จัดทำไปทดลองใช้กับบุคลากรภาคการศึกษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงก่อนที่จะนำไปประยุกต์กับบุคลากรภาคอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ โดยได้แบ่งการทดลองใช้เป็น 2 ครั้ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 ได้ทดลองใช้กับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 1 จำนวน 4 คน ที่เป็นอาจารย์จากกรมอาชีวะศึกษา เพื่อนำผลการทดลองมาเป็นประโยชน์ในการแก้ไข และปรับปรุงหลักสูตรก่อนนำไปทดลองใช้ในครั้งที่ 2

ครั้งที่ 2 ได้ทดลองใช้กับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่ 2 จำนวน 5 คน ที่เป็นอาจารย์จากกรมอาจารย์จากกรมอาชีวะศึกษา เพื่อนำผลการทดลองมาเป็นประโยชน์ในการแก้ไข ปรับปรุง ก่อนที่จะนำไปประยุกต์กับบุคลากรภาคอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ ผลของการทดลองและผลการปรับปรุงเป็นดังนี้

4.5.1 ผลของการทดลองและผลการปรับปรุงครั้งที่ 1

หลังจากการศึกษาและจัดทำหลักสูตรการใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีแล้ว ได้นำไปทำการทดลองฝึกอบรมครั้งที่ 1 ให้กับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นอาจารย์จากวิทยาลัยเทคนิคของกรมอาชีวศึกษาต่างๆ จำนวน 4 รายพบว่าผู้เข้ารับการอบรมได้เสนอแนะให้เพิ่มวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมด้วย ส่วนในเรื่องของเนื้อหานั้นผู้เข้าอบรมเห็นว่าเนื้อหาของบทที่ 1 ยังไม่สัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ส่วนในบทที่ 4 ควรเพิ่มการคำนวณหาค่าความเร็วรอบ และอัตราป้อน ที่เหมาะสมกับงานกัดซีเอ็นซี และในหัวข้อของการเขียนโปรแกรม ควรเพิ่มรูปภาพเพื่อแสดงค่าตัวแปรต่างๆในแต่ละ Cycle และควรเพิ่มการใช้งานซอฟแวร์ด้าน CAM กับงานแม่พิมพ์

นอกเหนือจากข้อเสนอแนะดังกล่าวแล้ว ผู้เข้ารับการฝึกอบรมยังได้ประเมินเนื้อหาความรู้และทักษะว่าสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ได้คิดเป็นร้อยละ 75 และ ความเหมาะสมโดยรวมของเนื้อหา คิดเป็นร้อยละ 75 ส่วนความเหมาะสมของวัตถุประสงค์และเนื้อหาในแต่ละบทนั้น ผู้เข้ารับการอบรมได้ประเมินผลคะแนนเฉลี่ยดังแสดงในรูปที่ 4.41 ซึ่งคะแนนการประเมินเฉลี่ยของความเหมาะสมของวัตถุประสงค์แต่ละบท และความเหมาะสมของเนื้อหาแต่ละบทโดยส่วนใหญ่สูงกว่า 75% มีเพียงบทที่ 1 ที่มีคะแนนประเมินเฉลี่ยต่ำกว่า 75% โดยที่ความเหมาะสมของวัตถุประสงค์ได้ 68.75% ความเหมาะสมของเนื้อหาประมาณ 50 %

จากการทดลองใช้เนื้อหาที่จัดทำขึ้นกับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ได้ผลดังข้างต้น และได้มีข้อเสนอแนะต่างๆ จึงได้มีการนำมาปรับปรุงเนื้อหา ตามที่มีข้อเสนอแนะ โดยทำการปรับปรุงเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 ซึ่งมีข้อเสนอแนะว่าให้แก้ไขเนื้อหาให้สอดคล้องกับ วัตถุประสงค์ เนื้อหาในบทนี้ มีการประเมิน อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ จึงได้ทำการปรับปรุง และแก้ไข เพิ่มเติมเนื้อหา โดยได้เพิ่มเนื้อหาดังนี้

- อธิบายเพิ่มเติม หลักการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี
- ข้อดี ข้อเสีย ของเครื่องจักรซีเอ็นซี

บทที่ 2 ผลประเมินโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดี และไม่มีข้อเสนอแนะใด จึงไม่มีการปรับปรุง แก้ไขเพิ่มเติม

บทที่ 3 ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่ไม่มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม แต่ได้มีการปรับปรุง และเพิ่มเนื้อหา ดังนี้

- เรื่องระบบแกนของเครื่องกัดซีเอ็นซี จากเดิมอธิบาย เฉพาะแกนหลักของเครื่องกัด ซีเอ็นซี คือแกน X , Y และ Z จึงได้เพิ่มเนื้อหาของแกนต่างๆ เช่น แกน U , V และ W เป็นต้น

บทที่ 4 การประเมินอยู่ในเกณฑ์ดี แต่มีข้อเสนอแนะให้เพิ่มเติมการคำนวณ อัตราป้อน และความเร็วรอบ ในการใช้เครื่องมือกัด จึงได้มีการปรับปรุง และเพิ่มเติมเนื้อหา ดังกล่าว

บทที่ 5 จุดศูนย์เครื่องมือตัด ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ดี และไม่มีข้อเสนอแนะใด จึงไม่มีการแก้ไขเพิ่มเติม

บทที่ 6 การเขียนโปรแกรมเบื้องต้น การประเมินอยู่ในเกณฑ์ดี แต่มีข้อเสนอแนะให้เพิ่มรูปภาพ และคำอธิบายรูปเพิ่มเติม จึงได้ทำการเพิ่มรูปภาพ

4.5.2 ผลของการทดลองและผลการปรับปรุงครั้งที่ 2

เมื่อทำการทดลองในครั้งที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ได้นำผลการทดลอง และข้อเสนอแนะไปปรับปรุงแก้ไข เพื่อนำมาลองในครั้งที่ 2 กับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่เป็นอาจารย์จากวิทยาลัยเทคนิคต่างๆ จำนวน 5 ราย ที่เข้ารับการฝึกอบรมในเรื่องของการผลิตแม่พิมพ์เช่นเดียวกับกลุ่มที่ 1 พบว่าผู้เข้ารับการอบรมได้เสนอแนะว่าโดยภาพรวมของวัตถุประสงค์อยู่ในเกณฑ์ดี ถึงดีมาก ส่วนในเรื่องของเนื้อหานั้นผู้เข้าอบรมเห็นว่าควรเพิ่มเวลาในการฝึกอบรมให้มากขึ้นเนื่องจากผู้เข้าฝึกอบรมจะได้มีเวลาในการทำแบบฝึกหัดและมีการทดลองเดินโปรแกรมมากขึ้น

นอกจากข้อเสนอแนะดังกล่าวแล้ว ผู้เข้ารับการฝึกอบรมยังได้ประเมินเนื้อหาความรู้และทักษะว่าสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ได้คิดเป็น ร้อยละ 80 และความเหมาะสมโดยรวมของเนื้อหา คิดเป็นร้อยละ 85 ส่วนความเหมาะสมของวัตถุประสงค์ และเนื้อหาในแต่ละบทนั้น ผู้เข้ารับการอบรมได้ประเมินผลเป็นคะแนนดังแสดงในรูปที่ 4.42 ซึ่งจะเห็นว่าหลังจากปรับปรุงครั้งที่ 1 แล้ว คะแนนประเมินในแต่ละบทในเรื่องความเหมาะสมของวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของเนื้อหาแต่ละบทสูงกว่า 75%

ดังนั้นเห็นได้ว่าในผลการทดลองครั้งที่ 2 นั้น ผู้เข้าอบรมได้ประเมินในส่วนของเนื้อหาว่าควรเพิ่มเวลาในการฝึกอบรมให้มากขึ้นเพื่อจะได้มีเวลาในการทำแบบฝึกหัดและมีการทดลองเดิน

โปรแกรมมากขึ้น ดังนั้น จึงได้นำข้อเสนอแนะนี้ไปทำการปรับปรุงในเรื่องของเวลาที่ใช้สำหรับการเขียนโปแกรมและการทดลองเดินโปรแกรมเพิ่มเติม

4.6 ผลการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์การให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหา

การจัดสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์การให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหานั้นได้จัดทำหลังจากจัดสร้างฐานความรู้และทดสอบเรียบร้อยแล้ว โดยการนำข้อมูลจากฐานความรู้มาเป็นข้อมูลในโปรแกรมการให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหา ซึ่งโปรแกรมที่จัดสร้างขึ้นได้ใช้โปรแกรม Microsoft Access 97 ในการจัดสร้างฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการค้นหา ในฐานข้อมูลประกอบด้วยข้อมูล 2 ส่วน คือส่วนหนึ่งเป็นข้อมูลที่นำมาจากฐานความรู้ และข้อมูลอีกส่วนนำมาจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้ที่ประสบในการทำงานกับเครื่องกัดซีเอ็นซี ปัญหาในส่วนนี้จะได้มาจากการสัมภาษณ์ผู้ใช้เครื่องกัด จากนั้นนำปัญหาที่ได้จากการสัมภาษณ์มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ และแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว เมื่อปัญหาดังกล่าวได้ทราบแนวทางแก้ไขปัญหาแล้วจึงนำมาเป็นฐานข้อมูลในส่วนนี้ และเมื่อจัดสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการให้คำแนะนำแก้ไขปัญหาเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ทางด้านซีเอ็นซีจำนวน 4 ท่าน เพื่อทำการตรวจสอบความเหมาะสมของโปรแกรมในการนำไปใช้งาน ซึ่งผลของการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นดังนี้

4.6.1 รูปแบบของโปรแกรมที่จัดสร้าง

โปรแกรมที่จัดสร้างได้แยกข้อมูลออกเป็นแต่ละชุดควบคุม ได้แก่ชุดควบคุม Fanuc, Heidenhain, และ Mitsubishi โดยแต่ละชุดควบคุมจะประกอบด้วยฐานข้อมูล 2 ส่วนคือฐานข้อมูลที่ได้มาจากฐานความรู้ และข้อมูลอีกส่วนได้มาจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ดังแสดงในรูปที่ 4.45 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากฐานความรู้ประกอบด้วยหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรซีเอ็นซี
2) ส่วนประกอบของเครื่องซีเอ็นซี
3) ระบบแกนและระนาบของเครื่องกัดซีเอ็นซี
4) เครื่องมือตัดสำหรับเครื่องกัดเอ็นซี
5) จุดอ้างอิงเครื่องมือ
6) การเขียนโปรแกรม

ส่วนข้อมูลจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเป็นข้อมูลที่ได้มาจากการสัมภาษณ์ผู้เป็นวิทยากรที่ให้การอบรมด้านซีเอ็นซีและพนักงานในโรงงานที่ใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี ซึ่งผลของการสัมภาษณ์สามารถสรุปและรวบรวมได้ดังนี้

1. ปัญหาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม

ปัญหาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม จะเป็นปัญหาเกี่ยวกับคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องกัด ซึ่งได้แก่ปัญหาดังต่อไปนี้

1) แบบงานบางอย่างยากเกินไปที่จะเขียนมือจึงจำเป็นต้องใช้ซอฟแวร์เข้ามาช่วยเขียนโปรแกรม
2) แบบงานที่จำเป็นต้องใช้ Standard Cycle ซึ่งบางชุดควบคุมไม่มีอาจทำให้การเขียนโปรแกรมยากขึ้น
3) พารามิเตอร์บางตัวในแต่ละชุดควบคุมใช้ต่างกันจึงอาจทำให้เกิดความสับสน
4) เครื่องจักรบางเครื่องเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการช่วยเขียนโปรแกรมทำให้พนักงานบางครั้งไม่ย่อมเขียนโปรแกรมด้วยมือ ซึ่งบางแบบงานการเขียนโปรแกรมด้วยมือนั้นสะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้โปรแกรมช่วยในการเขียนโปรแกรม
5) การวางแผนการเขียนโปรแกรมไม่ถูกต้อง
6) ขาดความเข้าใจในตัวของโปรแกรม (ความหมายของ G Code ที่ใช้)
7) เลือกใช้คำสั่งไม่ถูกต้อง
8) การทำโปรแกรมผิดพลาดทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย

2. ปัญหาเกี่ยวกับการขึ้นรูปชิ้นงานและการใช้งาน

ปัญหาเกี่ยวกับการขึ้นรูปชิ้นงานและการใช้งาน จะได้แก่ปัญหาเกี่ยวกับการในการผลิตชิ้นงาน และการปฏิบัติงานกับเครื่องจักร ซึ่งได้แก่ปัญหาดังต่อไปนี้

1) เครื่องมือและอุปกรณ์มีไม่เพียงพอจึงจำเป็นจะต้องสร้างอุปกรณ์จับยึดขึ้นมาช่วยในการจับยึด
2) พนักงานสับสนระบบแกนของเครื่องจักร เช่น แกน Z บางเครื่องเลื่อนโต๊ะงานขึ้น บางเครื่องเลื่อนเพลางานลง
3) การกำหนดขั้นตอนการทำงานไม่ถูกต้อง
4) พนักงานไม่ค่อยคำนึงถึงระบบป้องกันความปลอดภัยในขณะปฏิบัติงาน

5) การกัดงานลึกและตื้นมากกว่าปกติ

6) การควบคุมขนาดชิ้นงานไม่ได้ตามพิกัดที่กำหนด

7) การกัดเบ้าแผ่นแม่พิมพ์ไม่ขนานกับแผ่นแม่พิมพ์และบางครั้งไม่ตั้งฉากกับผิว (เรียว)

8) เปลี่ยนเครื่องมือตัดแบบอัตโนมัติแล้วเกิดความผิดพลาด

9) กัดอิเล็คโตรดแล้วไม่ร่วมศูนย์กับหัวจับ

10) การเดินกัดเวลาเดินกัดเข้ามุมแล้วมีดกัดดูด

11) ไม่สามารถส่งโปรแกรมจากคอมพิวเตอร์เข้าเครื่องจักร

12) การกัดตาม (Down milling) ต่างจากกัดสวน (Up milling)อย่างไร

3. ปัญหาการปรับตั้งเครื่องมือเครื่องจักร

ปัญหาการปรับตั้งเครื่องมือเครื่องจักร จะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือตัดที่ใช้ในการทำงาน การกำหนดตำแหน่งศูนย์ของชิ้นงาน ซึ่งได้แก่ปัญหาดังต่อไปนี้

1) การชดเชยเครื่องมือตัดผิดพลาด ทำให้ชิ้นงานเสียหาย

2) การตั้งศูนย์ชิ้นงานไม่ถูกต้องทำให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากบางเครื่องมีขั้นตอนการปรับตั้งศูนย์ชิ้นงานซับซ้อน

3) การตั้งศูนย์ชิ้นงานไม่ตรงกับศูนย์ของโปรแกรมที่กำหนด

4. ปัญหาเกี่ยวกับการบำรุงรักษาและการซ่อมบำรุง

ซึ่งได้แก่ปัญหาดังต่อไปนี้

1) การซ่อมเครื่องจักรใช้เวลานาน เนื่องจากสูญเสียเวลาในการรออะไหล่จากต่างประเทศ

2) ช่างซ่อมบำรุงบางครั้งไม่สามารถระบุถึงปัญหาการเสียของเครื่องจักรได้ชัดเจน ทำให้ต้องมีการลองผิดลองถูก อาจเนื่องช่างซ่อมบำรุงยังขาดประสบการณ์และความชำนาญ

3) เครื่องจักรขาดเอาใจใส่ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามตารางที่กำหนด

5. ปัญหาด้านความรู้พื้นฐานอื่นๆ

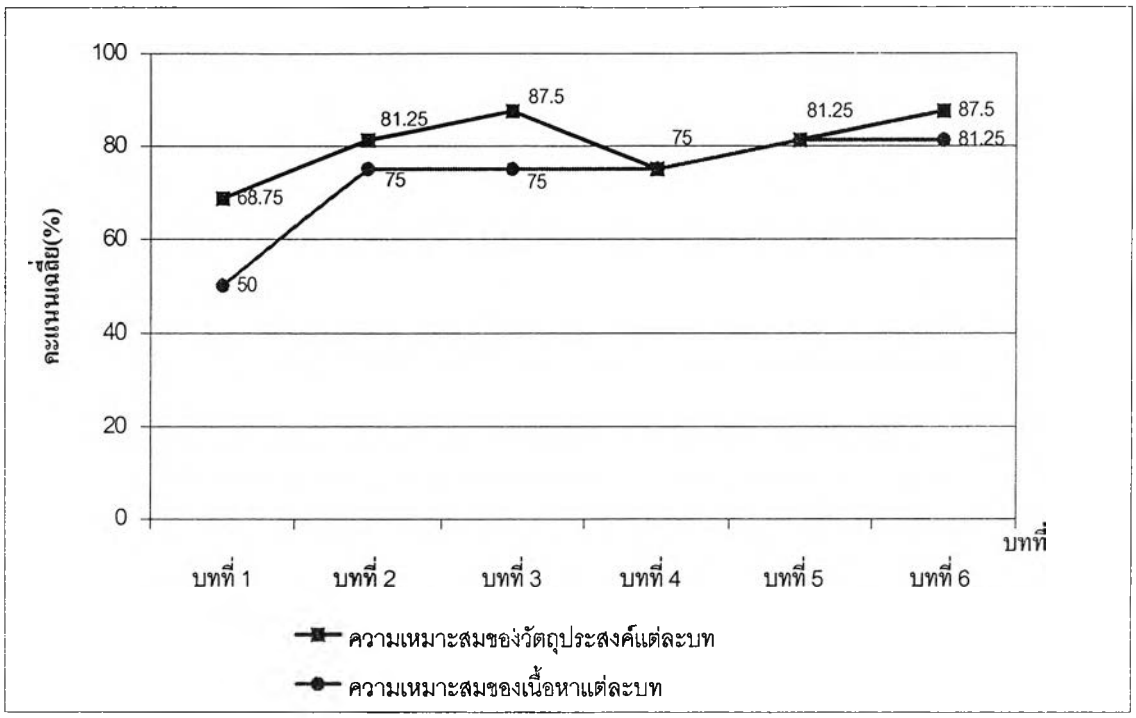
ซึ่งได้แก่ปัญหาดังต่อไปนี้

1) พนักงานยังขาดความรู้ในการเลือกใช้เครื่องมือตัดที่ถูกต้องและเหมาะสมกับลักษณะงาน
2) การเลือกใช้ความเร็วรอบและความเร็วตัดไม่ถูกต้อง
3) ขาดแคลนช่างฝีมือในการปฏิบัติงาน

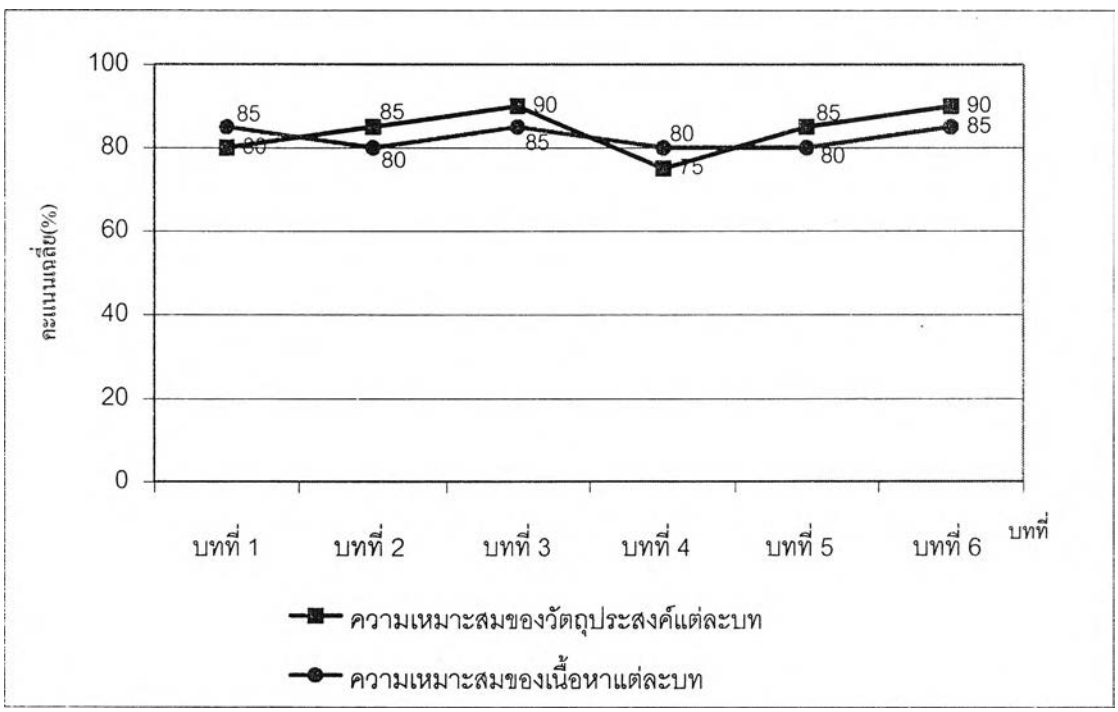
จากผลการสัมภาษณ์ได้ทำการวิเคราะห์และหาข้อมูลเพิ่มเติมแล้ว จึงได้นำข้อมูลไปเพิ่มเติมในส่วนของหัวข้อประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งบางข้อมูลที่ได้จากสัมภาษณ์เป็นข้อมูลที่มีอยู่ในส่วนของฐานข้อมูลอยู่แล้ว ข้อมูลดังกล่าวก็จะปรากฏในข้อมูลส่วนที่เป็นฐานความรู้ ดังนั้นรูปแบบของโปรแกรมจึงประกอบด้วยหัวข้อของข้อมูลทั้งหมด 7 หัวข้อ คือ

1) ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องจักรซีเอ็นซี
2) ส่วนประกอบของเครื่องซีเอ็นซี
3) ระบบแกนและระนาบของเครื่องกัดซีเอ็นซี
4) เครื่องมือตัดสำหรับเครื่องกัดเอ็นซี
5) จุดอ้างอิงเครื่องมือ
6) การเขียนโปรแกรม
7) ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ

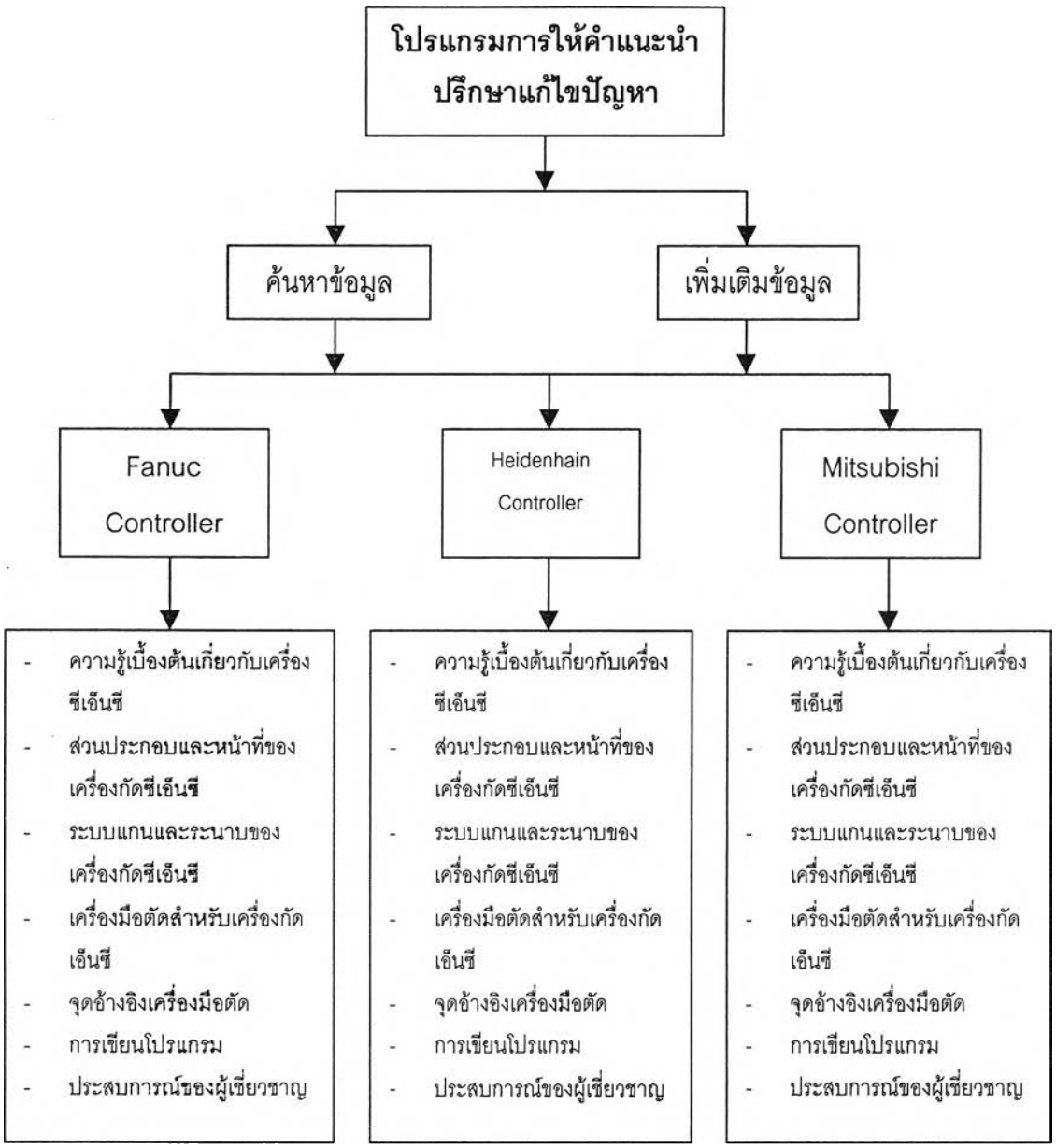
และในส่วนของโปรแกรมยังมีส่วนที่ไว้สำหรับเพิ่มเติมฐานข้อมูล เพื่อไว้สำหรับผู้ใช้ฐานข้อมูลมีความต้องการเพิ่มเติมข้อมูลอีกก็สามารถเพิ่มเติมได้ เนื่องระบบฐานข้อมูลบางครั้งอาจจะมีปัญหาข้อมูลไม่เพียงพอที่ใช้ในการค้นหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา ดังนั้นเมื่อประสบปัญหาจำเป็นต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหาโดยใช้แนวทางอื่น และเมื่อทราบแนวทางแก้ไขก็สามารถเพิ่มเติมในฐานข้อมูลได้ แผนผังโปรแกรมฐานความรู้แสดงในรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.41 แสดงคะแนนเฉลี่ยของความเหมาะสมของวัตถุประสงค์
และเนื้อหาแต่ละบทครั้งที่ 1 ของกลุ่มอาจารย์ผู้สอน



รูปที่ 4.42 แสดงคะแนนเฉลี่ยของความเหมาะสมของวัตถุประสงค์
และเนื้อหาแต่ละบทครั้งที่ 2 ของกลุ่มอาจารย์ผู้สอน



รูปที่ 4.43 แผนผังโปรแกรมฐานความรู้

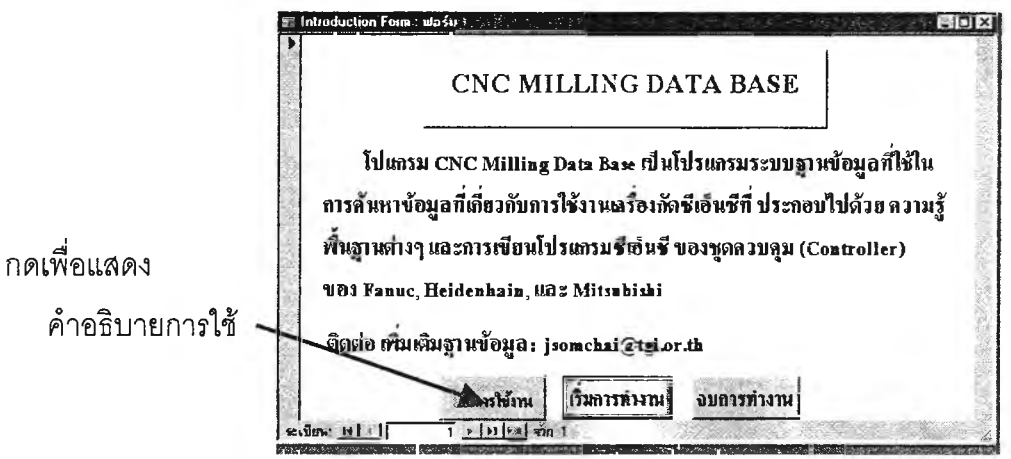
4.6.2 การใช้งานโปแกรมการให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหา

วิธีใช้โปรแกรมฐานข้อมูล

- Copy ข้อมูลทั้งหมด จาก CNC Program ไปไว้ที่ D:\CNC Program
- เมื่อต้องการใช้ฐานข้อมูลให้เปิดโปรแกรมชื่อ CNC Data Base.MBD

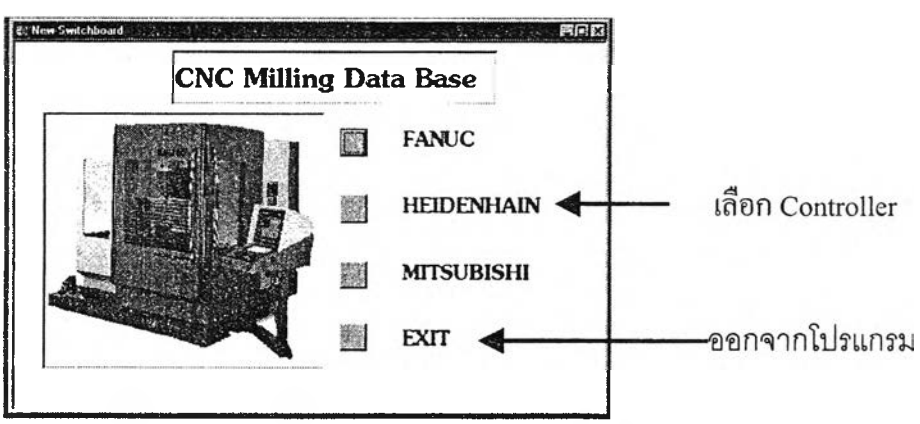
เมื่อต้องการใช้โปรแกรมฐานข้อมูลปฏิบัติดังนี้

1. เปิดโปรแกรมชื่อ CNC Data Base.MBD โปรแกรมจะแสดงคำอธิบายรายละเอียดโปรแกรม รวมทั้งอธิบายวิธีการใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 4.44 หน้าแสดงคำอธิบายของโปรแกรม

2. เลือกชนิดของชุดควบคุม (Controller)



รูปที่ 4.45 หน้าหลักของโปรแกรมการให้คำแนะนำ ปรึกษาแก้ไขปัญหา

3. เลือกเมนูที่ต้องการ

รูปที่ 4.46 เมนูเลือกการทำงาน

เมื่อเลือกค้นหาข้อมูลจะปรากฏหน้าจอดังนี้

รูปที่ 4.47 หน้าการค้นหาข้อมูล

ขั้นตอนการค้นหาข้อมูล

ก. เลือกหัวข้อที่ต้องการ

ข. เลือกชื่อเรื่องที่ต้อง

ค. จากนั้นข้อมูลจะแสดงคำอธิบายในข้อมูลนั้น

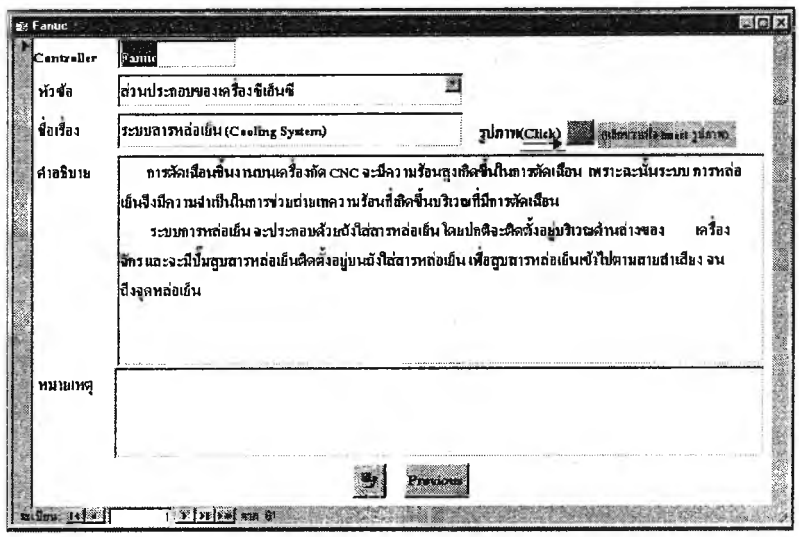
ง. เมื่อต้องการให้แสดงรูปภาพให้คลิกที่รูปภาพ

จ. หากต้องการพิมพ์ข้อมูลที่ค้นหาให้ กดที่รูป Printer

ฉ. ต้องการย้อนกับกด Previous

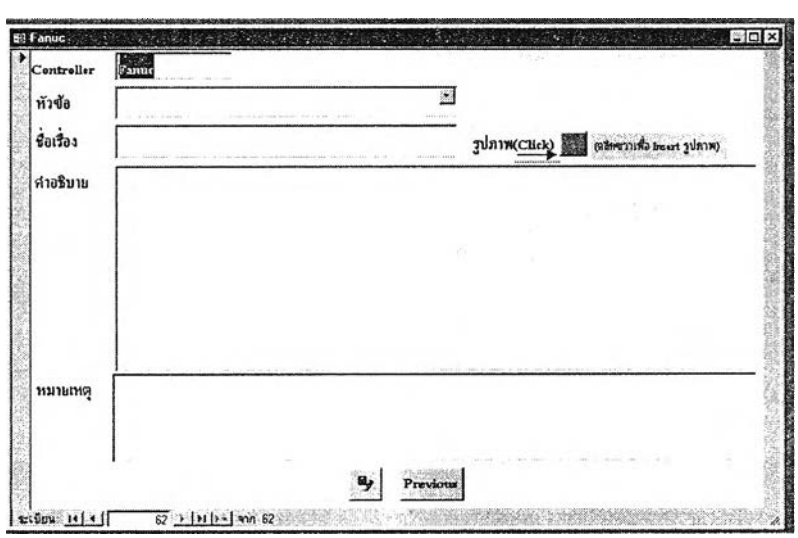
ญ. ต้องการค้นหาข้อมูลใหม่กด “เริ่มค้นหาใหม่” จากนั้นย้อนขั้นตอน ก.

เมื่อเลือกเพิ่มเติมข้อมูลจะปรากฏหน้าจอดังนี้



รูปที่ 4.48 หน้าการเพิ่มเติมข้อมูล

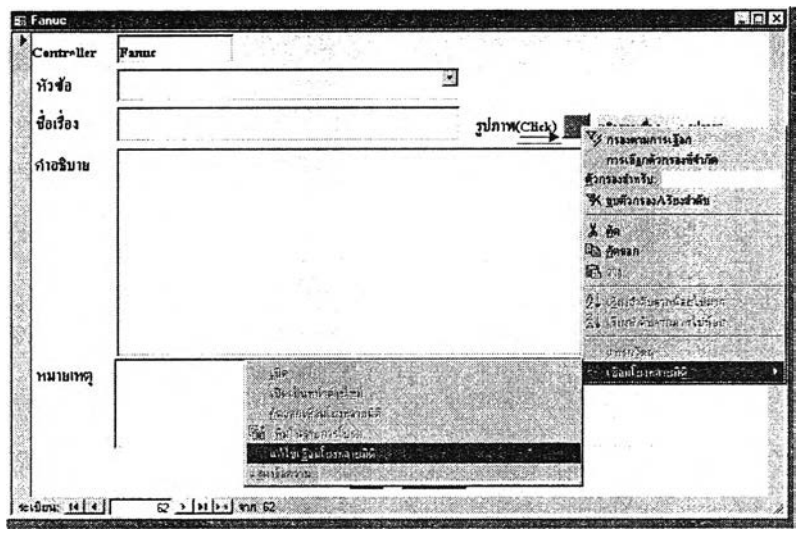
ก. การเพิ่มเติมข้อมูลลงในโปรแกรมต้องกด เพื่อเลื่อนข้อมูลไปยังหน้าสุดท้าย จากนั้นหน้าจอจะปรากฏเป็นหน้าจอที่ว่างพร้อมที่จะเพิ่มเติมข้อมูล ดังรูป



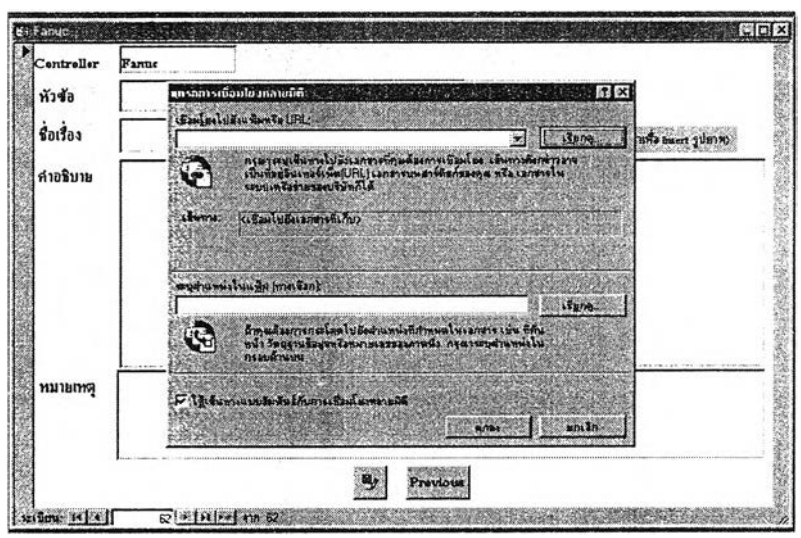
รูป 4.49 หน้าที่พร้อมที่จะเพิ่มเติมข้อมูล

ข. เพิ่มข้อมูลลงในตารางจากนั้นกด save

ค. หากต้องการแทรกรูปในฐานข้อมูลจะต้องกดปุ่มรูปภาพโดยดลิกเมาส์ปุ่มขวามือ จากนั้นเลื่อนไปที่ Hyperlink และ Edit Hyperlink จากนั้นเลือกรูปภาพโดยกด Browse เพื่อเลือกรูป เมื่อเลือกแฟ้มข้อมูลรูปภาพแล้วกด OK



รูปที่ 4.50 แสดงการแทรกรูปภาพในฐานข้อมูล



รูปที่ 4.51 แสดงการเลือกรูปภาพที่จะแทรก

ง. หลังจากเพิ่มเติมข้อมูลเรียบร้อยแล้วทำการบันทึกข้อใน save

จ. ต้องการย้อนกับกด Previous เพื่อกลับไปหน้าหลัก

4.7 ผลการประยุกต์ใช้ระบบฐานความรู้ด้านเครื่องกัดซีเอ็นซีที่ออกแบบ

การประยุกต์ระบบฐานความรู้เกี่ยวกับเครื่องกัดอัตโนมัติ ได้แบ่งการประยุกต์ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกทดลองเนื้อหาฐานความรู้โดยได้ทำการทดลองกับพนักงานในภาคอุตสาหกรรมจำนวน 7 ท่าน และในส่วนที่สองทดลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์การให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหาโดยได้ทำการทดลองกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่าน ซึ่งผลการประยุกต์ใช้เป็นดังนี้

4.7.1 ผลการประยุกต์ใช้ฐานความรู้กับบุคลากรจากภาคอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์

การประยุกต์ใช้เนื้อหาความรู้กับบุคลากรจากภาคอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ โดยในการประยุกต์เนื้อหาความรู้ ได้ดำเนินการในรูปแบบของการฝึกอบรมให้กับบุคลากรจำนวน 7 ท่าน ซึ่งในการดำเนินอบรมได้มีการทดสอบบุคลากรก่อนที่จะทำการฝึกอบรม และเมื่อเสร็จการฝึก อบรมได้มีการทดสอบอีกครั้ง ผลคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบกลุ่มผู้เข้าฝึกอบรมก่อนมีการฝึก อบรมมีคะแนนประมาณ 33.43 % อยู่ในเกณฑ์มีความรู้เบื้องต้นเพียงเล็กน้อย และหลังจากทำการฝึกอบรมแล้ว ได้มีการทำการประเมินผลอีกครั้งหนึ่ง ด้วยข้อสอบชุดเดียวกัน และเวลาที่เท่ากันกับที่ทำการทดสอบก่อนฝึกอบรม พบว่าผลคะแนนเฉลี่ยของการทดสอบกลุ่มผู้เข้าฝึกอบรมรมหลังจากการฝึกอบรมมีคะแนนประมาณ 73.97% ดังแสดงในกราฟ ที่ 4.52 สรุปผลการทดสอบก่อน และ หลังการฝึกอบรม

เมื่อดำเนินการอบรมได้มีการทำแบบฝึกหัดระหว่างบทเรียนแต่ละบท ซึ่งผลคะแนนเฉลี่ยในบทที่ 1-6 ของผู้เข้ารับการอบรมทั้ง 7 คน เท่ากับ 94.90, 92.86, 87.76, 94.30, 80.89 และ 94.29 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.53 ส่วนคะแนนของผู้เข้ารับการอบรมแต่ละบุคคล สามารถดูได้จากกราฟรูปที่ 4.54 แสดงคะแนนแบบฝึกหัดของแต่ละบุคคล

หลังจากการฝึกอบรม ผู้เข้ารับการฝึกอบรมได้ประเมินเนื้อหาความรู้และทักษะว่าสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ได้คิดเป็น ร้อยละ 78.57 และความเหมาะสมโดยรวมของเนื้อหาคิดเป็นร้อยละ 89.29 ส่วนความเหมาะสมของวัตถุประสงค์และเนื้อหาในแต่ละบทนั้น ผู้เข้ารับการอบรมได้ประเมินผลเป็นคะแนนดังแสดงในรูปที่ 4.55 กราฟแสดงคะแนนเฉลี่ยของความเหมาะสมของวัตถุประสงค์และเนื้อหาแต่ละบท

4.7.2 ผลการตรวจสอบฐานข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การตรวจสอบฐานข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ทำการตรวจสอบโดยผู้ที่มีประสบการณ์ในงานซีเอ็นซี ทั้งหมด 4 ท่าน ซึ่งแต่ละท่านมีคุณสมบัติดังนี้

1) ท่านที่ 1 มีประสบการณ์ในการทำงาน 16 ปี ปัจจุบันมีตำแหน่ง CNC Machining Manager วุฒิการศึกษา ปริญญาโท จัดเป็นผู้เชี่ยวชาญระดับ Chief Expert
2) ท่านที่ 2 มีประสบการณ์ในการทำงาน 8 ปี ปัจจุบันมีตำแหน่ง Mould & Die Making Engineer วุฒิการศึกษา ปริญญาตรี จัดเป็นผู้เชี่ยวชาญระดับ Expert
3) ท่านที่ 3 มีประสบการณ์ในการทำงาน 4 ปี ปัจจุบันมีตำแหน่ง CNC Engineer วุฒิการศึกษา ปริญญาตรี จัดเป็นผู้เชี่ยวชาญระดับ Junior Expert
4) ท่านที่ 4 มีประสบการณ์ในการทำงาน 15 ปี ปัจจุบันมีตำแหน่ง Mould Making Technician วุฒิการศึกษา ปวส. จัดเป็นผู้เชี่ยวชาญระดับ Expert

ในการตรวจสอบได้กำหนดหัวข้อในการตรวจสอบฐานข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ไว้ 8 หัวข้อดังนี้

1) ฐานข้อมูลมีความเหมาะสมถูกต้องเพียงใด
2) ฐานข้อมูลมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานจริงเพียงใด
3) การสืบค้นข้อมูลมีความสะดวกในการใช้งานเพียงใด
4) การเพิ่มเติมข้อมูลมีความสะดวกในการใช้งานเพียงใด
5) ฐานข้อมูลมีความง่ายต่อการเข้าใจมากน้อยเพียงใด
6) รูปภาพในฐานข้อมูลมีความสอดคล้องกับข้อมูลเพียงใด
7) การแสดงข้อมูลมีความสวยงามเพียงใด
8) ภาพรวมของโปรแกรมอยู่ในระดับใด

ผลกการตรวจสอบฐานข้อมูลโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถสรุปผลเป็นคะแนนเฉลี่ยตามหัวข้อที่กำหนดข้างต้นดังแสดงในรูปที่ 4.56 แสดงคะแนนการตรวจสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เฉลี่ยแต่ละหัวข้อของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งคะแนนเฉลี่ยของการประเมินทุกหัวข้อประมาณ 76.56 % อยู่ในเกณฑ์น่าพอใจ และในการตรวจสอบได้ให้ผู้ตรวจสอบให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมและปรับปรุงแก้ไข สามารถสรุปได้ดังนี้

1) ไม่สามารถสืบค้นข้อมูลจากหัวข้อได้ควรปรับปรุงให้สามารถสืบค้นหัวข้อได้
2) ตรงบริเวณคำอธิบาย ที่ชื่อเรื่องควรเน้นให้ตรงตัวหนังสือมีความหนามากกว่าคำอธิบาย

3) การเพิ่มเติมข้อมูลไม่สามารถสืบค้นได้ควรปรับปรุงให้สืบค้นได้

4) หน้าต่าง Window น่าจะปรับปรุงให้มีสีสันมากขึ้น

5) ในลักษณะของการค้นหาข้อมูลควรมีการค้นหาที่ง่ายและตรงมากกว่านี้เช่น ต้องการหาคำสั่ง G01 ก็พิมพ์ G01 และ Enter ก็สามารถหาได้เลย

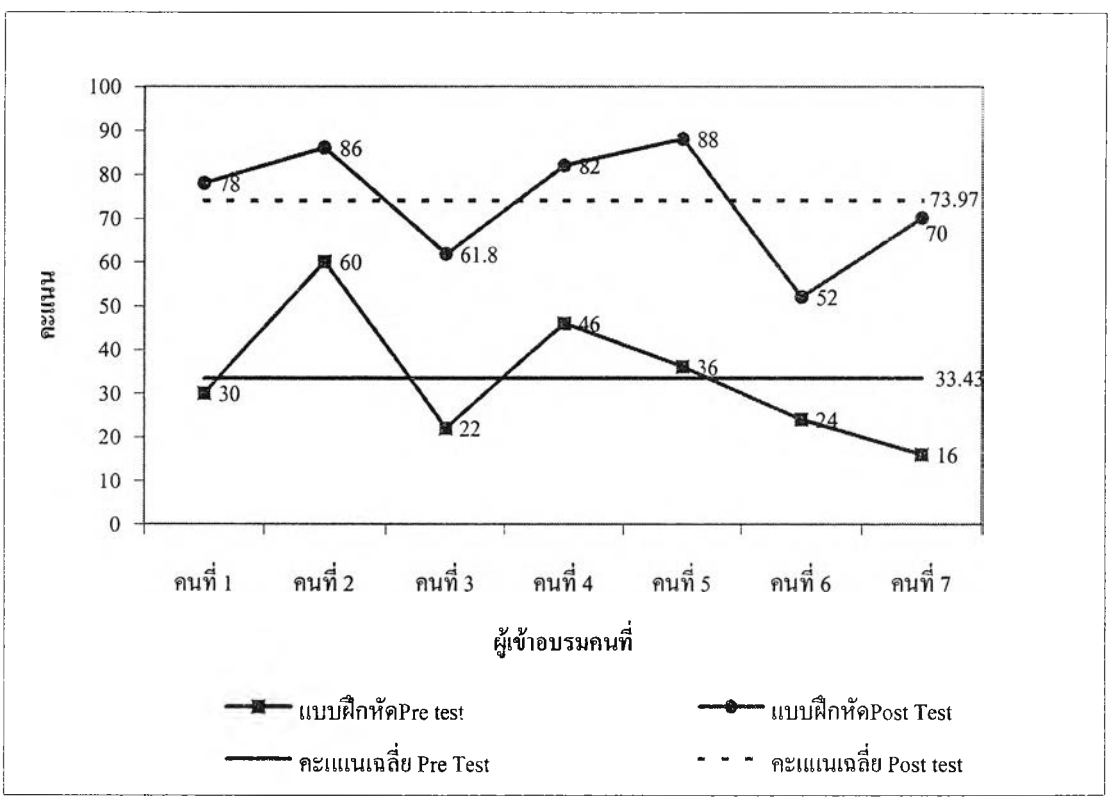
6) ควรมีรูปประกอบด้านข้างเมื่อต้องการดูรายละเอียดของรูปภาพ

7) คำสั่ง M code ไม่มี

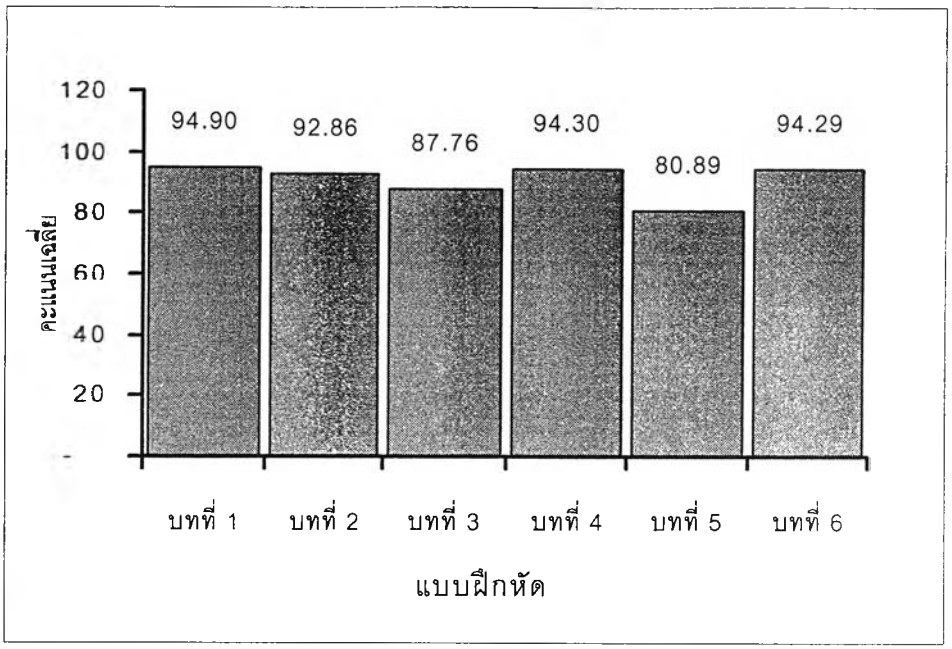
8) ควรมีหลาย Controller

9) ควรเพิ่ม Icon เพื่อความสะดวกในการหาข้อมูล

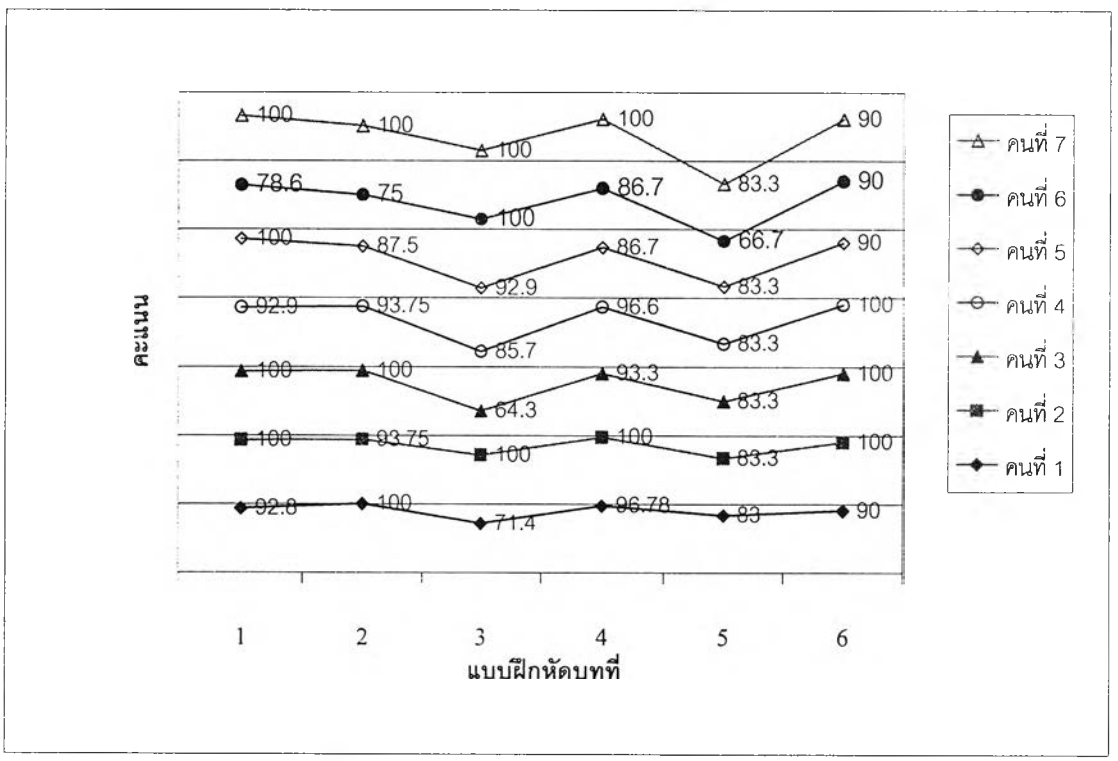
เมื่อได้รับข้อเสนอแนะดังกล่าวข้างต้น จึงได้นำข้อเสนอแนะมาทำการปรับปรุงแก้ไขฐานข้อมูลในส่วนที่สามารถแก้ไขได้ จนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการให้คำแนะนำและแก้ไขปัญหา ที่สามารถใช้งานได้



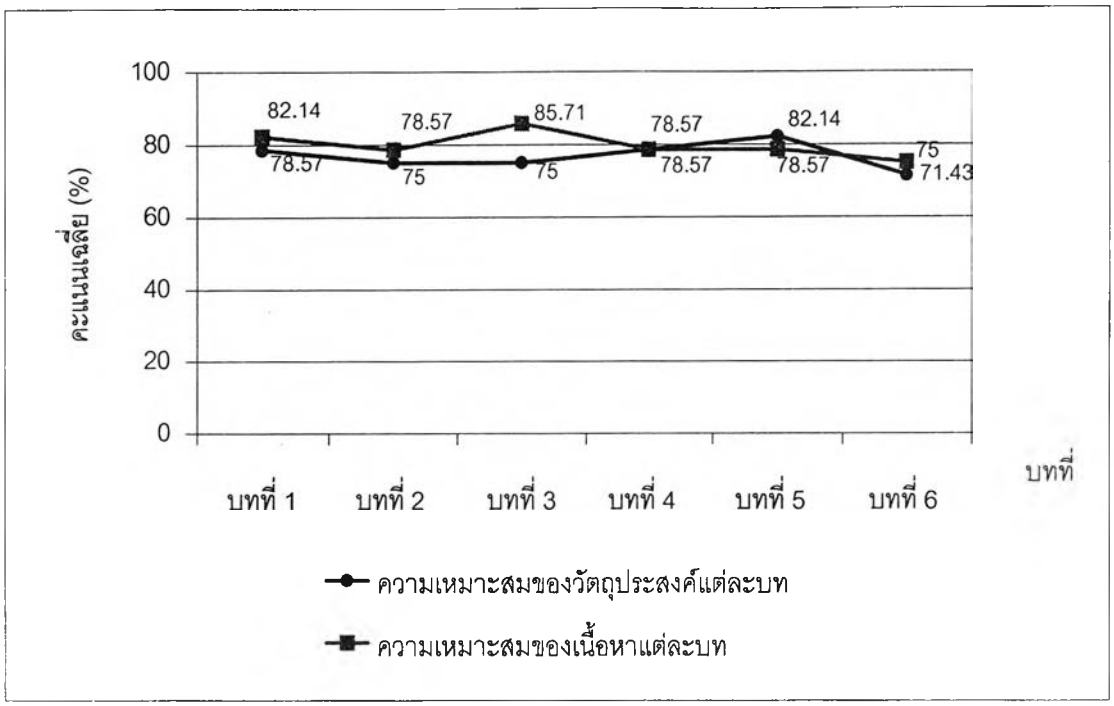
รูปที่ 4.52 สรุปผลการทดสอบก่อน และหลังการฝึกอบรม ของพนักงานจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 7 คน



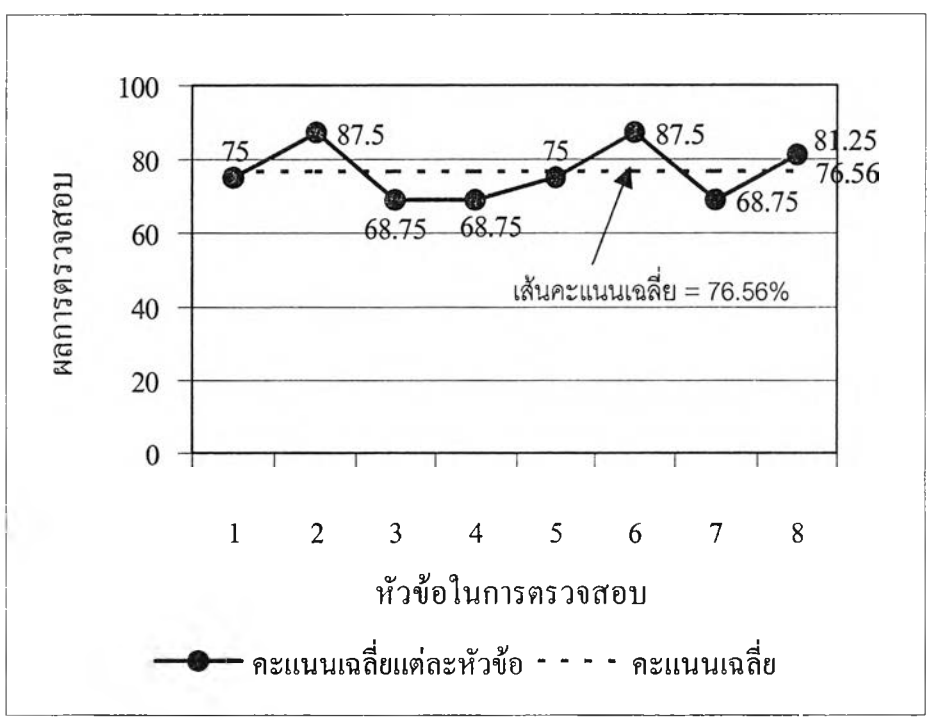
รูปที่ 4.53 แสดงคะแนนเฉลี่ยของแบบฝึกหัดท้ายบทของพนักงานจากโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 7 คน



รูปที่ 4.54 แสดงคะแนนแบบฝึกหัดของแต่ละบุคคล



รูปที่ 4.55 กราฟแสดงคะแนนเฉลี่ยของความเหมาะสมของวัตถุประสงค์และเนื้อหาแต่ละบท



รูปที่ 4.56 แสดงคะแนนการตรวจสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เฉลี่ยแต่ละหัวข้อของผู้เชี่ยวชาญ