สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็ก

MICRO CIM

(Micro Computer Integrated Manufacturing)

โดย

นาย ชนาเมธ เฟื่องวรรธนะ

นาย เติมพงศ์ อุดมกิจ

ส.ก.
ว.ล.ร.
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62610
วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2549

b 11621013
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศรกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็ก

MICRO CIM

(Micro Computer Integrated Manufacturing)

ผู้จัดทำ นาย ชนาเมธ เฟื่องวรรธนะ 45010155

นาย เติมพงศ์ อุดมกิจ 45010284

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เทพจิตร์ เชยโภคา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็ก

MICRO CIM

(Micro Computer Integrated Manufacturing)

โดย

นาย ชนาเมธ เฟื่องวรรธนะ รหัส 45010155

นาย เติมพงศ์ อุดมกิจ รหัส 45010284

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เทพจิตร์ เชยโภคา

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการควบคุมการทำงานของเครื่อง CNC ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อสร้างกระบวนการผลิตแบบอัตโนมัติ โดยทำงานเป็นลำดับ เริ่มจากรับสัญญาณจากแขนกลว่าชิ้นงานได้เข้ามาอยู่ในตำแหน่งแล้ว จึงสั่งให้ CNC ยึดจับชิ้นงานและดำเนินการตามโปรแกรมจนเสร็จ จึงสั่งให้แขนกลหยิบชิ้นงานออกไป แล้วกลับมาที่ตำแหน่งเริ่มต้นใหม่อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมอัตโนมัติขนาดเล็ก

MICRO CIM

(Micro Computer Integrated Manufacturing)

โดย

นาย ชนาเมธ เฟื่องวรรธนะ รหัส 45010155

นาย เติมพงศ์ อุดมกิจ รหัส 45010284

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เทพจิตร์ เชยโภคา

ABSTRACT

The purpose of this project is to control the CNC machine with the other equipments to provide the automatic production process. This process works orderly. First the mechanical arm gives a sign that the work piece is already in the right position. Next this signal orders the machine to capture the work piece. Then the machine operates according to the program until the operation is ready. Finally the arm is commanded to let the work piece out and return to the first position again.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ทุกคนในทุกครอบครัวของผู้ร่วมดำเนินงานในการเลี้ยงดูและให้กำลังใจจนถึงทุกวันนี้เพื่อนๆทุกคนทั้งในและนอกภาควิชา ที่แบ่งปันและถ่ายทอดความรู้เพื่อโครงงานนี้ เจ้าหน้าที่ของภาควิชาทุกคนที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี สาวๆทุกคนที่คอยหาข้าวกล่องและขนมมาให้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์เทพจิตร์ เชยโภคา ที่ให้การสนับสนุนและคำแนะนำทั้งหมด

คณะผู้จัดทำ

นาย ชนาเมธ เฟื่องวรรธนะ

นาย เติมพงศ์ อุดมกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 กระบวนการควบคุมเชิงตัวเลขอย่างง่าย 2

รูปที่ 1.2 ระบบคู่ลำดับแบบเรคแทนกุลาร์คาร์ทีเซียนชนิดสองมิติ 4

รูปที่ 1.3 ระบบคู่ลำดับมือขวา (R/H) จุด P_1 ,มีค่าคู่ลำดับเป็น X = 2, Y = 4 และ Z = 3 5

รูปที่ 1.4 ระบบคู่ลำดับมือขวา (ก) ระบบคู่ลำดับที่วางซ้อนกันบนเครื่องมือกล 6

(ข)การนิยามมุมบวก a,b หรือ c ที่หมุนรอบแกน X , Y or Z ในทิศทวนเข็มนาฬิกา

รูปที่ 1.5 ระบบคู่ลำดับในเครื่องมือกล (ก) การเจาะ (ข) การกัด (ค) การกลึง 7

รูปที่ 1.6 เครื่องกันแบบโพลไฟต์ (profile) และคอนทัวร์มิลล์ (contour mill) 8

รูปที่ 1.7 ลำดับการทำงานของระบบ NC 9

รูปที่ 1.8 การทำงานแบบอินครีเมนทัล 10

รูปที่ 1.9 การทำงานแบบแอบโซลูท 11

รูปที่ 1.10 ระบบโพซิชั่นนิ่ง 12

รูปที่ 1.11 ระบบโพซิชั่นนิ่ง/ตัดตรง 13

รูปที่ 1.12 ระบบคอนทัวริ่ง 14

รูปที่ 1.13 ระบบรวม 15

รูปที่ 2.1 เครื่องลินดอล์นมิลเลอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือกลสมัยต้น 17

รูปที่ 2.2 บล็อคไดอะแกรมของระบบ NC 20

รูปที่ 2.3 รูปลักษณ์ของ CNC 21

รูปที่ 2.4 รูปลักษณ์ของระบบ DNC (ก) ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง 23

(ข) ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์บริวาร

รูปที่ 2.5 ระบบควบคุมเชิงตัวเลขแบบไฮเออราดิเคิล 25

รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้เครื่องจักร NC (ก) บริเวณที่เหมาะต่อการใช้เครื่องจักร NC 26

(ข) ปริมาณการผลิตที่เหมาะต่อการใช้เครื่องจักร NC

รูปที่ 2.7 ระบบ CAD 27

รูปที่ 2.8 รูปลักษณ์ของการตรวจสอบของพื้นผิวหน้าโดยใช้ NC 28

รูปที่ 2.9 เครื่องตรวจสอบ NC ชนิดสามแกน 29

รูปที่ 3.1 สัญญาณอนาลอกและดิจิตอล (ก) สัญญาณอนาลอก (ข) สัญญาณดิจิตอล 32

รูปที่ 3.2 การไหลของข้อมูลดิจิตอลสำหรับลูบ NC 33

รูปที่ 3.3 ระยะทางและเวลาที่เคลื่อนที่ไปตามแกน X 35

รูปที่ 3.4 ระบบโพซิชั่นนิ่งแบบลูพเปิดและลูพปิด (ก) การควบคุมโพซิชั่นนิ่งแบบลูพเปิด 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) การควบคุมโพซิชั่นนิ่งแบบลูพปิด
รูปที่ 3.5 การควบคุมป้อนกลับแบบทางอ้อม 37
รูปที่ 3.6 การควบคุมป้อนกลับแบบทางตรง 37
รูปที่ 3.7 รูปลักษณ์ของระบบ NC ซึ่งเป็นการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว 38
รูปที่ 3.8 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่ได้ทำให้ง่ายลงแล้วของระบบในรูปที่ 3.7 39
รูปที่ 3.9 (ก) ทรานซดิวเซอร์แบบดิจิตอลเชิงเส้น 42
(ข) วิธีการเลือกทิศทางที่ใช้ในทรานซดิวเซอร์แบบดิจิตอลเชิงเส้น
รูปที่ 3.10 ตัวขับเร้าไฮดรอลิค สัญญาณไฟฟ้าถูกแปลงไปสู่สัญญาณของเหลวด้วยตัวขยาย 43
กำลังไฮดรอลิค
รูปที่ 3.11 ย่านไร้การตอบสนองสำหรับผลการตอบสนองเซอร์โว 44
รูปที่ 3.12 วิธีควบคุมความเร็วสำหรับ NC แบบโพซิชั่นนิ่ง (ก) การตอบสนองภายใต้การหน่วง 46
(ข) การตอบสนองภายใต้การหน่วงที่ถูกแก้ไขให้ถูกต้องสำหรับแบ็กแลช
(ค) การตอบสนองต่ออินพุทที่เป็นขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วย
รูปที่ 3.13 การแก้ไขทางเดินโดยใช้การควบคุมการติดตาม 49
รูปที่ 3.14 การแก้ไขทางเดินโดยใช้การควบคุมเส้นทาง 50
รูปที่ 3.15 เอาท์พุทของทรานซดิวเซอร์ 52
รูปที่ 3.16 การสร้างสัญญาณต่างจากอินพุทที่เป็นสัญญาณพัลซ์อินพุทและสัญญาณ 52
ทรานซดิวเซอร์
รูปที่ 3.17 ความผิดพลาดแพทเทิร์นในระบบสองแกน 54
รูปที่ 3.18 นิยามเวคเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดแพทเทิร์น 54
รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมระบบ NC พร้อมด้วยฟังก์ชั่นถ่ายโอน 56
รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมของระบบ NC ที่ทำให้ง่ายลงแล้ว 57
รูปที่ 3.21 ความผิดพลาดของมุม 58
รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องกัดแนวดิ่งซีเอ็นซี 61
รูปที่ 4.2 แสดงระบบควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี 63
รูปที่ 4.3 แสดงโปรแกรมบล็อกที่ประกอบด้วยคำ 7 คำ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ค่าของตัวเลือกทิศทางของทรานดิวเซอร์ 42

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องจักรกลทั่วไป กับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี 61

ตารางที่ 4.2 แสดงชุดคำสั่ง G ที่มีใช้ในโปรแกรม 65

ตารางที่ 4.3 แสดงชุดคำสั่ง M (M Function) 66

ตารางที่ 5.1 ลักษณะของคอนเนคเตอร์แบบ D-Type 73

ตารางที่ 6.1 แสดงขาสัญญาณของ DATA PORT 77

ตารางที่ 6.2 แสดงขาสัญญาณของ STATUS PORT 78

ตารางที่ 6.3 แสดงขาสัญญาณของ CONTROL PORT 79

ตารางที่ 6.4 ลักษณะสัญญาณของพอร์ตขนานทั้งหมด 80

ตารางที่ 6.5 สรุปรายละเอียดเกี่ยวกับสัญญาณที่ใช้ในพอร์ตขนาน 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
การควบคุมเชิงตัวเลข

1.1 บทนำ

ในระบบการผลิตสมัยใหม่และโรบอทเชิงอุตสาหกรรม (Industrial Robots) เป็นระบบอัตโนมัติที่ก้าวหน้ามาก เพราะใช้คอมพิวเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุม เครื่องมือกล (Machine Tools) เครื่องเชื่อม และเครื่องตัดโดยลำแสงเลเซอร์ เป็นต้น ต่างก็ประยุกต์คอมพิวเตอร์ซึ่งในปัจจุบันมีราคาถูกลงเข้ามาใช้เพื่อเพิ่มความสะดวก ความรวดเร็ว และความถูกต้องในการผลิตที่เป็นจำนวนมาก

การควบคุมเครื่องมือกลโดยใช้ตัวกลางซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้เตรียมล่วงหน้าไว้แล้ว เรียกว่า การควบคุมเชิงตัวเลข (Numerical Control) สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association: EIA) ได้นิยามอุปกรณ์ NC ไว้ดังนี้ คือ

ระบบหนึ่งซึ่งกิริยาของระบบถูกควบคุมโดยข้อมูลเชิงตัวเลขที่ป้อนเข้าไป
โดยตรง ณ จุดใดจุดหนึ่ง ระบบนี้จะต้องทำงานแบบอัตโนมัติอย่างน้อยช่วงใดช่วงหนึ่ง

การนำ NC มาประยุกต์ใช้โดยส่วนมากจะเป็นการนำเข้ามาช่วยในงานผลิตสินค้า (manufacturing) อย่างไรก็ตาม ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการผลิตทั้งหมด (total production) และในด้านการจัดการ

NC ซึ่งช่วยในการผลิตสินค้านี้ เป็นวิวัฒนาการมาจากกระบวนการผลิตสินค้าด้วยมือ อย่างไรก็ตาม NC นี้สามารถใช้งานในหลายด้านได้ ตั้งแต่การออกแบบวิศวกรรม (design engineering) การวางแผน การทำเครื่องมือ ตลอดจนการควบคุมคุณภาพ สิ่งที่เด่นที่สุดของ NC คือ การจัดเตรียมกระบวนการผลิตสินค้าทั้งหมดด้วยการควบคุมอย่างใกล้ชิด

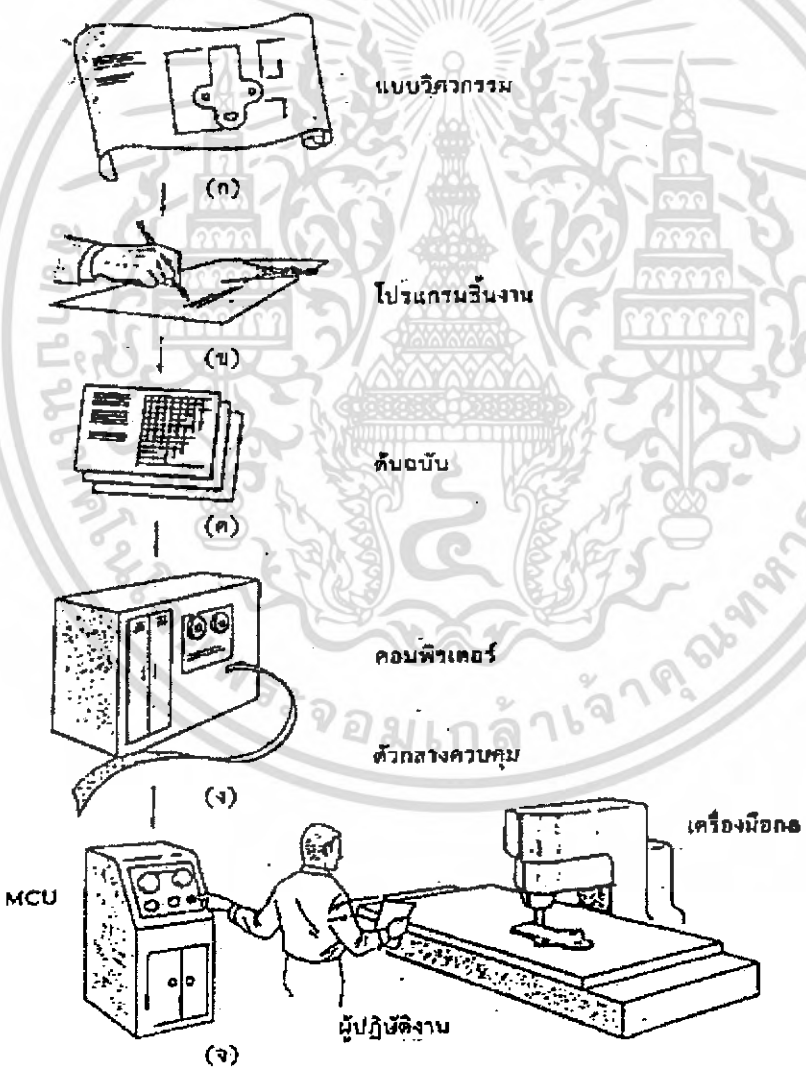
1.2 การอธิบายกระบวนการควบคุมเชิงตัวเลขอย่างง่าย

ผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตนั้น จะต้องวาดและกำหนดสัดส่วนลงในแบบวิศวกรรม (Engineering Drawing) นั่นคือ จะต้องมีการกำหนดชนิดวัสดุและเงื่อนไข กำหนดการทำขั้นสุดท้ายของผิวชิ้นงาน และค่าผิดพรากที่ยอมได้ และกำหนดสัดส่วนของชิ้นงาน เช่น ความยาว ความกว้าง ความสูง รัศมี และเส้นโค้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงาน (Part Programmer) จะทำหน้าที่ขั้นต่อไป คือ พยายามดึงข้อมูลทั้งหมดและสัดส่วนที่ต้องการผลิตจากแบบวิศวกรรมดังรูปที่ 1.1 (ข) ดังนั้น ผู้เขียนโปรแกรมจึงเป็นบุคคลเดียวกันที่ทำหน้าที่เป็น

1. **ผู้วางแผน** (Planner) ซึ่งจะกำหนดลำดับขั้นตอนในการปฏิบัติ
2. **ผู้จัดเครื่องมือ** (Tooling man) ซึ่งจะกำหนดฟิกซ์เจอร์เครื่องมือกล (Machine Tool Fixtures) และเครื่องมือตัด (Cutting Tools)
3. **ชำนาญทางเครื่องกล** (Machanist) ซึ่งทำหน้าที่พิจารณาการป้อนส่ง (Feed) และความเร็ว (Speed)



รูปที่ 1.1 กระบวนการควบคุมเชิงตัวเลขอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงานได้วิเคราะห์แล้ว จึงบันทึกผลการตัดสินใจทั้งหมดลงในต้นฉบับในรูปแบบของรหัสหรือสัญลักษณ์ ซึ่งจะได้ออกมาเป็นโปรแกรมที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องมือกล ดังรูปที่ 1.1 (ค)

ในขั้นต่อไป คอมพิวเตอร์จะถูกนำมาใช้ช่วยผู้เขียนโปรแกรมในการคำนวณชิ้นงาน คอมพิวเตอร์จะคำนวณการตัดกัน (Intersection) การสัมผัส (Tangencies) เป็นต้น จากจุด เส้นตรง และเส้นโค้งที่ได้ถูกกำหนดไว้ในแบบวิศวกรรมโดยอัตโนมัติ แล้วยังคงข้อมูลเหล่านี้เพื่อใช้กับคำสั่งในการตัด (Cutting Instruction) คำสั่งในการตัดนี้ คือ การเคลื่อนที่เป็นลำดับที่กำหนดไว้แล้วโดยผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงาน และคำสั่งนี้ยังจำเป็นต้องใช้เพื่อสั่งเลื่อนโลหะ ซึ่งจะได้รูปลักษณ์ของชิ้นงานตามที่ต้องการ คอมพิวเตอร์ยังคำนวณทางเดินออฟเซ็ท (Offset Path) ซึ่งเป็นทางเดินไปตามออฟเซ็ทพื้นผิวของชิ้นงานอันเกิดจากการเลือกใช้มีดตัด (Cutter) และคอมพิวเตอร์ยังผลิตตัวกลางควบคุมโดยใช้อัตราการป้อนส่ง (Feed Rates) ระบบควบคุมและลักษณะพลวัตรของเครื่องมือกล ตัวกลางควบคุมนี้คือเทปที่ใช้สำหรับปฏิบัติงานของเครื่องมือกลและสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ดังรูปที่ 1.1 (ง)

หน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานคือ ประกอบฟิกซ์เจอร์บนเครื่องมือกล วางชิ้นงานลงในฟิกซ์เจอร์นี้ ใส่มีดตัดในสปินเดิ้ล (Spindle) และตัวกลางควบคุมที่ระบบควบคุมเครื่องมือกลพร้อมกับเริ่มสตาร์ทการปฏิบัติงาน ระบบควบคุมจะให้คำสั่งของเครื่องมือกล และนำมีดตัดไปตามทางที่ได้กำหนดไว้ก่อนแล้ว ระบบจะทำงานจนถึงขั้นตอนสุดท้ายโดยอ่านตัวกลางควบคุมนี้ แล้วกระตุ้นให้ระบบเซอร์โว สกรูนำ (Lead screw) และระบบป้อนกลับให้ทำงาน ดังรูปที่ 1.1 (จ)

การลองการผลิตและตัวกลางควบคุมในครั้งแรกนี้ โดยปรกติจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการผลิตและในการเขียนโปรแกรม เมื่อได้แก้ไขความผิดพลาดเหล่านี้ และทางควบคุมคุณได้ยอมรับชิ้นงานแล้ว จะสามารถทำการผลิตได้โดยไม่ต้องวิเคราะห์หรือตัดสินใจใหม่ ตัวเลขโปรแกรมที่ได้พิจารณาล่วงหน้าเรียบร้อยแล้วนี้จะควบคุมกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงเรียกว่า การควบคุมเชิงตัวเลข

1.3 แนวคิดพื้นฐาน

1.3.1 ระบบคู่ลำดับแบบเรคแทนกุลาร์คาร์ทีเซียน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้นว่า ผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงานเป็นผู้ดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องและขนาดสัดส่วนที่นำไปใช้ผลิตชิ้นงานจากแบบวิศวกรรม การที่จะแสดงข้อมูลของขนาดสัดส่วนให้แก่ระบบคอมพิวเตอร์นั้น ชิ้นงานเหล่านี้จะถูกนิยามในรูปอนุกรมของจุด เส้นตรง และเส้นโค้ง

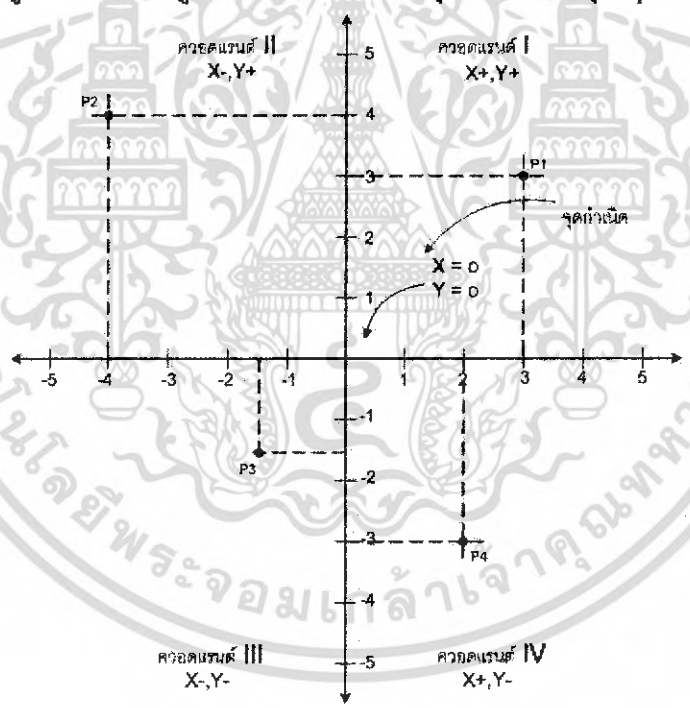
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือ นิยามให้อยู่ในรูปเรขาคณิตของผิวหน้าชิ้นงาน (Past Surfaces) กระบวนการ NC นี้ได้ใช้ระบบของคู่ลำดับ (Coordinates) เพื่อสร้างรูปเรขาคณิต

1.3.2 ระบบสองมิติ (2D)

ระบบคู่ลำดับที่ง่ายที่สุด คือ ระบบสองมิติ (Two-Dimensional System) หรือระบบสองแกน รูปที่ 1.2 เป็นระบบสองมิติที่ถูกสร้างขึ้นด้วยเส้นตรงสองเส้นที่มีสเกลบ่งอยู่ และเส้นตรงสองเส้นนี้ต่างตั้งฉากซึ่งกันและกัน จุดที่ตัดกันของเส้นตรงสองเส้นนี้ จะเป็นจุดศูนย์ของเส้นตรง ทั้งสอง ดังนั้น เส้นตรงทั้งสองจึงเป็นแกนคู่ลำดับ (Coordinate Axes) และจุดตัดกันจะเรียกว่า จุดกำเนิด (Origin) ซึ่งจะกำหนดว่า X= 0 , Y = 0

เครื่องหมายของแกนนั้น พิจารณาจากทิศทางที่ออกจากจุดกำเนิด ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.2 แกน X ที่อยู่ทางซ้ายของจุดกำเนิดจะเป็นลบ และเป็นบวกเมื่อยู่ทางขวาของจุดกำเนิด ในทำนองเดียวกัน แกน Y ที่อยู่ใต้จุดกำเนิดจะเป็นลบ และเป็นบวกเมื่ออยู่เหนือจุดกำเนิด ตำแหน่งจุดใด ๆ บนระนาบ (Plane) นี้จะถูกพิจารณาและถูกบรรยายได้โดยอ้างอิงจุดกำเนิด เช่น จุด P_1 จะเป็น X=2, Y=3



จุด	ค่าX	ค่าY
1	+3	+3
2	+4	-4
3	-1.5	-1.5
4	+2	-3

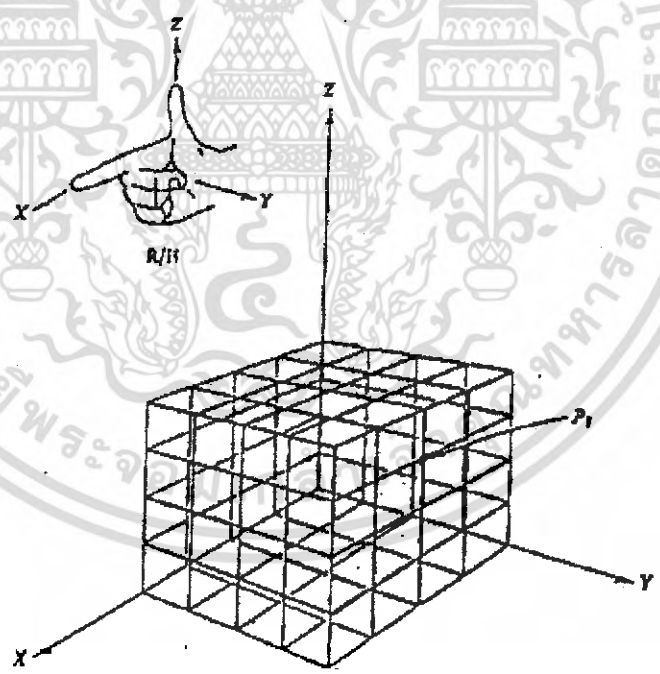
รูปที่ 1.2 ระบบคู่ลำดับแบบเรคแทนกุลาร์คาร์ทีเซียนชนิดสองมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระนาบดังกล่าวยังแบ่งออกได้เป็นสี่ควอดแรนท์ คือ ควอดแรนท์ 1 ควอดแรนท์2 ควอดแรนท์ 3 และควอดแรนท์ 4 เครื่องหมายคู่ลำดับของจุดที่อยู่ภายในระนายนี้ จะถูกพิจารณาโดยตำแหน่งของ ควอดแรนท์ ดังนั้น จุดใด ๆ ที่อยู่ในควอดแรนท์ 1 จะได้ว่า X เป็น + และ Y เป็น - อยู่ใน ควอดแรนท์ 2 จะได้ว่า X เป็น - Y เป็น + อยู่ใน ควอดแรนท์ 3 จะได้ค่า X เป็น - Y เป็น + อยู่ใน ควอดแรนท์ 4 จะได้ค่า X เป็น + Y เป็น - แต่ละจุดจะมีตำแหน่งเอกลักษณ์ของตัวเอง และสามารถนิยามในเชิงคณิตศาสตร์ได้ค่า Y จะหาได้จากระยะที่ห่างจากแกน X และค่า X จะหาได้จากระยะที่ห่างจากแกน Y ค่าเหล่านี้จะ หมายถึง คู่ลำดับของจุด

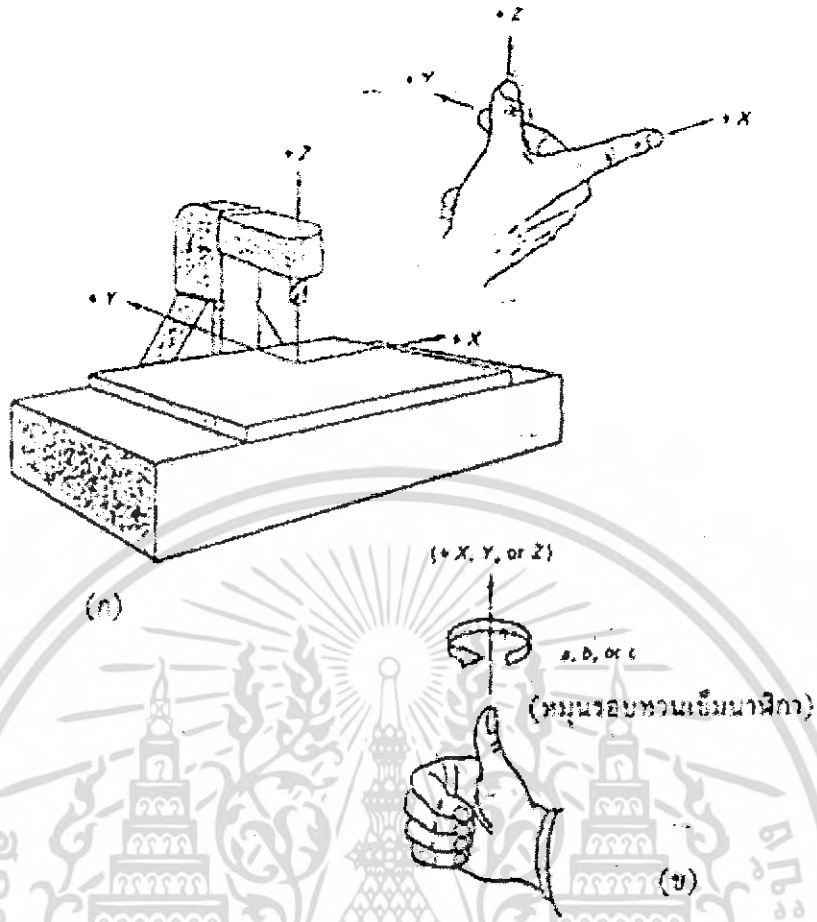
1.3.3 ระบบสามมิติ (3D)

เมื่อเพิ่มแกนคู่ลำดับ Z อีกแกนหนึ่ง เข้ากับแกน X และแกน Y ของระบบคู่ลำดับสองมิติแล้ว จะสามารถสร้างระบบสามมิติ (Three Dimensional System) หรือสามแกนขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 1.3 และอาจกล่าวได้อีกว่า ระบบคู่ลำดับสามมิตินั้นสร้างขึ้นจากเส้นตรงที่ตั้งฉากซึ่งกันและกันในสเปซ (Space) เส้นตรงเหล่านี้จะถูกนิยามให้มีหน่วยเหมือนกัน และให้ชื่อแกนคู่ลำดับเป็น X ,Y และ Z ส่วนจุดตัดกันก็จะเหมือนกับกรณีของระบบสองมิติ กล่าวคือ จุดนี้จะเป็นจุดกำเนิด และมีค่าคู่ลำดับของ X = 0 , Y = 0 และ Z = 0 สำหรับรูปที่ 1.4 เป็นรูปที่แสดงระบบคู่ลำดับมือขวา



รูปที่ 1.3 ระบบคู่ลำดับมือขวา (R/H) จุด P_1 ,มีค่าคู่ลำดับเป็น X = 2 , Y = 4 และ Z = 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

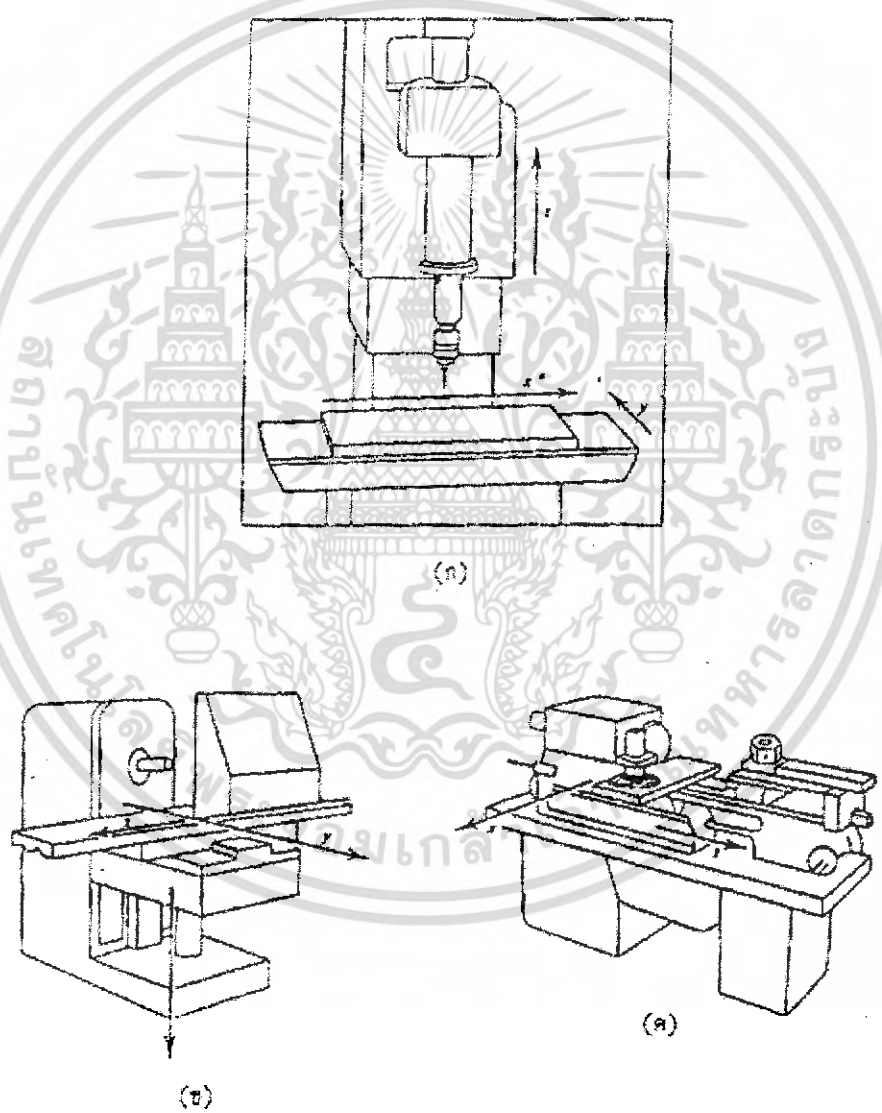


รูปที่ 1.4 ระบบคู่ลำดับมือขวา (ก) ระบบคู่ลำดับที่วางซ้อนกันบนเครื่องมือกล (ข) การนิยามมุมบวก a,b หรือ c ที่หมุนรอบแกน X , Y or Z ในทิศทวนเข็มนาฬิกา

แกนที่จับกันเป็นคู่ ๆ จะทำให้เกิดระนาบคู่ลำดับ XY , XZ และ YZ ถ้า P เป็นจุดใดในสเปซ ค่าคู่ลำดับ X , Y และ Z จะสามารถสร้างได้จากระนาบที่ตั้งฉากกับแกนคู่ลำดับในแต่ละแกนกับจุดที่ตัดที่ P ระยะทางที่วัดจากจุดกำเนิดไปตามแกน X , Y และ Z คือ คู่ลำดับ X , Y และ Z ของจุด P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

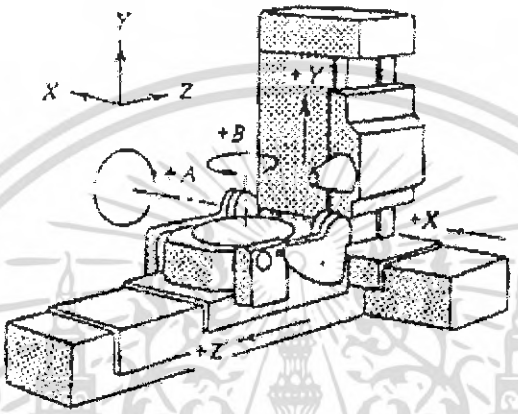
รูปที่ 1.5 แสดงระบบคู่ลำดับของเครื่องเจาะ (Drilling Machine) เครื่องกัด (Milling Machine) และเครื่องกลึง (Lathe Machine) ในเครื่องเจาะและเครื่องกันนั้น แกน X และแกน Y จะอยู่ในแนวนอน (Horizontal) คำสั่งการเคลื่อนที่เป็นบวกในการเจาะนั้น แกน X จะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวา แกน Y จะเคลื่อนจากหน้าไปหลัง และแกน Z จะเคลื่อนที่ขึ้นบน ส่วนเครื่องกัดจะทำงานในทิศทางที่กลับกันดังแสดงในรูปที่ 1.5 ส่วนเครื่องกลึงนั้นต้องการคำสั่งเพื่อให้เครื่องมือกลเคลื่อนที่ในสองแกนเท่านั้น เนื่องจากสปินเดิ้ล นั้นอยู่ในแนวนอน ดังนั้น แกน Z ก็อยู่ในแนวนอนด้วย แกนที่ตัดกับแกน Z คือแกน X คำสั่งที่เป็นบวกจะเคลื่อนแกน Z จากซ้ายไปขวา และแกน X จาหลังไปหน้า เพื่อสร้างการเคลื่อนที่ในระบบคู่ลำดับแบบมือขวา



รูปที่ 1.5 ระบบคู่ลำดับในเครื่องมือกล (ก) การเจาะ (ข) การกัด (ค) การกลึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน NC ทันสมัย ต้องการแกนการทำงานมากเป็นสี่หรือทำแกนเพื่อทำงานแบบคอนทัวริ่ง (Contouring) ดังนั้น จึงต้องเพิ่มความสามารถดังกล่าวด้วยการเพิ่มแกนมัธยม (Secondary Axis) เข้ากับระบบเดิม โดยแกนเหล่านี้จะได้ชื่อเป็นแกน U V และ W และอาจเพิ่มการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบ (Rotational Movement) ในระบบคู่ลำดับอีกได้ สำหรับรูปที่ 1.6 เป็นรูปที่ยกตัวอย่างของเครื่องมือกลที่ทำงานห้าแกน



รูปที่ 1.6 เครื่องกัดแบบโพลไฟต์ (profile) และคอนทัวร์มิลล์ (contour mill)

1.4 ระบบควบคุมเครื่องจักรด้วยการควบคุมเชิงตัวเลข

ในรูปที่ 1.7 เป็นรูปที่แสดงถึงการควบคุมเครื่องจักรด้วยวิธีการควบคุมเชิงตัวเลข ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบมีดังต่อไปนี้

ลำดับที่ 1 ในส่วนของหน่วยควบคุมเครื่องจักรกล (Machine Control Unit) ซึ่งใช้สัญลักษณ์ย่อเป็น MCU นั้น จะอ่านเทปที่ได้จัดเตรียมไว้เรียบร้อยแล้ว และสมมติว่า ได้สร้างสัญญาณพัลซ์ขึ้นมาจำนวน 5 พัลซ์

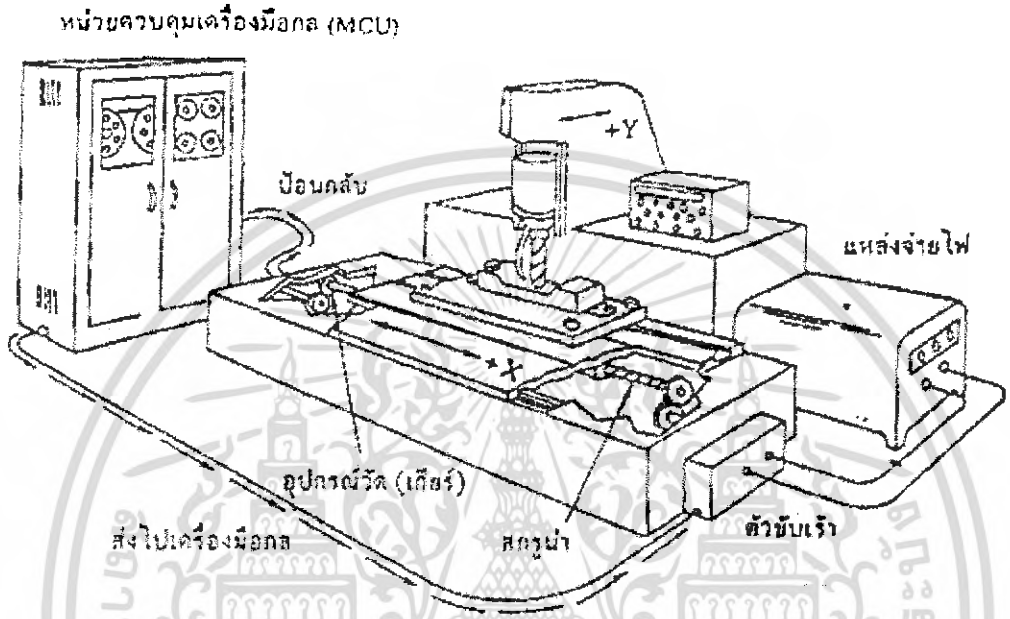
ลำดับที่ 2 พัลซ์ได้สร้างขึ้นมานี้ ได้ถูกส่งออกไปเป็นตามลำดับ ในขณะนี้สมมติว่าได้ส่งออกไปทั้งหมด 4 พัลซ์แล้ว

ลำดับที่ 3 ตัวขับเร้า (Actuator) ของเครื่องมือกลจะไปกระตุ้นให้สกรูนำ (Lead Screw) หมุน ซึ่งมีผลให้เทเบิ้ล (Table) ของเครื่องมือกลเคลื่อนไปด้วยระยะ 0.001 มม. ต่อสัญญาณ 1 พัลซ์ การเคลื่อนไปด้วยระยะเท่าไรนั้นจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดจำเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแต่ละเครื่อง เมื่อพัลซ์ได้ถูกส่งออกมาแล้วจำนวน 4 พัลซ์ ดังนั้น ในขณะนี้จึงได้เคลื่อนไปเป็นระยะทาง 0.004 มม. แล้ว

ลำดับที่ 4 อุปกรณ์ป้อนกลับ จะทำหน้าที่เป็นตัวชี้บอกว่า สัญญาณจำนวน 4 พัลซ์ ได้ส่งไปเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 1.7 ลำดับการทำงานของระบบ NC

ลำดับที่ 1 ในหน่วยของ MCU จะมีอุปกรณ์ปรับดุล ซึ่งทำหน้าที่รับรู้ (sense) สัญญาณพัลซ์ที่กลับมา แล้วนำไปลบออกจากจำนวนพัลซ์เดิม ซึ่งมีอยู่ 5 พัลซ์ แต่ในขณะนี้มีสัญญาณจำนวน 4 พัลซ์ ได้กลับมาแล้ว ดังนั้น จึงเหลือสัญญาณอีก 1 พัลซ์ที่จะส่งไปในระบบ NC

ลำดับที่ 2 สัญญาณจำนวน 1 พัลซ์ จะผ่านไปยังตัวขับเร้าของระบบ NC

ลำดับที่ 3 ตัวขับเร้ากระตุ้นให้สกรูนำหมุน และเทเบิ้ลของเครื่องมือกลจะเคลื่อนไปอีกเป็นระยะทาง 0.001 มม.

ลำดับที่ 4 อุปกรณ์ป้อนกลับจะลงทะเบียน (regist) สัญญาณอีก 1 พัลซ์ แล้วส่งไปยัง MCU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่ 5 อุปกรณ์ปรับคุลจะลงทะเบียนว่า สัญญาณพัลซ์จำนวน 5 พัลซ์ได้ถูกส่งออกไป และผ่านระบบ NC เรียบร้อยแล้ว และจะไม่มีการกระทำใด ๆ เกิดขึ้นอีก จนกว่าข้อมูลบล็อก(block) ต่อไป (ดูการเขียนโปรแกรมชิ้นงาน) จะถูกอ่านเข้ามา

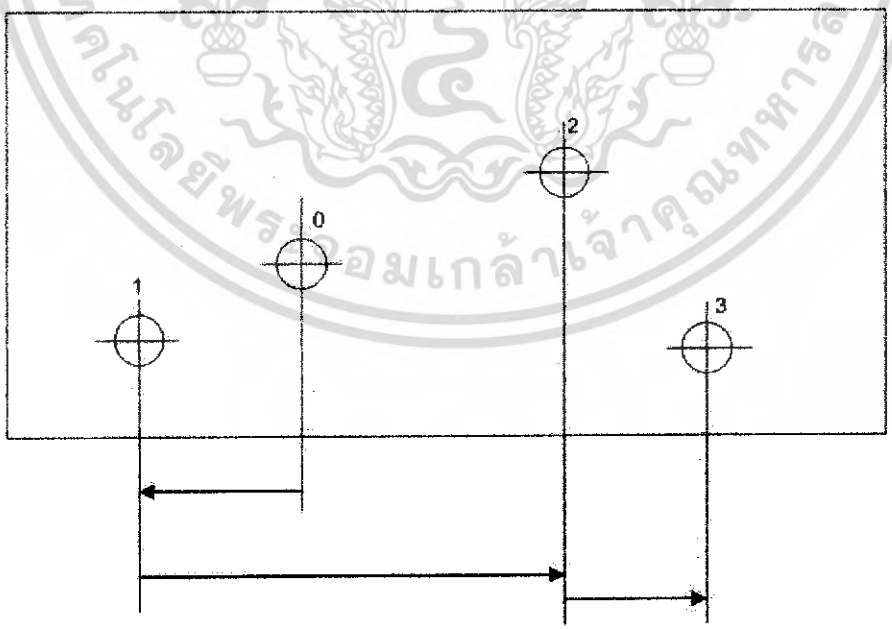
ลำดับขั้นตอนการทำงานดังกล่าวข้างบนนี้ เป็นการทำงานเพียงหนึ่งแกน หรือหนึ่งมิติของเครื่องมือกลเท่านั้น เมื่อต้องการให้ระบบสามารถทำงานได้อีสองแกน ก็เพิ่มแกน Y และ Z เข้าไปเป็นต้น

1.5 ระบบการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของระบบ NC อาศัยโปรแกรมที่เขียนขึ้น เพื่อส่งให้เครื่องมือกลเคลื่อนที่ไป การเคลื่อนที่จะแบ่งออกเป็นสองระบบ คือระบบอินครีเมนทัล (incremental system) และระบบแอบโซลูท (absolute system)

1.5.1 ระบบอินครีเมนทัล

ในการเขียนระบบโปรแกรมแบบอินครีเมนทัลนั้น จำเป็นต้องเข้าในเรื่องของขนาดสัดส่วนแบบอินครีเมนทัลด้วย ตัวอย่างชิ้นงานที่จะมาอธิบาย จะเป็นชิ้นงานที่เจาะรู 4 รู ดังรูปที่ 1.8



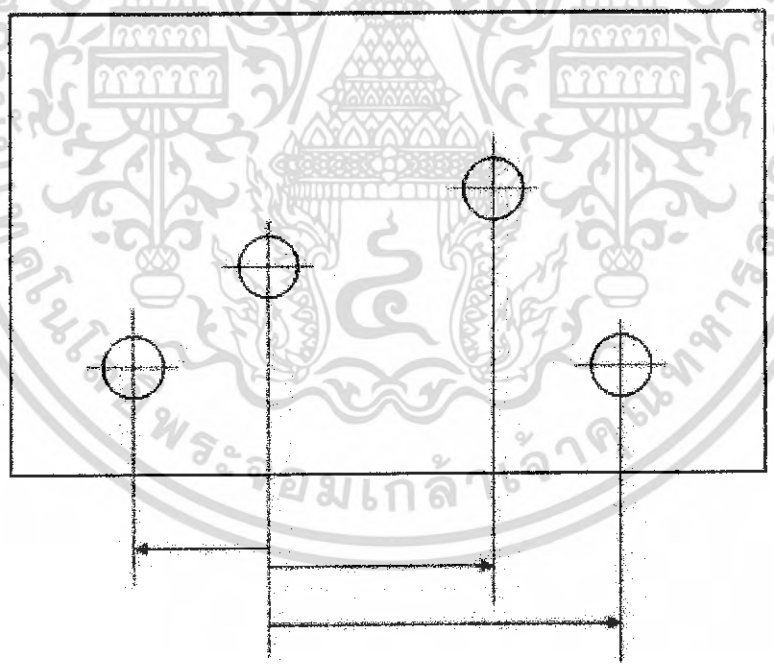
รูปที่ 1.8 การทำงานแบบอินครีเมนทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในระบบอินครีเมนทัลนั้น จะทำงานในลักษณะที่เพิ่ม (Increment) จากตำแหน่งปัจจุบันออกไปไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานหรือมีดตัด การคำนวณจะเริ่มจากตำแหน่งของมีดตัดหรือของเทเบิ้ลไปสู่ตำแหน่งที่จะไป เครื่องหมายลบและบวก จะหมายถึง การเพิ่มไปในทางบวกหรือลบ การเคลื่อนไปในทิศทาง X ที่เป็นบวก ไม่ได้หมายความว่า เดินไปในแกน +X แต่หมายถึง การให้เคลื่อนไปทางขวาโดยไปตามแนวแกน X จากตำแหน่งปัจจุบัน ในรูปที่ 1.8 นั้น รูในตำแหน่งที่ 0 จะเป็นจุดเริ่มต้น แล้วไปทำงานที่ตำแหน่ง 1 ด้วยระยะ $-\Delta X_1$ แล้วไปที่ตำแหน่ง 2 ด้วยระยะ $+\Delta X_2$ และไปที่ตำแหน่ง 3 ด้วยระยะ $+\Delta X_3$

1.5.2 ระบบแอบโซลูท

จากรูปที่ 1.9 ซึ่งเป็นชิ้นงานชิ้นเดียวกันกับรูปที่ 1.8 แต่แสดงขนาดสัดส่วนในวิธีที่ต่างกันออกไป วิธีนี้เรียกว่า การแสดงขนาดสัดส่วนแบบแอบโซลูทหรือเส้นพื้นฐาน (Baseline Dimensioning) ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากว่า ตำแหน่งทุกตำแหน่งได้ถูกกำหนดเป็นระยะทางจากตำแหน่งศูนย์ หรือจากจุดอ้างอิง ทุกขนาดสัดส่วนจะถูกคำนวณจากตำแหน่งศูนย์ตำแหน่งดังได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.9 เช่นกัน



รูปที่ 1.9 การทำงานแบบแอบโซลูท

ระบบแอบโซลูทปฏิบัติงานเช่นเดียวกันกับขนาดสัดส่วนแอบโซลูท กล่าวคือ ทุก ๆ ตำแหน่งจะถูกแสดงและปรุเทปโดยให้สัมพันธ์กับจุดศูนย์หรือจุดอ้างอิง การเคลื่อนไปตามตำแหน่งต่าง ๆ จะมาจากจุดเดียวกันทุกครั้ง จึงต่างกับระบบอินครีเมนทัลที่เพิ่มระยะทางจากตำแหน่งปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของระบบแอบโซลูทซึ่งเป็นข้อดีเหนือกว่าระบบอินครีเมนทัล คือ เรื่องความผิดพลาดในตำแหน่ง (Positioning Errors) ถ้าเกิดความผิดพลาดในตำแหน่งในระบบอินครีเมนทัลแล้ว ทุกตำแหน่งที่ตามมาจะถูกกระทบหมด และการเคลื่อนที่ที่เหลือจะไม่ถูกต้อง แต่ถ้ามีความผิดพลาดในตำแหน่งเกิดขึ้นในระบบ NC แบบแอบโซลูทแล้ว ตำแหน่งที่เจาะจงในขณะนั้นจะเกิดความผิดพลาด แต่ตำแหน่งที่ตามมาจะไม่ถูกกระทบ เพราะว่าทุกขนาดสัดส่วนและการเคลื่อนที่แบบตำแหน่งในแต่ละตำแหน่ง จะเคลื่อนจากจุดฐานศูนย์หรือจุดอ้างอิงจุดเดียวกันเสมอ

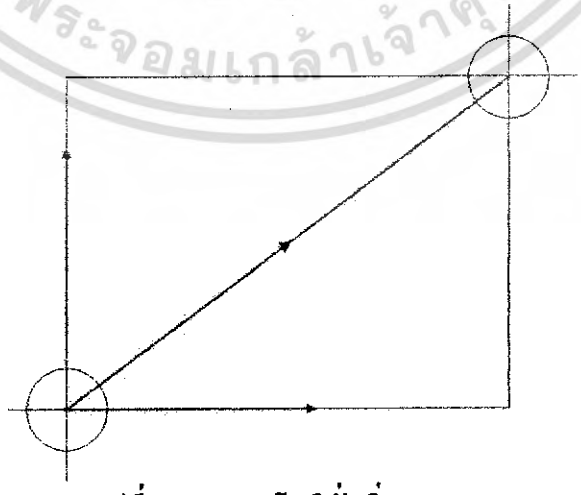
ทั้งระบบแอบโซลูทและระบบอินครีเมนทัลมีการประยุกต์ใช้ต่างกัน จึงบอกไม่ได้ว่า ระบบใดถูกหรือผิด ในการประยุกต์บางครั้ง อาจใช้ทั้งสองระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของงานการควบคุมในปัจจุบัน สามารถเปลี่ยนโหมดการทำงานโดยการใช้รหัสคำสั่งง่าย ๆ ได้ แต่การเลือกใช้ว่าจะเป็นระบบใดนั้น ในหลาย ๆ กรณียังต้องอาศัยการตัดสินใจของผู้เขียนโปรแกรมซึ่งต้องเป็นผู้เข้าใจทั้งสองระบบเป็นอย่างดี

1.6 การควบคุมการเคลื่อนที่

การควบคุมให้มีดคัดเคลื่อนไปตามทางที่จะให้ทำงานนั้น เป็นตัวบ่งชี้ถึงต้นทุนของเครื่องมือกล NC รวมทั้งต้นทุนการผลิต วิศวกรอัตโนมัติจะต้องเข้าใจในความแตกต่างของเครื่องเหล่านั้นเพื่อการลงทุนที่เหมาะสม โดยปรกติการเคลื่อนที่ของเครื่องมือกล NC จะแบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังต่อไปนี้

1.6.1 ระบบโพซิชั่นนิ่ง

ระบบโพซิชั่นนิ่ง (Position System) หรือระบบจุด ถึง จุด (Point to Point) เป็นระบบที่ง่ายที่สุดของ NC ซึ่งจะควบคุมเครื่องมือกลให้เคลื่อนที่ไปตามตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้เป็นตัวเลขแล้วโดยอัตโนมัติ



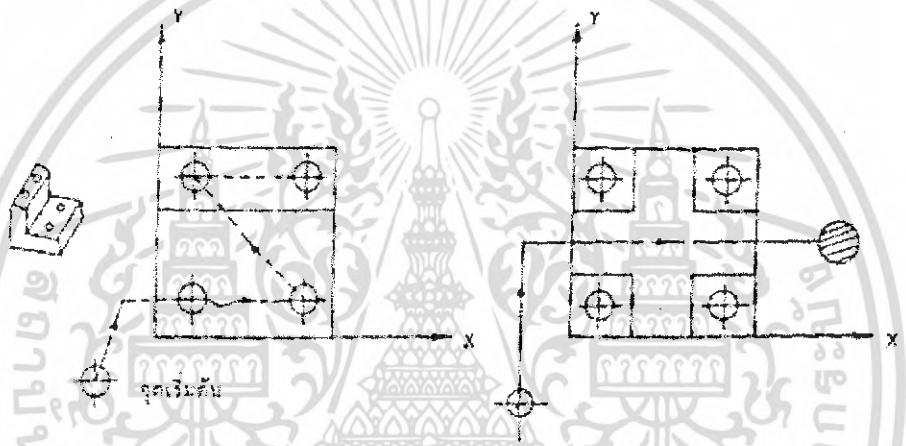
รูปที่ 1.10 ระบบโพซิชั่นนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจาะจากจุด A ไปจุด B จะเจาะได้หลายวิธีแล้วแต่ว่าผู้เขียนโปรแกรมจะกำหนดอย่างไร เพราะระบบควบคุมไม่มีระบบควบคุมแนวทางเดิน (Path) จากจุด A ไปจุด B อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่จากจุด A ไปจุด B ควรใช้เวลาน้อยที่สุด

1.6.2 ระบบโพซิชั่นนิ่ง / ตัดตรง

ระบบโพซิชั่นนิ่ง / ตัดตรง เป็นระบบที่มีความสามารถในการทำงานอยู่สองประการ คือ การทำงานในลักษณะเป็นตำแหน่งและการกัด (Milling) ไปในตามแกนแต่ละแกน ดังนั้น ระบบนี้จึงมีความสามารถในการเจาะชิ้นงาน และทำชิ้นงานให้มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 1.11

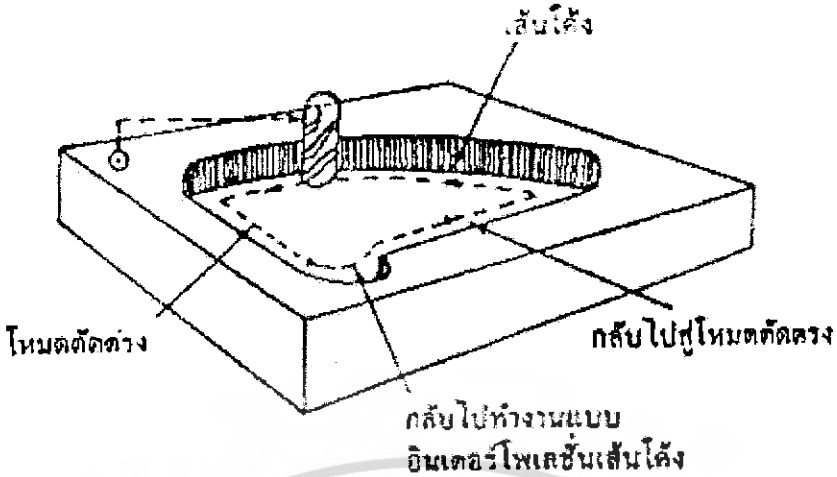


รูปที่ 1.11 ระบบโพซิชั่นนิ่ง/ตัดตรง

1.6.3 ระบบคอนทัวริ่ง

ระบบคอนทัวริ่ง (contouring) เป็นระบบที่มีความสามารถหลายอย่าง โดยทั่วไปจะเป็นระบบที่ทำงานดังในหัวข้อ 1.6.2 คือ ทำงานแบบโพซิชั่นนิ่ง และ แบบตัดตรง นอกจากนั้น ยังสามารถทำงานเป็นเส้นหักมุมใด ๆ เป็นวงกลม เป็นรูปกรวย (conics) หรือเป็นรูปร่างต่าง ๆที่สามารถใช้คณิตศาสตร์นิยามได้ ระบบนี้เป็นระบบที่ควบคุมทางเดินแบบต่อเนื่อง (continuous – path control) จึงเป็นระบบที่มีแกนสามแกน หรือมากกว่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

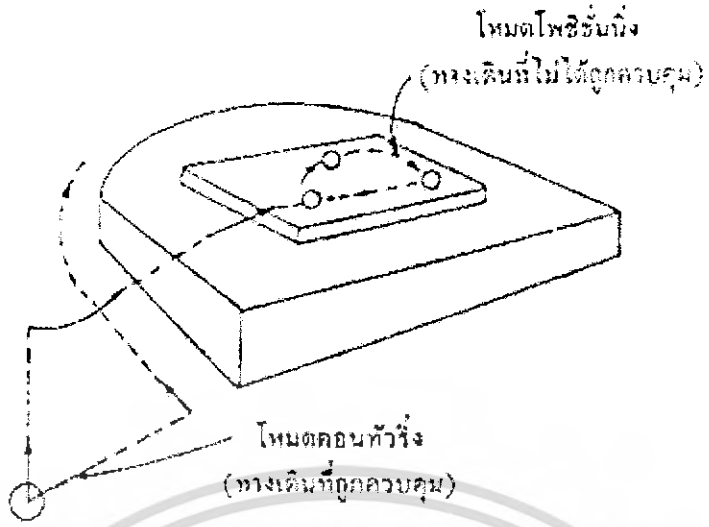


รูปที่ 1.12 ระบบคอนทัวริ่ง

1.6.4 ระบบรวม

ระบบรวมหมายถึง ระบบที่รวมข้อดีของแต่ละโหมด ซึ่งหมายถึงโหมดโพซิชั่นนิ่งและโหมดคอนทัวริ่งรวมกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าให้ MCU ทำงานโหมดคอนทัวริ่ง เครื่อง NC จะทำงานในระบบคอนทัวริ่งอย่างเดียว โดยไม่มีระบบโพซิชั่นนิ่งเข้ามาเกี่ยวข้องเลย อย่างไรก็ตาม ถ้าต้องการให้เครื่อง NC ทำงานแบบโพซิชันนิ่งแล้ว ส่วนที่ควบคุมการทำงานแบบต่อเนื่องจะถูกตัดออก เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.13 ระบบรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ประวัติการควบคุมเชิงตัวเลข

2.1 บทนำ

มนุษย์เป็นสัตว์โลกที่ใช้เครื่องมือเป็น คุณลักษณะเด่นกว่าสัตว์พันธุ์อื่นก็คือ ความสามารถในการใช้อุปกรณ์ที่ยุ่งยากซับซ้อนเพื่อขยายขอบเขตกำลังความสามารถของตนเองออกไป อุปกรณ์เหล่านั้น คือ เครื่องจักรกล การวิวัฒนาการของเครื่องมือกล ทำให้มนุษย์ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปลักษณะต่าง ๆ ด้วยความเที่ยวตรงมากขึ้นได้

2.2 มนุษย์และเครื่องจักรกล

เชื่อกันว่า เครื่องมือกลชิ้นแรกได้พัฒนาขึ้นมาเมื่อ 2500 ปีกว่ามาแล้ว ในสมัยต้น ๆ อุปกรณ์หมุนรอบ (Rotary Device) มีความสามารถผลิตสิ่งของเป็นรูปกลมได้จากไม้และโลหะแข็ง ถึงแม้ว่าเครื่องมือกลในสมัยต้น ๆ จะช่วยมนุษย์ให้สามารถผลิตสิ่งของที่มีรูปร่างซับซ้อนได้แล้วก็ตาม แต่หาได้มีความประณีตและเที่ยงตรงมากนัก จนในศตวรรษที่ 14 เครื่องจักรกลที่มีความละเอียดเที่ยงตรงเครื่องแรกได้ถูกพัฒนาขึ้นมา เครื่องจักรกลที่แท้จริงที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยอาศัยความคิดของ De Dondi (ค.ศ.1318 - 1389) ก็คือ เครื่องกลึง (Screw Cutting Lathe) เป็นต้น ในยุคของการปฏิวัติทางอุตสาหกรรม ได้เร่งรีบพัฒนาเครื่องมือกลมากขึ้น และในปลายศตวรรษที่ 18 เจมส์วัต ได้สร้างเครื่องยนต์ไอน้ำ (Steam Engine) ขึ้นมา ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่ทำให้มีการพัฒนาค้นคว้าหาอุปกรณ์ใหม่ ๆ และพัฒนาเครื่องตัดโลหะที่มีความละเอียดเที่ยงตรงอย่างเร่งรีบ

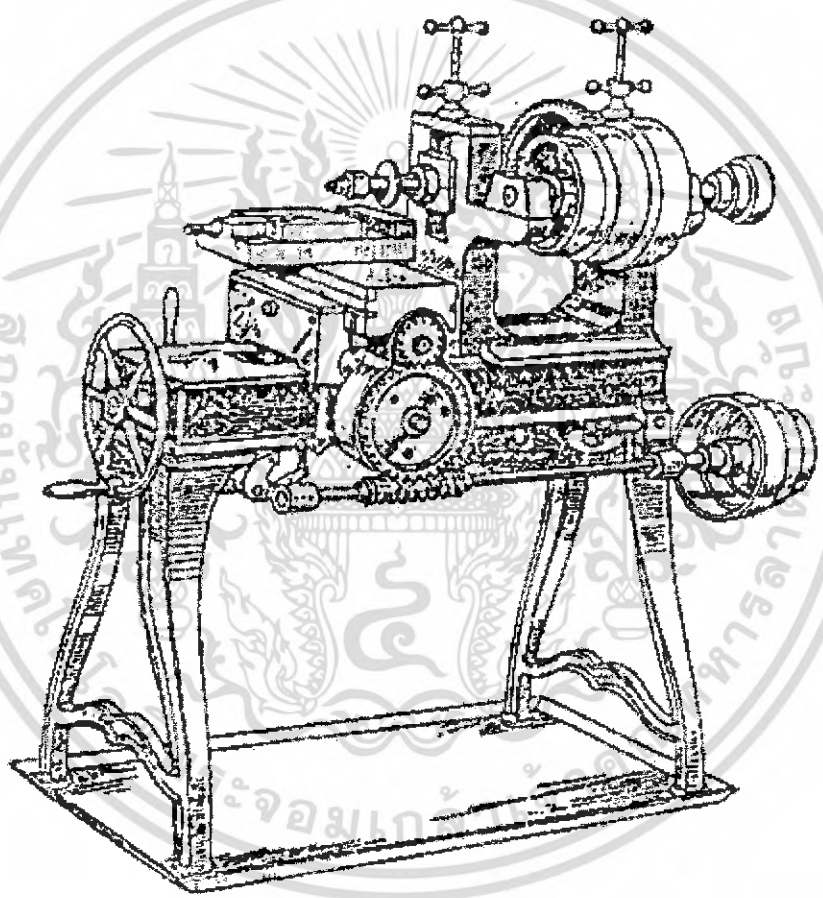
ในปี ค.ศ. 1798 อีไล วิธนี่ (Eli Whitney) และเพื่อน ได้สร้างเครื่องจักรที่ใช้กำลังน้ำที่สามารถคว้านรู เจียระไน และขัด เป็นต้น จึงเป็นผู้ที่ได้พัฒนาวิธีการผลิตอย่างละเอียดขึ้นในสมัยของเขา

แซมเอล โคลท์ (Samuel Colt) และเอลลิชา รูท (Elisha Root) ได้เสริมสร้างและขยายหลักพื้นฐานของการผลิตที่ถูกประยุกต์ใช้โดยวิธนี่เป็นครั้งแรกมากขึ้น ในปี ค.ศ. 1855 ได้ติดตั้งเครื่องจักรกลถึง 1,400 เครื่อง และรูทได้พัฒนาเครื่องมือตัด จิ๊ก (Jigs) ฟิกซ์เจอร์ (fixture) เพื่อประดองชิ้นงานขึ้นมา ส่วนโคลท์ อาร์มอรี (Colt Armory) ได้ผลิตอาวุธที่มีความละเอียดสูงมากได้ในสมัยนั้น ส่วนฟรานซิน แพรท (Francis Pratt) และอามอส วิธนี่ (Amos Whitney) เป็นผู้ค้นพบและเป็นผู้สร้างเครื่องมือกลที่ควบคุมด้วยตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือกลเพื่อตัดโลหะได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตขึ้นอีกในปลายศตวรรษที่ 19 ตัวอย่าง เช่น เครื่องลินคอร์น มิลเลอร์ (Lincoln Miller) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ความต้องการที่เพิ่มเอาต์พุทให้มากขึ้น จึงเป็นเหตุให้มีการพัฒนาเครื่องจักรควบคุมอัตโนมัติขึ้นในปี ค.ศ.1873 เครื่องที่สร้างขึ้น คือ เครื่องกลึงอัตโนมัติของ ซี เอ็ม สเปนเซอร์ (C.M. Spencer) ดังนั้น เขาจึงเป็นผู้ให้กำเนิดเครื่องจักรอัตโนมัติ

ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1900 โรงงานในสหรัฐอเมริกา มีเครื่องมือพื้นฐานที่มีฟังก์ชั่นและรูปแบบที่ไม่แตกต่างไปจากเครื่องมือในปัจจุบันมากนัก การผลิตรถยนต์ในประเทศอังกฤษ และสหรัฐอเมริกานั้น เป็นกำลังผลักดันให้มีการพัฒนาเครื่องมือกลที่ดีขึ้นอีก และทำให้เกิดการผลิตทีละมาก ๆ (Mass Production) ขึ้น



รูปที่ 2.1 เครื่องลินคอล์นมิลเลอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือกลสมัยต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62610

2.3 ประวัติ NC

ในปัจจุบันนี้เครื่องจักรกลทำงานอัตโนมัติมากขึ้น จึงลดพนักงานปฏิบัติงานเครื่องจักรที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้น เครื่องที่ทำงานอัตโนมัติมากขึ้น จึงเป็นเครื่องพิเศษเฉพาะมากขึ้น เครื่องจักรที่มีความเป็นอัตโนมัติสูง จะสามารถผลิตชิ้นส่วนได้ถึง 20,000 ชิ้นต่อวัน แต่จะผลิตได้เฉพาะบางชนิดเท่านั้น แม้ในปัจจุบันนี้ อุปกรณ์ที่มีจำนวนผลิตน้อย หรือเป็นตัวอย่าง (Prototype) ยังผลิตโดยเครื่องมือกลแบบดั้งเดิมด้วยมืออยู่

ความสามารถของพนักงานปฏิบัติมีขอบเขตจำกัด เมื่อต้องผลิตงานที่ใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติยากต่อการผลิต รวมทั้งเมื่อต้องการงานที่มีความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Tolerances) ที่มีความละเอียดขนาดหนึ่งต่อหมื่น นอกจากความต้องการดังกล่าวแล้ว ยังต้องการความคล่องตัว (Flexibility) ของอุปกรณ์ด้วย จึงสร้างเครื่องจักรอัตโนมัติขึ้นมา ซึ่งได้ชื่อว่า การควบคุมเชิงตัวเลข (Numerical Control) อันใช้ชื่อย่อว่า NC

ประวัติ NC เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1940 เมื่อจอห์น ที พาร์สัน (John T Parsons) ได้เสนอวิธีการควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติ ซึ่งสามารถนำมีดตัดของเครื่องกัดให้ผลิตเส้นโค้งอย่างเรียบได้ วิธีการของเขาคือ จุดคู่ลำดับจะปรุเป็นรหัสลงในแผ่นการ์ด (Card) คอมพิวเตอร์ แล้วป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมเครื่องจักรซึ่งจะทำให้เครื่องกัดเคลื่อนที่โดยเพิ่มเป็นขั้นเล็ก ๆ เพื่อที่จะได้ทางเดิน (Path) ที่ต้องการ ในปี ค.ศ. 1949 กองทัพอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา ได้ให้ทางห้องปฏิบัติการทางเซอร์โวเมคานิซึมของสถาพันเทคโนโลยีแมสซาชูเสท (MIT) พัฒนาระบบ NC ที่ทำงานได้โดยอาศัยแนวคิดของพาร์สัน

นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้เลือกเทปที่ปรุรหัสแล้วเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลและได้สร้างเครื่องจักรกลระบบจุด ถึง จุดชนิดสองแกนขึ้นมา ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเจาะได้ดี หลังจากนั้น ได้ผลิตเครื่องกัดที่สามารถกัดแบบทางเดินต่อเนื่องขึ้นอีก

ในค.ศ. 1957 ระบบ NC ได้ถูกนำมาใช้เพื่อการผลิตอย่างประสบผลสำเร็จเป็นครั้งแรก แต่ผู้ใช้พบปัญหายุ่งยากในการสร้างโปรแกรมชิ้นงาน เพื่อส่งเป็นอินพุทป้อนเข้าสู่ตัวควบคุมเครื่องจักร เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทาง MIT ได้พัฒนาภาษาเพื่อการเขียนโปรแกรมโดยใช้คอมพิวเตอร์ เรียกโปรแกรมนี้ว่า เครื่องมือเพื่อการโปรแกรมอย่างอัตโนมัติ (Automatically Programmed Tools) ใช้สัญลักษณ์ย่อว่า APT ภาษานี้เป็นภาษาสัญลักษณ์ (Symbolic Language) ซึ่งผู้เขียนโปรแกรมชิ้นงานสามารถแบ่งใช้ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ได้อย่างตรงไปตรงมา ในปี ค.ศ. 1962 ระบบการเขียนโปรแกรม APT ระบบแรก ได้ถูกนำมาประยุกติใช้เชิงอุตสาหกรรมทั้งไปเป็นครั้งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมเชิงตัวเลขนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ด้าน คือ

1. ทางด้านฮาร์ดแวร์ ได้มุ่งปรับปรุงและพัฒนาระบบควบคุมและเครื่องมือกลให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ในปี ค.ศ. 1965 เครื่องจักรกล NC และระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพดีได้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางด้วยความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน จึงทำให้ลดต้นทุนของระบบควบคุมลง แต่ให้ประสิทธิภาพระบบความคุมที่ดีขึ้น การใช้ไมโครโพลเซสเซอร์ในระบบ ทำให้เพิ่มความเชื่อถือได้และยังลดต้นทุนลงได้อีกด้วย ระบบล่าสุดเป็นระบบชนิดที่พนักงานปฏิบัติสามารถติดต่อกับระบบโดยผ่านแป้นคีย์บอร์ด และพนักงานผู้ปฏิบัติยังสามารถป้อนและพิมพ์โปรแกรมโดยใช้จอวีดียู เพื่อทำการติดต่อเรื่องการผลิตต่างๆ การปรับแต่งการออกแบบการผลิตในกรณีที่เป็นแบบที่ยังเป็นตัวอย่าง (Prototype) ในขณะที่อยู่ในระหว่างการผลิตได้

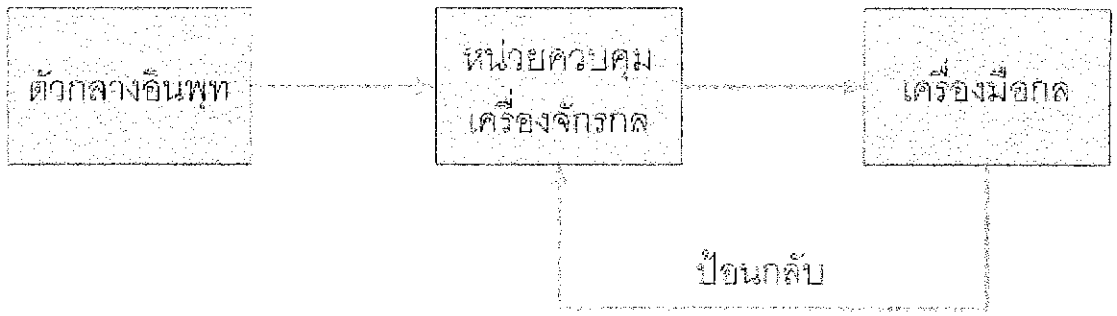
2. ทางด้านซอฟท์แวร์ ได้มุ่งพัฒนาภาษา APT และระบบโปรแกรม NC อื่น ๆ ได้มีการเปลี่ยนแปลงปรัชญาทั้งหมดในปี ค.ศ. 1970 และได้มองการควบคุมเชิงตัวเลขเป็นส่วนหนึ่งของแนวความคิดที่ใหญ่กว่า นั่นคือ การผลิตโดยมีคอมพิวเตอร์ช่วย(Computer – Aided Manufacturing) ซึ่งเรียกกันว่า CAM นอกจาก CAM จะรวม NC แล้วยังรวมถึงการควบคุมและการเฝ้าตรวจ (Monitoring) การผลิต การจัดการเรื่องที่เกี่ยวกับวัสดุ และการวางแผนงาน การเน้นใช้คอมพิวเตอร์ในกระบวนการผลิต ทำให้เกิดการควบคุมเชิงตัวเลขในรูปแบบใหม่คือ CNC (Computer Numerical Control) และ DNC (Direct Numerical Control)

การควบคุมเชิงตัวเลขนี้ สามารถทำงานได้ดีในงานอัตโนมัติเฉพาะพิเศษของรูปแบบอื่นที่ทำงานไม่ได้ NC เป็นระบบที่สามารถแปลชุดของคำสั่งที่ได้บันทึกไว้ก่อนแล้วในรูปกระทบความสัญลักษณ์ (Symbolic Format) นั่นคือ NC สามารถทำให้เครื่องจักรที่ควบคุมปฏิบัติการ (Execute) คำสั่งได้ แล้วยังสามารถเฝ้าตรวจผลลัพธ์ที่จะทำให้ยังคงรักษาความละเอียดแน่นอนและฟังก์ชั่นที่ต้องการได้อยู่

การควบคุมเชิงตัวเลขไม่ใช่ชนิดหนึ่งของเครื่องมือกล (Machine tools) แต่เน้นเทคนิคเพื่อการควบคุมเครื่องจักรต่างๆ อย่างกว้างขวาง ด้วยเหตุนี้ NC จึงได้ประยุกต์ไปในด้านเครื่องจักเพื่อการประกอบ เครื่องทำดร๊าฟท์ (Drafting Machine) เครื่องจักเพื่องานไม้ และเครื่องตัดโลหะ เป็นต้น

ระบบควบคุมเชิงตัวเลขมีบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.2 คำสั่งสัญลักษณ์เป็นอินพุตที่ป้อนเข้าหน่วยข้อมูลอิเล็กทรอนิคส์ซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัส (Decode) แล้วทำงานเชิงตรรกตามที่ต้องการ จากนั้นจึงป้อนเอาท์พุตซึ่งเป็นคำสั่งละเอียดถูกต้อง เพื่อไปควบคุมการทำงานของเครื่องมือกล ระบบ NC หลายระบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ส่งถ่ายสถานะของเครื่องจักกลกลับไปยังหน่วยควบคุม ดังนั้น การป้อนกลับ (Feedback) จึงสามารถทำให้ตัวควบคุมได้พิสูจน์ว่าการปฏิบัติงานของเครื่องจักกลนั้นเหมาะสมกับคำสั่งอินพุตที่เป็นสัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 บล็อคไดอะแกรมของระบบ NC

2.4 CNC และ DNC

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับ CNC และ DNC พอเป็นสังเขป เพื่อที่จะได้ความแตกต่างระหว่างการควบคุมเชิงตัวเลขทั้ง 2 แบบ

2.4.1 CNC

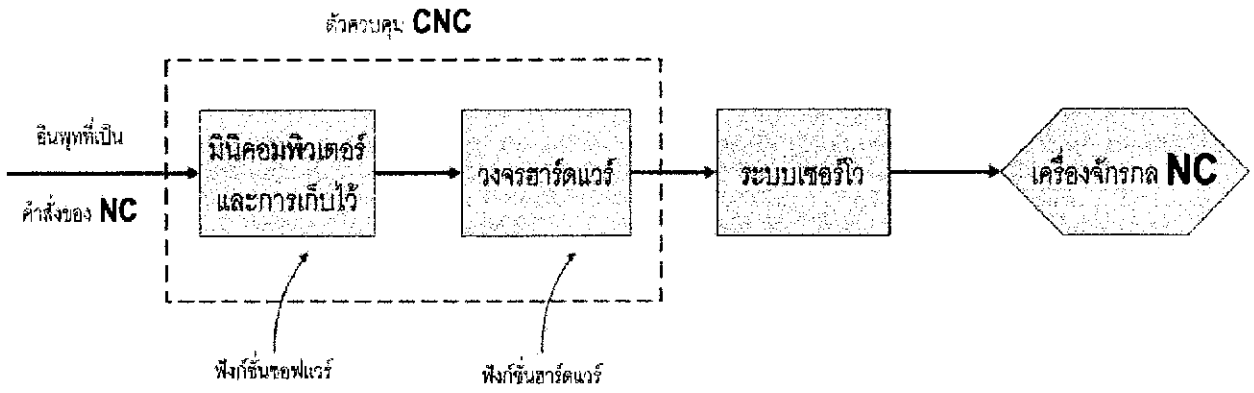
CNC เป็นการประยุกต์ที่สำคัญ เพื่อใช้คอมพิวเตอร์จัดการ NC ใน CAM ซึ่งเริ่มมาตั้งแต่ในปี ค.ศ. 1970 CNC หมายถึง การควบคุมเชิงตัวเลขที่ได้เก็บโปรแกรมไว้ก่อน แต่สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิคส์ได้นิยามไว้ดังนี้

ระบบควบคุมเชิงตัวเลขที่ใช้คอมพิวเตอร์ทั้งเครื่องเก็บโปรแกรม เพื่อให้ปฏิบัติงานฟังก์ชั่นควบคุมเชิงตัวเลขพื้นฐานบางส่วนหรือทั้งหมด โดยปฏิบัติตามโปรแกรมควบคุมที่เก็บไว้ในเมโมรี่อ่าน-เขียนของคอมพิวเตอร์

ดังนั้นระบบ CNC จึงเข้าแทนที่ฟังก์ชั่นฮาร์ดแวร์บางส่วนหรือทั้งหมดที่ถูกกระทำโดย MCU ด้วยคอมพิวเตอร์ทั้งเครื่อง นั่นคือ คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักรกล NC เพียงหนึ่งเครื่องเท่านั้น

ความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ NC ดั้งเดิมกับ CNC นั้นคือ การเพิ่มมินิคอมพิวเตอร์ (ไมโครโปรเซสเซอร์) เข้าเป็นส่วนหนึ่งของตัวควบคุมเครื่องมือกลดังแสดงในรูปที่ 2.3 ตัวควบคุมของระบบ CNC ประกอบด้วยสองส่วนด้วยกันคือ โมดูล (Modules) ของโปรแกรมได้ (Programmable) หรือคอมพิวเตอร์ซอร์ฟแวร์ที่กระทำฟังก์ชั่นควบคุมหลายอย่าง และวงจรตรรกะฮาร์ดแวร์ซึ่งใช้เพื่อการปฏิบัติงานการควบคุมอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสำคัญของฟังก์ชั่นฮาร์ดแวร์และฟังก์ชั่นซอร์ฟแวร์แล้ว ฟังก์ชั่นฮาร์ดแวร์มีความสำคัญกว่าฟังก์ชั่นซอร์ฟแวร์ในด้านสมรรถนะทั้งหมด (Overall Performance) ของระบบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 รูปลักษณ์ของ CNC

ระบบ CNC ปัจจุบันนี้ จะมีแป้นควบคุมที่สามารถป้อนโปรแกรมได้โดยตรงจากแป้นนี้ แป้น CNC มีกลุ่มควบคุมดังต่อไปนี้

1. ตัวเลือกโหมด (Mode Selector) หน่วยนี้เป็นหน่วยที่สามารถเลือกให้ทำงานแบบแมนนวล (Manual) คือ ให้โปรแกรมทำงานเป็นขั้นๆ ในระยะเวลาหนึ่ง ให้ทำงานครบวงจรอย่างสมบูรณ์ หรือทำงานเป็นอนุกรมต่อเนื่องของวงจรอัตโนมัติ นั่นคือ ทำการป้อนขั้นของโปรแกรมใหม่หรืออีดิท (Edit) ขั้นของโปรแกรมที่มีอยู่

2. การควบคุม หน่วยนี้จะเป็นหน่วยที่ผู้ใช้สามารถปฏิบัติงานตามโหมดที่ได้เลือกไว้แล้วได้ เช่น ผู้ใช้สามารถทำแอดวานซ์ (Advance) แกนที่ได้ให้ไว้ในโหมดแมนนวล ทำการสตาร์ทเคลียร์โฮลด์ (hold) โปรแกรมในโหมดอัตโนมัติ ทำการป้อนขึ้นตามโปรแกรมใหม่ในโหมดโปรแกรม หรือทำการแสดงหรือค้นหาขั้นของโปรแกรมที่ได้โปรแกรมไว้แล้วในโหมดอีดิท

3. คีย์บอร์ด แป้น CNC จะต้องมีคีย์บอร์ดตัวเลขเพื่อป้อนข้อมูลคู่ลำดับและค่าต่าง ๆ เช่น อัตราการป้อนส่ง (Feed Rate) เป็นต้น ถ้า CNC ใช้ภาษา NC แบบเวิร์ดแอดเดรส (ซึ่งส่วนมากระบบ CNC จะเป็นเช่นนั้น) บนคีย์บอร์ดจะต้องมีตัวอักษรด้วย

4. การแสดง แป้น CNC จะต้องมีตัวกลางเพื่อแสดงคำสั่ง NC ในขณะนี้ ตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องมือ รหัสผิดพลาด และข้อมูลตัวเลขหรือตัวอักษรที่ได้เลือกไว้ ปรกติจะแสดงโดย LED หรือจอ CRT

ใน CNC บางรุ่น อาจมีที่อ่านคาสเซ็ทหรือการควบคุมที่เพิ่มขึ้น เพื่อทำหน้าที่ป้อนโปรแกรมเข้าและนำโปรแกรมออกจากคอมพิวเตอร์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 DNC

DNC ก็เช่นเดียวกันกับ CNC ที่ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาจัดการระบบ NC เป็นหลักใหญ่โดยเริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้นิยาม DNC ไว้ดังนี้

ระบบที่ต่อชุดหนึ่งของเครื่องจักที่ถูกควบคุมเชิงตัวเลขเข้ากับเมโมรี่ที่ใช้ร่วมกัน เพื่อเก็บโปรแกรมชิ้นงานหรือโปรแกรมเครื่องจักร ซึ่งได้จัดเตรียมในการแจกจ่ายข้อมูลที่ต้องการสู่เครื่องจักรเหล่านั้น

ข้อแตกต่างระหว่าง DNC และ CNC ก็คือ การลดใช้คอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่องเพื่อเครื่องจักรหนึ่งเครื่อง แต่ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่กว่าให้มาจัดการเครื่องจักรหลายเครื่องโดยอาศัยหลักการแบ่งเวลา (Timing – Shared Basis)

ระบบ DNC จะประกอบด้วยคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง และอุปกรณ์ช่วยอื่น ๆ อีกสี่ชนิด คือ

1. บัลค์เมโมรี่ (Bulk Memory) ซึ่งมีความสามารถเก็บโปรแกรมชิ้นงาน NC ต่างชนิดกันเพื่อส่งถ่ายไปให้เครื่องจักร NC เครื่องที่ต่างกัน

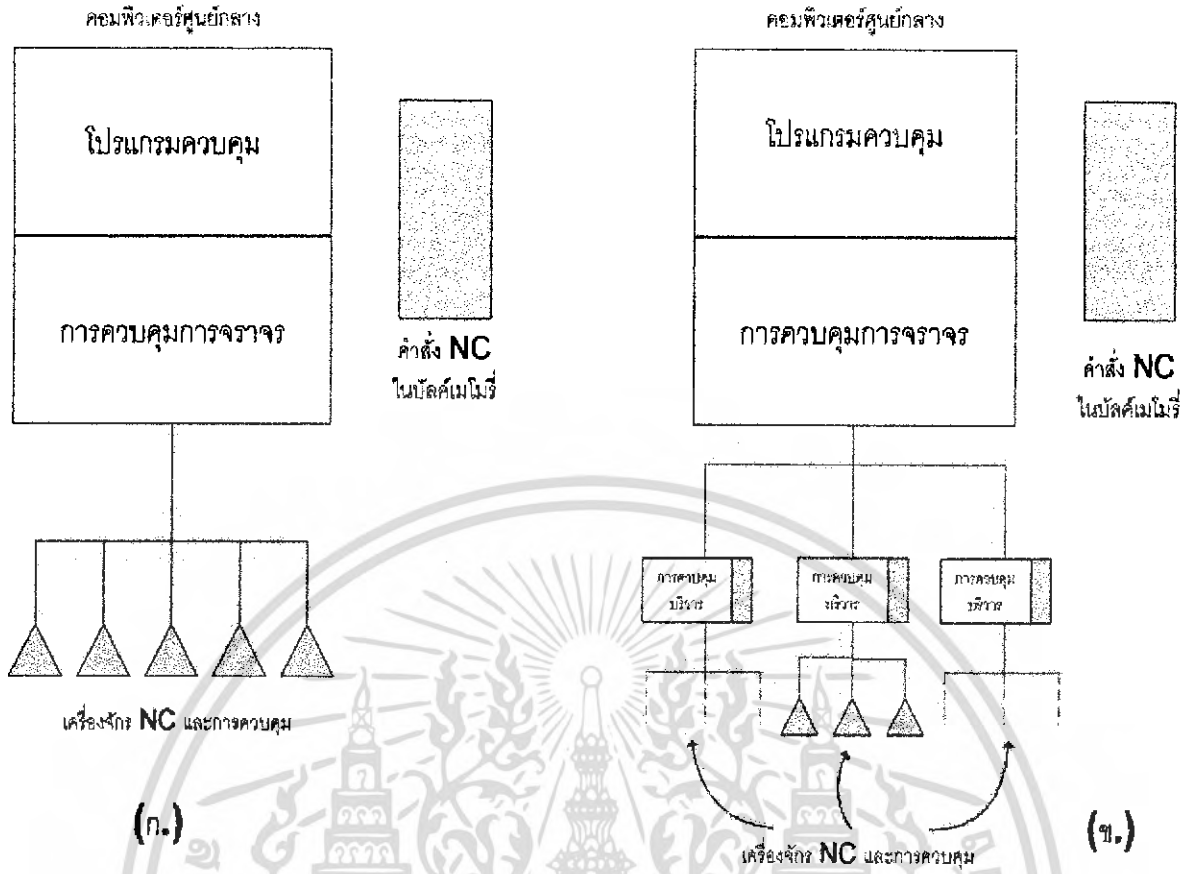
2. สถานีสื่อสาร (Communication Station) ซึ่งมีคีย์บอร์ดและจอแสดงที่อินเตอร์เฟสระหว่างผู้ปฏิบัติงานด้านเครื่องจักรกับคอมพิวเตอร์ที่อยู่ห่างไกลออกไป

3. สายสื่อสาร (Telecommunication Lines) เพื่อส่งถ่ายข้อมูลของเครื่องจักไปยังสถานที่ตั้งเครื่องจักรที่อยู่ไกลออกไป

4. เครื่องจักร NC

DNC ใช้หลักของ CAM โดยตรงกว่า CNC เครื่องจักร NC แต่ละเครื่องที่อยู่ที่พื้นของโรงงาน จะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางเพียงเครื่องเดียวที่จะรับสัญญาณการป้อนกลับจากเครื่องจักรในเวลาจริง (Real Time) ดังนั้น คอมพิวเตอร์จึงสามารถรักษาการปฏิบัติงานการผลิตทั้งหมดภายใต้การควบคุมโดยตรงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปลักษณ์ของระบบ DNC (ก) ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง
(ข) ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์บริวาร

รูปที่ 2.4 (ก) เป็นรูปลักษณ์ทั่วไปของระบบ DNC คอมพิวเตอร์ศูนย์กลางทำงานอยู่สามหน้าที่ซึ่งจะสัมพันธ์กับ DNC ดังนี้คือ ทำหน้าที่ดึงคำสั่งของโปรแกรมชิ้นงานจากบัลค์เมโมรี่แล้วส่งข้อมูลไปยังเครื่องจักรที่เหมาะสม จากนั้นจึงควบคุมการไหลของข้อมูล (ในสองทิศทาง) เพื่อให้คำสั่ง NC ที่ต้องการได้สอดคล้องทันที ฟังก์ชั่นนี้ บางทีเรียกว่า การควบคุมการจราจร (Traffic Control) และในขั้นสุดท้าย คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่สังเกต (Monitor) และประมวลการป้อนกลับของเครื่องจักร เพื่อใช้ในลูพ (Loop) ข่าวสารข้อมูลของ CAM

เนื่องจากเครื่องจักร NC ทุกตัวต้องรับคำสั่งของตัวเองในเวลาที่ถูกต้องตามที่ต้องการ ดังนั้น ฟังก์ชั่นของการควบคุมการจราจรจะทำได้ลำบาก โดยเฉพาะเมื่อคอมพิวเตอร์ได้ตั้งไว้ในที่ไกลออกไปจากอุปกรณ์ NC ปัญหาการควบคุมการจราจรสำหรับระบบ DNC ที่ใหญ่นี้ สามารถทำให้เบาบางลงได้ โดยนำมินิคอมพิวเตอร์บริวาร(Satellite Minicomputers) ซึ่งมีบัฟเฟอร์ (Buffer) เก็บข้อมูลของตัวเองมาใช้จำนวนหนึ่ง คอมพิวเตอร์บริวารแต่ละเครื่องจะรับบล็อกใหญ่ของข้อมูล NC จากระบบศูนย์กลาง แล้วเก็บข้อมูลเหล่านี้ไว้ในบัฟเฟอร์ของตนเอง หน้าที่การส่งข้อมูลจำเพาะที่เวลาอันเหมาะสม จึงเป็นหน้าที่ของมินิคอมพิวเตอร์แทน ดังนั้น การควบคุมการจราจรจำนวน

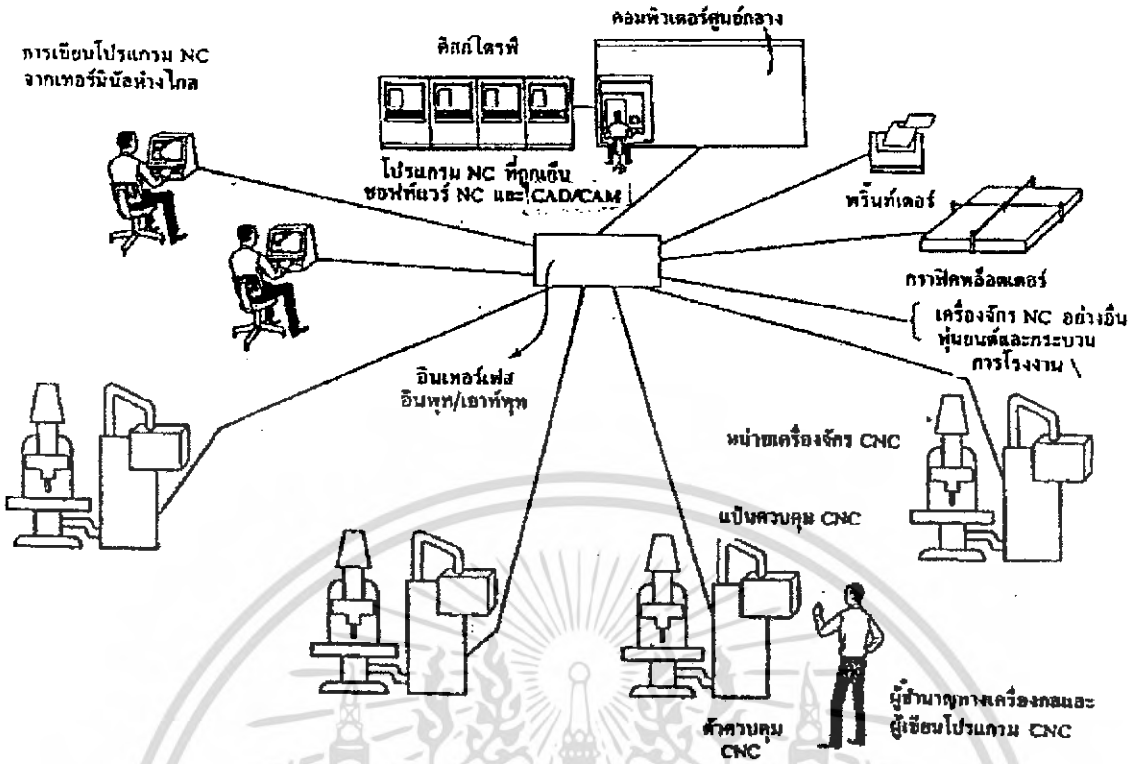
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหาศาลจึงถูกแบ่งออกระหว่างคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางกับบริวารแต่ละเครื่อง รูปลักษณ์ของระบบดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 (ข) ถึงแม้ว่าคอมพิวเตอร์ DNC จะเป็นระดับสูงสุดของการควบคุมแต่ละเครื่องจักร NC เองอาจมีหน่วยควบคุมที่โรงงานเอง เพื่อแสดงคำสั่งเครื่องจักร

2.4.3 การควบคุมเชิงตัวแบบโฮเออราคิคัล

การควบคุมเชิงตัวเลขแบบไฮเออราคิคัล (hierarchical numerical control) เป็นระบบที่รวมข้อดีของ CNC และ DNC เข้าด้วยกัน ในระบบการควบคุมเชิงตัวเลขแบบไฮเออราคิคัลนั้น เครื่องจักร NC แต่ละเครื่องจะมีตัวควบคุมซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ของตัวเอง และตัวควบคุมแต่ละตัวยังต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่ ในลักษณะทีสื่อสารตามโอกาสกับสถานี CNC แต่ละตัวในแบบแบ่งเวลาแต่เพียงอย่างเดียว ระบบนี้จะไม่เหมือนกับ DNC เพราะถ้าคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางไม่อยู่ในลักษณะเป็นระบบควบคุมเชิงตัวเลขแบบไฮเออราคิคัลแล้ว สถานี CNC บริวารจะมีสิทธิในขอบเขตจำกัดที่จะยังสามารถปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่องได้ คอมพิวเตอร์ศูนย์กลางทำหน้าที่สังเกตความก้าวหน้าของการผลิตในลักษณะแซมปลิง (Sampling) ทำหน้าที่เป็นห้องสมุดของโปรแกรม CNC สำหรับการเข้าถึง (Access) โดยสถานีเครื่องจักรบริวาร (Satellite Machine Station) และทำหน้าที่จดและเตือนเมื่อมีเงื่อนไขที่ผิดไป รูปที่ 2.5 เป็นโครงสร้างของระบบควบคุมเชิงตัวเลขแบบไฮเออราคิคัล จะเห็นว่า คอมพิวเตอร์สามารถทำหน้าที่ได้มากกว่าการเก็บโปรแกรมที่เขียนขึ้น ดิสก์ไดร์ฟ (Disk Drives) จะเก็บโปรแกรม NC และซอฟแวร์ CAD/CAM ย่อมาจาก Computer -- Assisted Design and Computer – Assisted Manufacturing โปรแกรม NC สามารถจะได้รับการพัฒนาจากซอฟแวร์ของคอมพิวเตอร์ โดยใช้การออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นอินพุท จึงทำให้คอมพิวเตอร์ช่วยในการเขียนโปรแกรมชิ้นงาน NC ได้เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



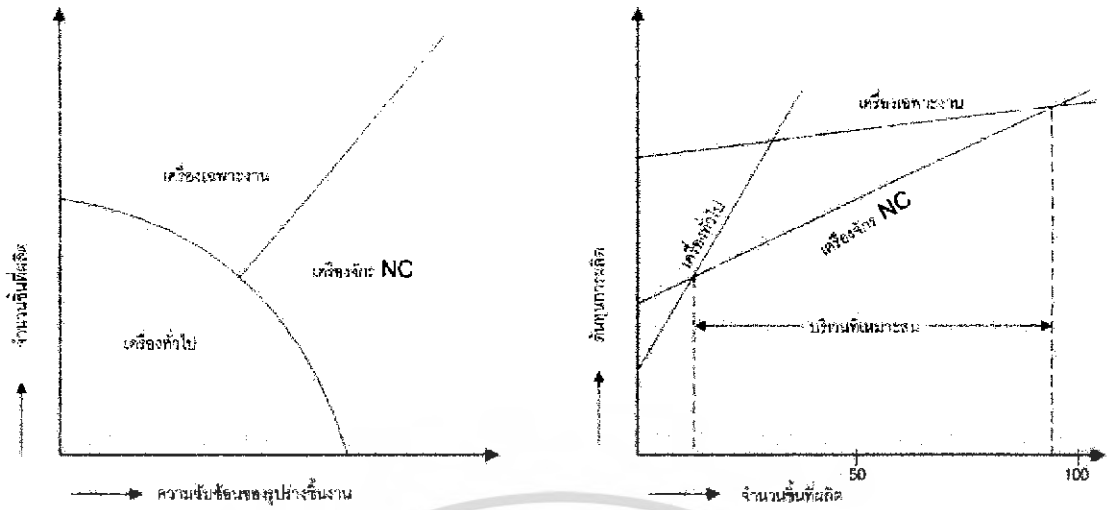
รูปที่ 2.5 ระบบควบคุมเชิงตัวเลขแบบไฮเออราคิเคิล

2.5 การประยุกต์ใช้ NC

เครื่องจักร NC เป็นเครื่องจักรเพื่อการผลิตแบบอัตโนมัติ จึงสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ ซึ่งทำให้ลดแรงงานลงได้ แต่ต้องคำนึงถึงว่า จะไม่เป็นการลดต้นทุนการผลิตโดยตรงแต่เพียงอย่างเดียว ยังต้องคำนึงถึงในด้านการจัดการในอนาคตอีกด้วย

ในการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนมาก (Mass Product) นั้น จะใช้เครื่องมือกลเฉพาะงาน (Special Purpose Machine) เป็นต้น ถ้าชิ้นงานมีรูปร่างง่าย ๆ และผลิตเป็นจำนวนน้อยนั้น จะใช้เครื่องมือกลแบบทั่วไป ดังรูปที่ 2.6 (ก) ส่วนเครื่อง NC นั้น จะเหมาะกับการผลิตชิ้นงานที่มีจำนวนตั้งแต่ 10 – 100 ชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข) แต่ถ้าชิ้นงานมีรูปร่างซับซ้อนแล้ว จำเป็นต้องใช้เครื่องจักร NC ถึงแม้ว่าจะผลิตเพียงหนึ่งหรือสองชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้เครื่องจักร NC (ก) บริเวณที่เหมาะต่อการใช้เครื่องจักร NC (ข) ปริมาณการผลิตที่เหมาะต่อการใช้เครื่องจักร NC

ขอบเขตการประยุกต์ใช้งานของการควบคุมเชิงตัวเลขนั้น มีตั้งแต่การทอผ้านิตต์ จนถึงการสร้างโครงสร้างชิ้นส่วนของเครื่องบินเจท (Jet Aircraft) ในหัวข้อต่อไปนี้ จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้จำเพาะงานพอเป็นสังเขป

2.5.1 เครื่องตัดโลหะ

การควบคุมเชิงตัวเลขได้เริ่มต้นมาจากงานอุตสาหกรรมโลหะ อุปกรณ์ NC จึงมีอยู่มากมายในโรงงานที่ทำงานทางด้านโลหะ NC ได้ถูกนำไปใช้ในเครื่องกลึง เครื่องเจาะ เครื่องกัด เครื่องคว้าน เครื่องเจียระไน เครื่องพันชิ่ง (Punching) เครื่องเทิร์นนิ่ง (Turning) และเครื่องรูทติ้ง(Routing) จะเห็นว่า NC ได้ทำให้เครื่องมือกลทั่วไปมีความสามารถทำงานได้ดีขึ้น เช่น เครื่องกัดที่มีทำงานแบบ 5 แกน ซึ่งทำให้ได้ผิวชิ้นงานที่ซับซ้อนที่เครื่องทั่วไปทำไม่ได้

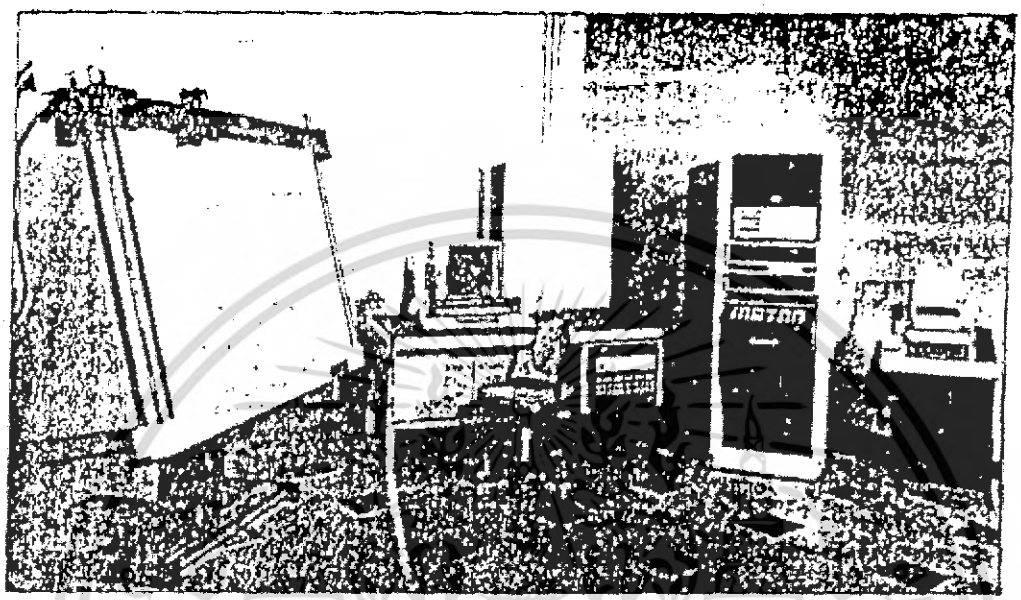
เครื่องจักรกล NC อีกแบบ คือ ศูนย์แมชินนิ่ง (maching center) ซึ่งมีฟังก์ชั่นของเครื่องหลายเครื่องให้อยู่ในเครื่องเดียว จึงทำให้ลดเวลาการส่งจากเครื่องไปอีกเครื่อง ศูนย์แมชินนิ่งนี้ทำงานได้ทั้งงานกัด งานเจาะ งานคว้าน และงานต๊าบเกลียว

2.5.2 การทำดร๊าฟท์อัตโนมัติ

อุปกร์ทำดร๊าฟท์อัตโนมัติเป็นส่วนหนึ่งข่ายสาย CAD ดังรูปที่ 2.7 การควบคุมเชิงตัวเลขถูกนำมาใช้เพื่อแปลแผ่นพิมพ์เขียว แบบวิศวกรรม หรือเส้นกราฟ ซึ่งได้ถูกแปลงไปอยู่ในรูปกระทงความดิจิตอล แล้วทำให้ปากกาของเครื่องทำดร๊าฟท์อัตโนมัติเคลื่อนที่ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องดร๊าฟท์ NC ที่ใช้กันมากอย่างมีประสิทธิภาพ คือ เครื่องที่มีการทำงานแบบคอนทัวริ่งสองแกน ซึ่งจะควบคุมปากกาหรือเข็มให้เคลื่อนบนกระดาษที่จะวาดหรือบนแผ่นฟิล์ม ข้อมูลจะป้อนสู่หน่วยควบคุมเครื่องดร๊าฟท์โดยผ่านตัวกลางสื่อสารต่าง ๆ เช่น เทปแม่เหล็กหรือเทปที่ปรุงแล้วเป็นต้น



รูปที่ 2.7 ระบบ CAD

2.5.3 การประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

อุตสาหกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ใช้เครื่องจักรกล NC ให้ทำงานในการพันสายไฟ (Wire Wrapping) พันไส้หลอดไฟ (Filament Winding) และการทำงานบนแผ่นวงจร NC ยังถูกประยุกต์ใช้ในด้านไมโครอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อช่วยในการออกแบบและผลิตวงจรไอซี

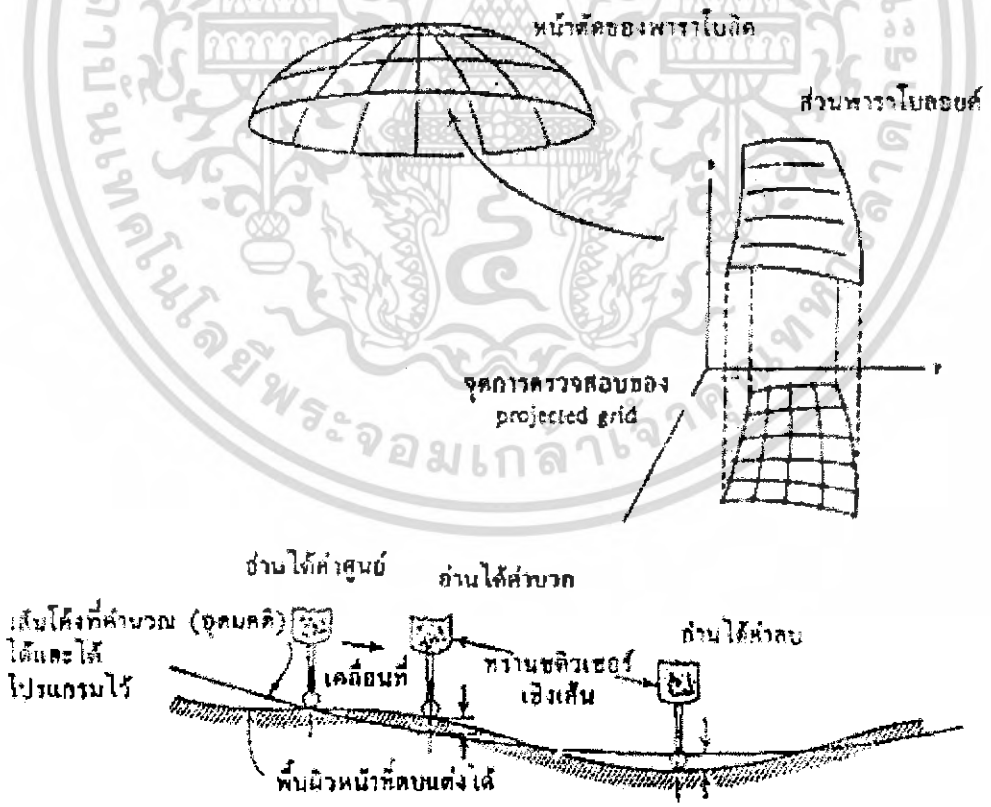
อุปกรณ์โพซิชั่นนิ่ง NC ชนิดเที่ยงตรง ได้ถูกนำมาใช้เพื่อผลิตแผงวงจรซึ่งใส่ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ๆ แผงวงจรมีรูขนาด 0.2 มม.จะใช้เครื่องเจาะ NC แบบจุด ถึง จุด ที่มีหลายสปินเดิ้ลมาช่วยเจาะรูบนแผงวงจรซึ่งมีรูเป็นจำนวนพัน ๆ รู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 การควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบ

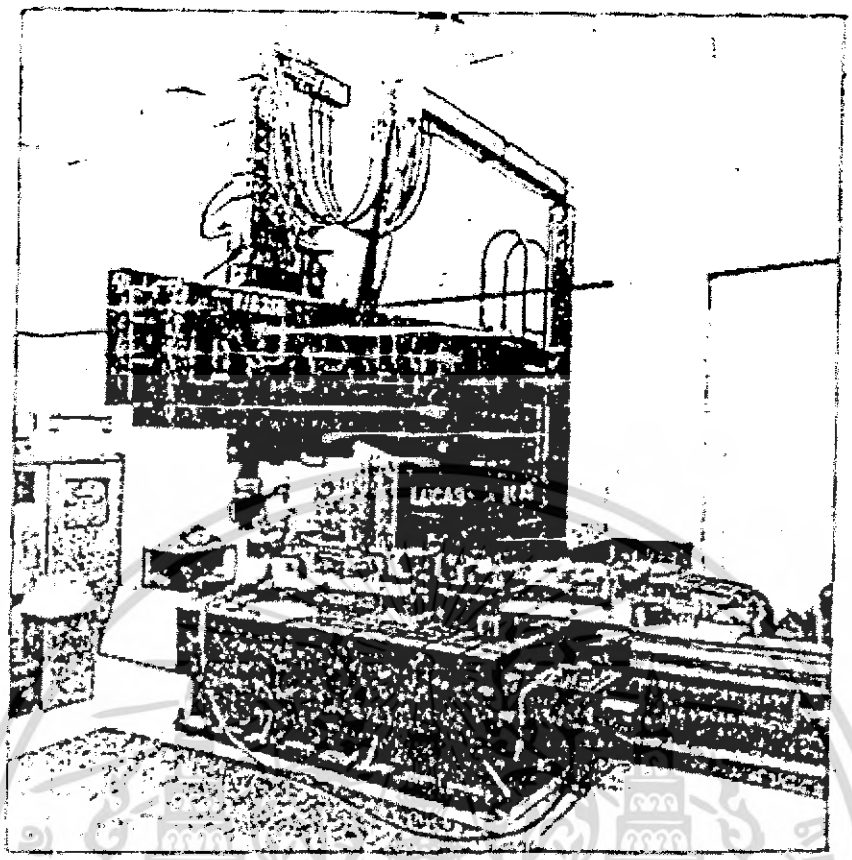
เครื่องตรวจสอบ NC จะใช้ความสามารถในด้านโพซิชั่นนิ่งที่เที่ยงตรง บันทึกความเบี่ยงเบน (Deviation) ระหว่างชิ้นส่วนจริงที่ทำขึ้นได้กับพื้นผิวหน้า (Surface) ที่ต้องการ ซึ่งก็เป็นแนวคิดในเรื่องการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จากรูปที่ 2.8 พื้นผิวหน้าพาราโบลิคขนาดใหญ่จะถูกตบแต่งจากส่วนที่เล็กกว่า แต่ละส่วนจะถูกตรวจสอบเพื่อให้แน่ใจจะไม่เบี่ยงเบนไปจากพาราโบลอยด์ (Poraboloid) ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Tolerance) เป็น 100 จุดต่อส่วนที่กำลังหาอยู่

สมการของแต่ละส่วนพาราโบลอยด์นั้นรู้กันอยู่ จึงมีค่าอุดมคติ(Ideal) ของแต่ละจุดที่จะถูกตรวจสอบ คู่อันดับเหล่านี้จะถูกโปรแกรมโดยการใช้เครื่องตรวจสอบ NC ในขณะที่เครื่องจักรกล NC เคลื่อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งบนพื้นผิวหน้านั้น ทรานซดิวเซอร์เข้าแทนที่เชิงเส้น (Linear Displacement Transducer) จะติดตามคอนทัวพื้นผิวหน้าที่แท้จริงดังรูปที่ 2.8 ถ้าคู่ลำดับของพื้นผิวหน้าที่แท้จริงนั้นมีค่าเท่ากัน ทรานซดิวเซอร์จะให้เอาท์พุทเป็นศูนย์ แต่ถ้าคู่ลำดับแท้จริงกับคู่ลำดับอุดมคติไม่เท่ากัน ทรานซดิวเซอร์จะให้เอาท์พุทเพื่อบันทึกเลขที่กริด (Grid Point Number) และความเบี่ยงเบนรูปที่ 2.9 เป็นรูปที่แสดงถึงเครื่องตรวจสอบโดยมีทรานซดิวเซอร์ที่นำไปแทนที่เครื่องมือตัด



รูปที่ 2.8 รูปลักษณ์ของการตรวจสอบของพื้นผิวหน้าโดยใช้ NC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 เครื่องตรวจสอบ NC ชนิดสามแกน

2.6 ข้อดีและข้อเสียของ NC

เครื่องจักรกล NC มีข้อดีโดยส่วนมาก การนำ NC มาใช้ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตและสิ่งอื่นด้วย ดังนั้น ข้อดีและข้อเสียจึงสรุปได้ดังนี้

2.6.1 ข้อดีของ NC

1. คุณภาพดีขึ้น

- ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความละเอียดเที่ยงตรงสูงกว่าการผลิตจากเครื่องมือกลทั่ว ๆ ไป และยังสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ง่าย และใช้เวลาน้อย
- ไม่ทำให้พนักงานผู้ปฏิบัติงานเหนื่อยล้าหรืออารมณ์ไม่ดี จึงไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดในงานที่ทำ ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพจึงมีน้อย
- เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีความละเอียดเที่ยงตรงดี ความสมมาตรดี ความเที่ยงตรงในการทำซ้ำ ๆ สูง จึงทำให้ชิ้นงานที่ได้เหมือนกัน ดังนั้น การประกอบจึงทำได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เนื่องจากเงื่อนไขในการทำชิ้นงานแต่ละขั้นตอน นั่นคือ ความเร็ว และอัตราการป้อนส่งนั้น ได้ถูกกำหนดไว้อย่างเหมาะสมจากห้องเทคนิคแล้วล่วงหน้า จึงทำให้ใช้เวลาในการทำชิ้นงาน และทำพื้นผิวหน้าในขั้นสุดท้าย (Surface Finishing) ได้อย่างเหมาะสมดีที่สุด

2. ลดขั้นตอนการตรวจสอบ

- ดังได้กล่าวไว้ข้างบนแล้วว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำได้ไม่ดีและคุณภาพต่ำลงอันเนื่องมาจากความเหนื่อยล้า หรืออารมณ์ไม่ดีของพนักงานผู้ปฏิบัติงานมีจำนวนน้อย ดังนั้น จึงไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทุกชิ้น จุดในการตรวจสอบก็น้อยลงได้ นั่นคือ สามารถประหยัดแรงงาน เวลา ต้นทุนได้

3. ประหยัดค่าทำจิ๊ก (Jig)

- เมื่อไม่จำเป็นต้องใช้จิ๊ก จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการสร้างจิ๊ก เวลาสร้าง สถานที่เก็บจิ๊ก และค่าใช้จ่ายในการเก็บก็ลดลงด้วย แต่ค่าตัวกลางการสื่อสาร (เช่น เทปกระดาษ และอื่น ๆ) ของการทำการผลิตชิ้นงานและการเก็บรักษาจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกันแล้ว จำนวนเงินนั้นน้อยกว่ามาก

4. ลดเวลาในการทำชิ้นงาน

- เวลาในการเตรียมจิ๊ก , ฟิกซ์เจอร์ และอุปกรณ์อื่น รวมทั้งเวลาที่ใช้เตรียมแผนงานลดลง
- เมื่อใช้ศูนย์แมชินนิ่งแล้ว สามารถทำงานได้หลายอย่างเพียงเครื่องเดียว จึงทำให้ลดเวลาในการขนงานไปมาระหว่างเครื่องมือกลหลายเครื่อง เวลาในการยืนรอ รวมทั้งเวลาในการเตรียมแผนงาน

5. ผลการประหยัดแรงงาน

- ไม่ต้องทำเครื่องหมาย (Marking) ของขั้นตอนในการทำงาน จึงลดงานในส่วนนี้ลงได้
- พนักงานผู้ปฏิบัติเพียงแต่ยืนดูเครื่องจักรทำงานเท่านั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานที่ชำนาญงานหนึ่งคนต่อหนึ่งเครื่อง
- อัตราการทำงานของเครื่องมือกลสูงขึ้น จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตชิ้นงานทั้งหมดลงได้ และเวลาในการผลิตก็ลดลงตามด้วย ดังนั้น แรงงานในการผลิตงานต่อหนึ่งจึงลดลงได้
- ระบบผลิตชิ้นงานที่มีอุปกรณ์เปลี่ยนเครื่องมือตัดอัตโนมัติ อุปกรณ์เปลี่ยนชิ้นงานอัตโนมัติ และอุปกรณ์การส่งชิ้นงานอัตโนมัติอยู่ในระบบนั้น เกือบจะปฏิบัติงานโดยไม่ใช้คนเฝ้าดูเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การควบคุม

- เครื่องจักรกลทำงานตามคำสั่งเทป จึงลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานได้ ถ้าผู้ควบคุมดูแลการผลิตเทปให้ดี เวลาปฏิบัติงานก็จะเป็นไปตามที่ได้คิดไว้ การควบคุมก็ลดลงได้ ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรกลจะทำงานตามที่ผู้เขียนโปรแกรมได้กำหนดไว้ การส่งมอบงานก็เป็นไปตามที่กำหนด การผลิตก็เสถียรภาพ และวางแผนการผลิตได้ง่าย นอกจากนี้ยังสามารถใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมโดยส่วนรวมได้ง่าย
- เปลี่ยนแปลงแผนการผลิตได้อย่างง่ายดาย ในกรณีที่มีชิ้นเร่งด่วนที่จะต้องทำก็สามารถเปลี่ยนแผนงานได้ง่าย ทำให้ตอบสนองต่อข้อที่เรียกร้องมาได้ ดังนั้น จึงสามารถเปลี่ยนแปลงการออกแบบได้ง่าย

7. ประหยัดการเก็บสต๊อก

- เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานลดน้อยลง จึงทำให้ลดเวลาในการนำวัตถุดิบเข้าจนถึงเป็นผลิตภัณฑ์น้อยลง ดังนั้น จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการเก็บเข้าสต๊อกได้ และค่าขนส่งก็ลดลงด้วย
- ถ้าเก็บรักษาตัวกลางสื่อสารข้อมูลคำสั่ง (เช่น เทป เป็นต้น) ไว้ จะสามารถผลิตชิ้นงานที่เหมือนเดิมไว้อย่างง่ายดาย ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องผลิตชิ้นงานนั้น ๆ เป็นจำนวนมากเพื่อเก็บรักษาไว้ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการเก็บสต๊อกก็ประหยัดไว้มาก

8. ความปลอดภัย

- เนื่องจากพนักงานผู้ปฏิบัติงานไม่ต้องปฏิบัติงานโดยตรงก็ได้ เวลานำเศษโลหะออกก็ใช้ฝากันเศษโลหะกั้นไว้ ดังนั้น จึงมีความปลอดภัยสูง

2.6.2 ข้อเสียของ NC

1. การนำ NC เข้ามาใช้เป็นการลงทุนสูงมาก จึงต้องควรพิจารณาในแง่ของข้อดีทั้งหลายที่ NC มีอยู่ พร้อมทั้งตลอดระยะในการใช้งาน

2. จะต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษในเรื่องการเขียนโปรแกรมชิ้นงาน และการบำรุงรักษา

3. จะต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วนในการลดแรงงานลงเป็นจำนวนมาก และต้องคำนึงในเรื่องการฝึกงานใหม่ให้ผู้ร่วมงานใช้เครื่อง NC เป็น เมื่อจะมีการวางแผนนำ NC มาใช้

4. การปล่อยให้เครื่อง NC ไม่ได้ปฏิบัติงานนั้น เป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้น ผู้ร่วมงานจะต้องฝึกการใช้และบำรุงรักษาเครื่องจักรกล NC ที่ผู้ผลิตเครื่องก่อนจะส่งมอบเครื่อง

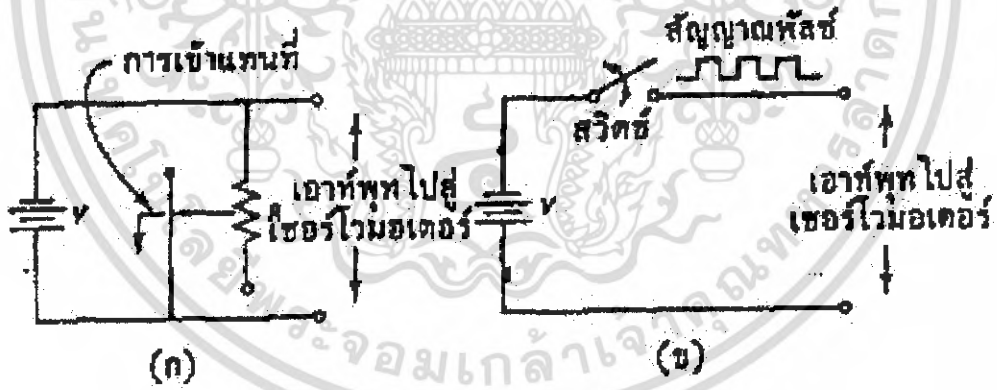
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบควบคุมเครื่องจักร NC

3.1 บทนำ

หน่วยควบคุมของเซอร์โวเมคานิซึมที่ใช้สัญญาณอินพุทเป็นช่วง(Discrete Input Signal) และวงจรตรรกะดิจิตอล เพื่อทำให้ระบบทำงาน เรียกว่าการควบคุมเชิงตัวเลข การควบคุมเชิงตัวเลขมีแนวความคิดเหมือนกันกับระบบควบคุมป้อนกลับอัตโนมัติ แต่ระบบดังกล่าวใช้สัญญาณอินพุทเป็นแบบแมกนิจูด หรือเป็นปริมาณจำนวนหนึ่ง ส่วนการควบคุมเชิงตัวเลขใช้แค่สัญญาณที่มี (Presence) และไม่มี (Absence) เพื่อการทำงาน ดังนั้น อุปกรณ์ดังกล่าวจึงเป็นอุปกรณ์ดิจิตอลที่รับข้อมูลอินพุทที่เป็นรหัส ซึ่งถูกแปลงไปสู่สถานะเปิด (on) และปิด (off)

ความแตกต่างระหว่างอินพุทที่เป็นอนาลอก(Analog) และดิจิตอล (Digital) นั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ในรูปที่ 3.1 (ก) โพเทนชิโอมิเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้แปรโวลเทจที่จะส่งไปเซอร์โวมิเตอร์ เมื่อเคลื่อนโพเทนชิโอมิเตอร์ไป จะได้โวลเทจที่สัมพันธ์กัน ดังนั้น เอาท์พุทโวลเทจของอนาลอกจึงเป็นฟังก์ชั่นของการเข้าแทนที่ (Displacement)

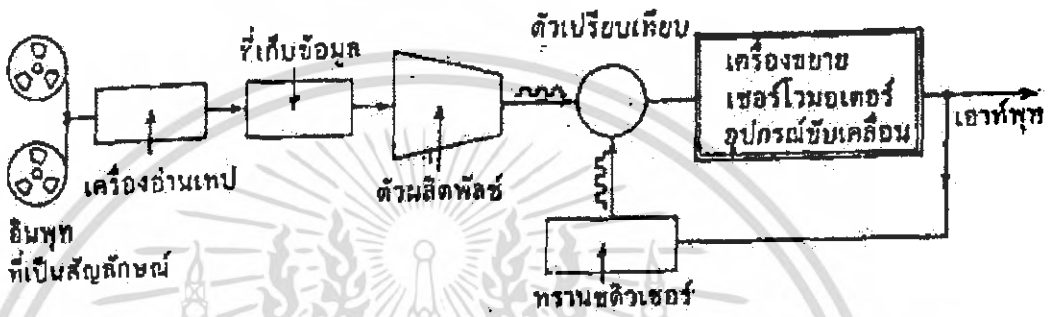


รูปที่ 3.1 สัญญาณอนาลอกและดิจิตอล (ก) สัญญาณอนาลอก (ข) สัญญาณดิจิตอล

จากรูปที่ 3.1 (ข) ใช้สวิตช์เป็นอุปกรณ์ในการผลิตสัญญาณพัลซ์ ซึ่งจะเกิดขึ้นทุกครั้งที่สวิตช์ได้ปิด สัญญาณพัลซ์ไฟฟ้านี้จะถูกส่งไปยังเซอร์โวมอเตอร์ เมื่อสวิตช์เปิดและปิดตามลำดับ สัญญาณพัลซ์แบบเป็นช่วง (Discrete pulses) ก็จะถูกผลิตออกมาจนกว่าจะได้ตำแหน่งตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ NC จะรับข้อมูลรหัสในรูปแบบของเทปที่ถูกปรุหรือเป็นเทปแม่เหล็ก ถ้าเป็นกรณีของ DNC และ CNC ข้อมูลไบนารี่จะถูกส่งไปตามสายสื่อสารคอมพิวเตอร์แต่ละบล็อกของข้อมูลจะถูกเก็บและถูกแปลงไปอยู่ในรูปสัญญาณพัลซ์ที่เหมาะสมต่อไป สำหรับคำสั่งโพซิชั่นนิ่ง (Positioning) แล้ว สัญญาณพัลซ์จะถูกใช้เพื่อควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ไปขับอุปกรณ์หลังจากที่ได้ถูกนำไปขยายกำลัง (Power) แล้ว เนื่องจากอินพุทอยู่ในรูปของสัญญาณพัลซ์ที่เป็นช่วง การป้อนกลับก็ควรจะอยู่ในรูปเดียวกันด้วย ดังนั้น สัญญาณป้อนกลับจึงถูกทรานซดิวเซอร์ที่อยู่ในส่วนป้อนกลับแปลงตำแหน่งหรือความเร็วให้เป็นสัญญาณพัลซ์ที่เท่ากันดังแสงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การไหลของข้อมูลดิจิตอลสำหรับลูป NC

3.2 ส่วนต่าง ๆ ของระบบ NC

3.2.1 หน่วยควบคุมเครื่องจักร

หน่วยควบคุมเครื่องจักร MCU คอมพิวเตอร์เฉพาะกิจ ฟังก์ชั่นที่คอมพิวเตอร์จะทำนั้นขึ้นอยู่กับความยุ่งยากซับซ้อนของเครื่องมือกลและงานที่จะทำ

MCU จะถอดรหัสข้อมูลอินพุทแล้วเก็บข้อมูลเหล่านั้นในเมโมรี่ (Memory) MCU จะสื่อสารกับอุปกรณ์เซอร์โวของลูพควบคุม และรับรู้ข้อมูลนั้นจากอุปกรณ์ป้อนกลับสิ่งที่สำคัญ คือ กระทำคำสั่ง (Command) โดยใช้การตัดสินใจเชิงตรรกะที่ได้รับมาจากข้อมูลทั้งระบบ

MCU ทำหน้าที่พิจารณาการทานที่จะถูกดำเนินการได้โดยเครื่องมือกล NC MCU สามารถถูกเขียนโปรแกรมเพื่อให้ทำงานหลาย ๆ แบบได้ ตัวอย่างเช่น สามารถตอบสนองต่อการควบคุมของการหล่อลื่น (Lubricants) ในขณะที่กำลังตัดโลหะ MCU ยังสามารถทำงานในด้านการคำนวณซับซ้อนที่จำเป็นต่อการควบคุมแบบการเร่ง / การลด (Accelerating / Deceleration) และการอินเตอร์โพเลชั่นแบบเส้นตรง /เ ส้นโค้งหรือพาราโบลิก โดยส่วนมากใช้เทปที่ปรุแล้วในการประยุกต์ใช้ NC ดังนั้น MCU จึงรับข้อมูลอินพุทจากอุปกรณ์อ่านเทป อุปกรณ์อ่านเทปนี้เป็นเครื่องอ่านเทปแบบโฟโตอิเลคทริก (Photoelectric) ซึ่งมีความสามารถในการอ่านอักษรที่ถูกปรุได้ตั้งแต่หนึ่งร้อยจนถึงหนึ่งพันตัวอักษรต่อวินาที หัวอ่านประกอบด้วยแหล่งจ่ายแสงและแถว(Array) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ไวแสง ในขณะที่รูได้เคลื่อนไปบนแหล่งจ่ายไฟ แถวของอุปกรณ์ไวแสงจะเปิด (on) แพทเทิร์น (Pattern) ของอุปกรณ์ที่ทำงานในสภาวะเปิด จะถูกถอดรหัสโดย MCU และจะทำงานทันทีหรือส่งถ่ายไปยังหน่วยเก็บข้อมูลของ MCU

เครื่องจักร NC จะตอบสนองต่อคำสั่งซึ่งได้ถูกเก็บไว้แล้วรีจิสเตอร์ (Register) เก็บข้อมูลจนกว่าจะถูกนำออกมาใช้ MCU ดึงบล็อกของข้อมูลจากรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลชนิดแอคทีฟ (Active Storage Register) และกระตุ้นให้อุปกรณ์เซอร์โวทำงานตามข้อมูลนั้นในขณะที่เครื่องจักรทำงานตามคำสั่งแรก บล็อคของข้อมูลถัดไปจะถูกอ่านจากเทปและเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ อย่างไรก็ตาม ถ้าแมชีนไซเคิ้ล(Machine Cycle) ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการทำงานหนึ่งคำสั่งนั้น มีค่าน้อยกว่ารีดเดอร์ไซเคิ้ล(Reader Cycle) ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการอ่านหนึ่งบล็อกแล้ว เครื่องจักรกล NC จะต้องรอจนกว่าเครื่องอ่านได้ใส่ข้อมูลในรีจิสเตอร์เก็บข้อมูลชนิดแอคทีฟก่อนจะมีการทำงานขั้นต่อไป ลักษณะการหยุดรอและทำงานต่อสลับซ้ำกันแบบนี้ไม่เป็นที่พึงประสงค์ เมื่อการปฏิบัติงานของเครื่องจักรหยุดเป็นช่วง พื้นผิวหน้าของชิ้นงานที่ทำการแมชีน (Machining) อยู่นั้น จะเกิดรอยเว็ล (Dwell Mark) ทุกครั้งที่มีการหยุด และทำให้ระบบควบคุมไม่สามารถทำงานเป็นลักษณะต่อเนื่องกันได้ จึงต้องใช้ที่เก็บข้อมูลชนิดบัฟเฟอร์(Buffer Register) เพื่อแก้ปัญหาการหยุดรอและเริ่มทำงานใหม่

เมื่อใช้ที่เก็บข้อมูลชนิดบัฟเฟอร์แล้ว ข้อมูลที่ถูกถอดรหัสจากเครื่องอ่านเทปนั้น จะถูกเก็บเข้าไปในอนุกรมของรีจิสเตอร์ชนิดบัฟเฟอร์ (Buffer Register) รีจิสเตอร์เหล่านี้เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นที่เก็บข้อมูลชั่วคราวของข้อมูลอินพุทที่ป้อนเข้ามาในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานตามหนึ่งบล็อค ของข้อมูลอยู่นั้น บล็อคของข้อมูลถัดไปจะถูกเก็บเตรียมพร้อมไว้แล้วในรีจิสตอร์ชนิดบัฟเฟอร์ และจะถูกสวิตว์ในเชิงอิเล็กทรอนิกส์ไปสู่รีจิสเตอร์ชนิดแอคทีฟทันทีที่ได้เคลียร์รีจิสเตอร์ชนิดแอคทีฟล้ว ด้วยวิธีนี้ ข้อมูลอินพุทที่ป้อนเข้ามาและการกระทำคำสั่ง จะปรากฏอย่างต่อเนื่องอาการหยุดและทำงานใหม่ก็จะหายไป

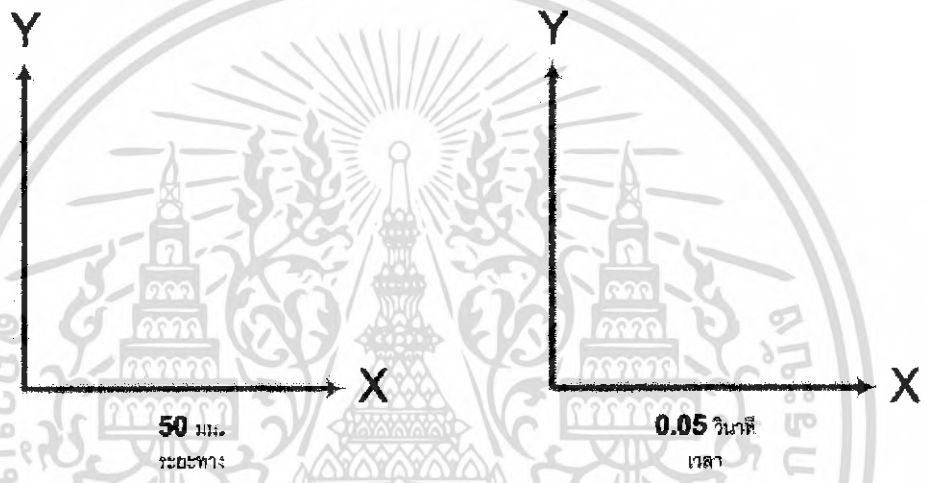
ในการที่จะผลิตสัญญาณขับเร้า (Actuation Signal) นั้น MCU มีหน้าที่ต้องแปลงข้อมูลที่เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ชนิดแอคทีฟให้เป็นสัญญาณซึ่งแทนข้อมูลที่ป้อนเข้ามา จำนวนพัลซ์และอัตราที่จะถูกผลิตนั้น จะเป็นฟังก์ชั่นของระยะทางท่จะเดินไปและเป็นฟังก์ชั่นของอัตราการป้องส่งของมีดตัด (Cutter) รีโซลูชั่นเชิงสัดส่วน (Dimensional Resolution) ที่น้อยที่สุดของเครื่องจักร NC นั้น จะหมายถึงระยะทางที่เคลื่อนไปด้วยสัญญาณหนึ่งพัลซ์ หรืออีกนัยหนึ่ง สัญญาณพัลซ์หนึ่งพัลซ์หมายความถึงระยะทาง 0.002 มม. (ระยะทางนี้ขึ้นอยู่รายละเอียดเฉพาะ (Specification) ของเครื่องจักรกล NC) นั่นคือ เซอร์โวมอเตอร์จะเคลื่อนที่โดยเพิ่มระยะทางทีละ 0.002 มม. เนื่องจาก MCU ไม่สามารถผลิตสัญญาณพัลซ์ที่เป็นเศษส่วนได้ ดังนั้น การเคลื่อนที่ด้วยระยะทางที่น้อยกว่า 0.002 มม. จึงทำไม่ได้

สมมติว่า ถ้ารีจิสเตอร์ชนิดแอคทีฟได้บรรจุข้อมูลที่สั่งให้มีการเคลื่อนที่ไปตามแกน X ด้วยระยะทาง 50 มม. แล้ว MCU จะต้องผลิตสัญญาณพัลซ์ 25,000 พัลซ์ (1พัลส์ หมายถึง 0.002 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และถ้าอัตราการป้อนส่งเป็น 1 เมตรต่อนาที (mpm) แล้ว จะต้องใช้จำนวนพัลซ์ทั้งหมดประมาณ 8333 พัลซ์ /วินาที และใช้เวลาเคลื่อนที่ไป 0.05 นาที ดังแสดงการเคลื่อนที่ไปด้วยระยะทางและเวลาได้ตามรูปที่ 3.3

ในกรณีที่เคลื่อนที่สองแกนหรือมากกว่านั้น จะเคลื่อนที่ไปเป็นเวคเตอร์พัลซ์ที่ไปควบคุมการเคลื่อนที่ไปในแต่ละแกนจะต้องคูณเป็นจำนวนที่เท่าเพื่อทำให้เกิดทิศทางของเวคเตอร์ที่เหมาะสม และยังคงรักษาอัตราการป้อนส่งได้คงเดิม ตัวอย่างเช่น ในเวคเตอร์ 2 มิติที่กำหนดให้แกน X เป็นสามเท่าของแกน Y จำนวนพัลซ์ในแกน X จะต้องเป็นสามเท่าของแกน Y ในช่วงเวลาเท่ากัน



รูปที่ 3.3 ระยะทางและเวลาที่เคลื่อนที่ไปตามแกน X

3.2.2 การป้อนกลับในลูพ NC

ในเครื่องจักรกล NC ใช้ควบคุมอยู่สองแบบ คือระบบควบคุมลูพเปิดและระบบควบคุมลูพปิด เพื่อให้เข้าใจในสองระบบ จึงขอยกตัวอย่างเครื่องจักรกลแบบโพซิชั่นนิ่ง ที่เคลื่อนเทเบิ้ล ไปที่ตำแหน่งที่ถูกต้อง

รูปที่ 3.4 (ก) เป็นรูปของระบบโพซิชั่นนิ่งแบบลูพเปิด MCU จะแปลงสัญญาณคำสั่งไปสู่สัญญาพัลซ์จำนวนหนึ่งที่เหมาะสม ในขณะที่พัลซ์แต่ละพัลซ์ได้ถูกส่งถ่ายไปนั้น วงจรลบจะทำหน้าที่ลดจำนวนสัญญาณคำสั่งลงทีละหนึ่ง เมื่อตัวนับคำสั่งลดลงเป็นศูนย์แล้ว ก็จะหมายความว่าจำนวนพัลซ์ที่เหมาะสมชุดนั้นได้ส่งออกไปเรียบร้อยแล้ว และคาดว่าเทเบิ้ลได้เคลื่อนไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว

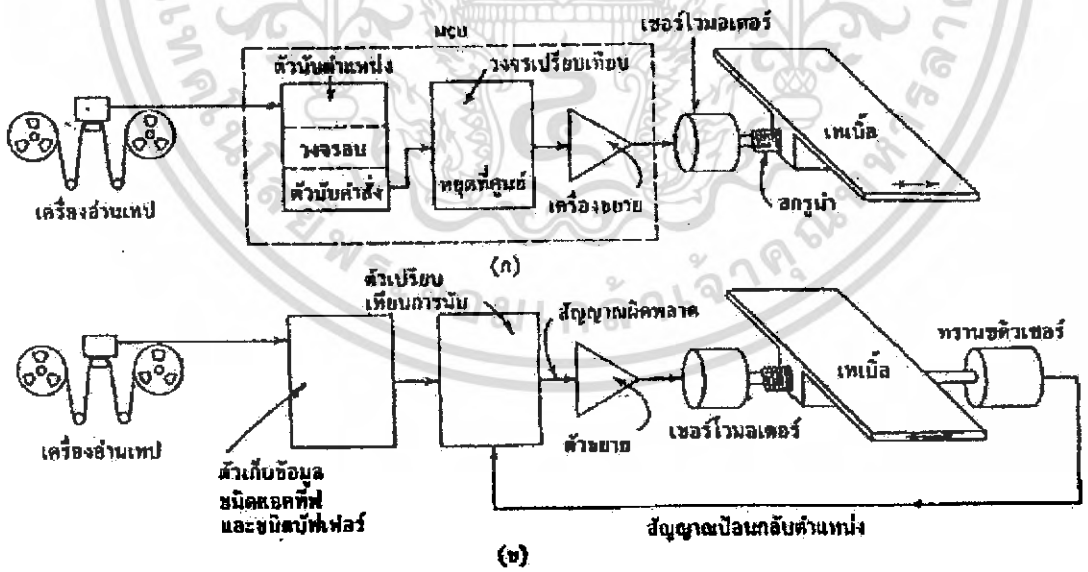
ส่วนระบบโพซิชั่นนิ่งแบบลูพปิดดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 (ข) นั้น MCU จะผลิตสัญญาณพัลซ์จนกว่าสัญญาณที่กลับจากทรานซดิวเซอร์ป้อนกลับได้พบว่ามีค่าเท่ากับจำนวนพัลซ์ดังเดิมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการให้เคลื่อนที่ไป ตัวเปรียบเทียบ (comparator) ถูกนำมาให้ทำหน้าที่เปรียบเทียบจำนวนนับของสัญญาณป้อนกลับกับค่าเดิม และสัญญาณผลต่างจะถูกป้อนออกมาเป็นเอาท์พุทจนกว่าการนับพัลซ์ป้อนกลับมีค่าเท่ากับอินพุท

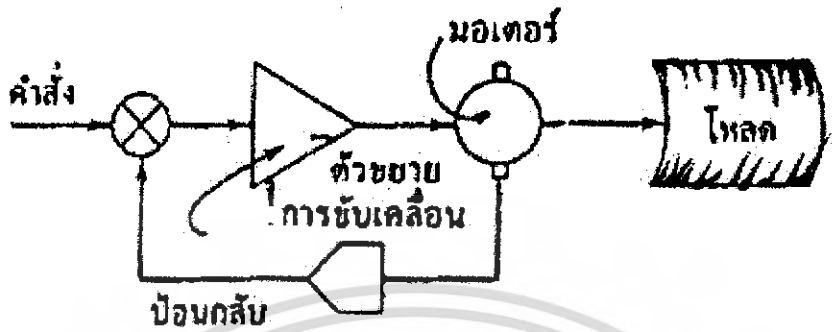
ตัวอย่างดังกล่าวมาข้างต้น จะเห็นว่า ถ้าอุปกรณ์ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลนั้นเสื่อมลง เนื่องจากการใช้งานเป็นเวลานาน หรือเนื่องจากเหตุผลอื่น ระบบ NC แบบลูพเปิดจะบอกไม่ได้ว่าตำแหน่งของเทเบิ้ลในขณะนี้ถูกต้องหรือไม่ เพราะระบบทำงานโดยนับจำนวนพัลซ์เท่านั้น ระบบ NC แบบลูพเปิดเหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในกรณีที่โหลดไม่แปรเปลี่ยน และในกรณีที่สามารถรู้ความฝืด (Friction) และคุณลักษณะความเสื่อมของตัวขับเคลื่อนเซอร์โวระบบดังกล่าวจะมีราคาไม่แพงมากนักเมื่อเทียบกับเครื่องจักรแบบลูพปิด

ระบบ NC แบบลูพปิดเหมาะที่จะนำมาใช้ในกรณีที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ระบบป้อนกลับใช้การป้อนกลับแบบทางตรงและทางอ้อม วิธีป้อนกลับแบบทางอ้อมนี้จะวัดเอาท์พุทของเซอร์โวมอเตอร์ดังรูปที่ 3.5 วิธีการนี้เป็นระบบป้อนกลับที่ใช้กันทั่วไปก็ตาม แต่การป้อนกลับแบบทางอ้อมนี้ไม่ให้ความเที่ยงตรงสูงเท่ากับวิธีของการป้อนกลับแบบตรง ซึ่งได้รวมเอาโหลดให้อยู่ในลูพป้อนกลับด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ทรานซดิวเซอร์ในลูพป้อนกลับของการป้อนกลับทางตรงนั้นถูกนำมาใช้เพื่อสังเกตโหลอด(ซึ่งเป็นเทเบิ้ล) นั่นเอง การป้อนกลับแบบทางตรงนี้มีความเที่ยงตรงสูงกว่าและราคาแพงกว่า

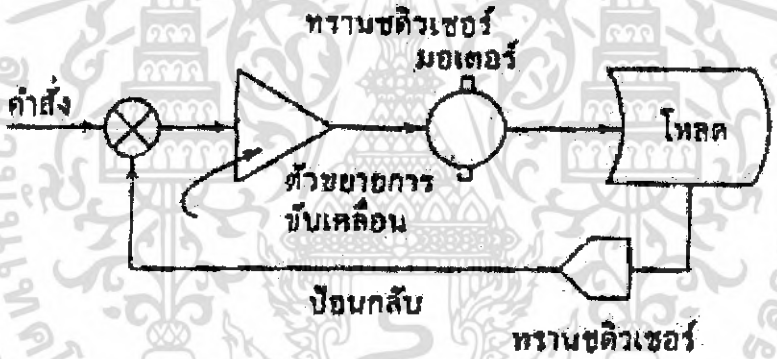


รูปที่ 3.4 ระบบโพซิชั่นนิ่งแบบลูพเปิดและลูพปิด (ก) การควบคุมโพซิชั่นนิ่งแบบลูพเปิด (ข) การควบคุมโพซิชั่นนิ่งแบบลูพปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การควบคุมป้อนกลับแบบทางอ้อม



รูปที่ 3.6 การควบคุมป้อนกลับแบบทางตรง

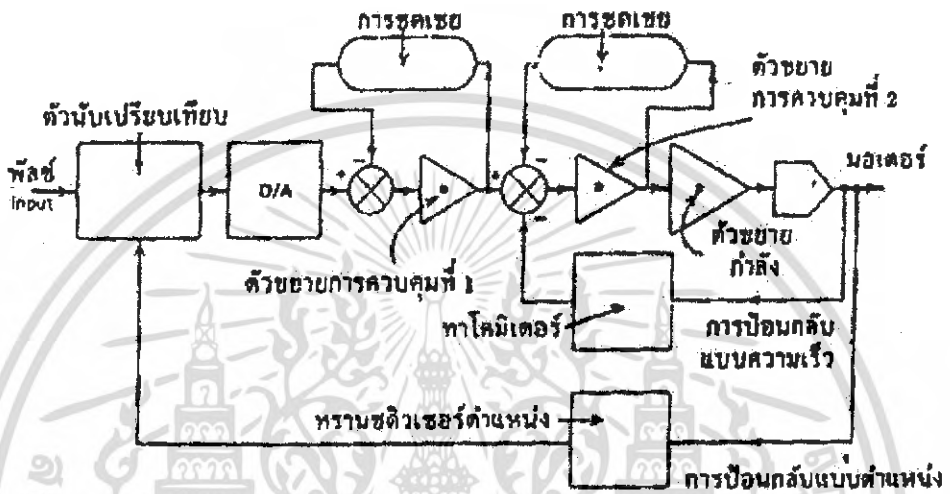
3.2.3 การป้อนกลับแบบตำแหน่งและความเร็ว

เซอร์โวแมคานิซึมแบบลูพปิดส่วนมากจะมีทั้งการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว(Velocity) การป้อนกลับแบบตำแหน่งในระบบ NC จะอยู่ในรูปของพับซ์ที่ถูกนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลคำสั่งที่แท้จริง ผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้คือสัญญาณความผิดพลาด การควบคุมความเร็วจะเน้นในการประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องรักษาระดับความเที่ยงตรงอย่างสูงในเรื่องของตำแหน่งสุดท้าย (Final Position) งานตบแต่งพื้นผิวหน้า (Surface Finish) และความเที่ยงตรงของทางเดิน (Path Accuracy)

รูปที่ 3.7 เป็นรูปที่แสดงถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ NC แบบลูพปิด ซึ่งมีทั้งการป้อนกลับแบบตำแหน่งและความเร็ว สัญญาณอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณพัลซ์จะถูกส่งไปยังตัวนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบ(Counter Comparator) สำหรับการป้อนกลับแบบตำแหน่ง และจะได้เอาท์พุทเป็นสัญญาณความผิดพลาด ในรูปจะเห็นว่าเซอร์โวถูกขับโดยโวลเทจที่เป็นอนาลอก ดังนั้นอุปกรณ์ D/A จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณความผิดพลาดที่อยู่ในรูปของพัลซ์ไปเป็นโวลเทจที่เป็นอนาลอกซึ่งจะผ่านไปยังตัวขยายการควบคุมเพื่อทำงานต่อไป เป็นที่น่าสังเกตว่า มีลูพชดเชย(Compensation Loops) ซึ่งเป็นลูพภายในอยู่ในระบบด้วย การชดเชยนี้ทำหน้าที่ปรับปรุงสมรรถนะ(performance) ของระบบควบคุม



รูปที่ 3.7 รูปลักษณ์ของระบบ NC ซึ่งเป็นการควบคุมตำแหน่งและความเร็ว

เอาท์พุทของตัวขยายการควบคุมที่ 1 จะถูกส่งไปรวมกับสัญญาณป้อนกลับจากทรานซดิวเซอร์ความเร็ว(Velocity Transducer) การป้อนกลับแบบความเร็วนี้จะทำได้โดยใช้ทาโคมิเตอร์แบบเอซี หรือดีซีที่ต่อเข้ากับเซอร์โวมอเตอร์ ทาโคมิเตอร์ไม่เหมือนกับทรานซดิวเซอร์ตำแหน่ง(Position Transduction) ซึ่งทำหน้าที่ให้เอาท์พุทเป็นสัญญาณดิจิตอลพัลส์ (digital Pulse)แต่ทาโคมิเตอร์ทำหน้าที่ผลิตโวลต์เทจแบบอนาลอก ซึ่งจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอนาลอกของตัวขยายการควบคุมที่ 1 ผลที่ได้จะถูกส่งไปยังตัวขยายการควบคุมที่ 2 การป้อนกลับแบบลูพความเร็วนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการขยายเกนสำหรับอินพุทที่ป้อนไปสู่ตัวขยายกำลัง(Power Amplifier)

3.2.4 ความไว

ระบบ NC ตามรูปที่ 3.7 นั้นประกอบขึ้นจากส่วนต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งมีฟังก์ชั่นถ่ายโอน (Transfer Function) ต่างกันออกไปด้วย ถ้ารู้ฟังก์ชั่นของส่วนต่าง ๆ ก็จะสามารถหาฟังก์ชั่นถ่ายโนของระบบได้ ในการวิเคราะห์ลูพการควบคุมนั้น จำเป็นที่ต้องทำนายว่าในแต่ละส่วนของระบบควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ในระบบ NC นั้นสภาพแวดล้อมอันได้แก่ อุณหภูมิ ความฝืด

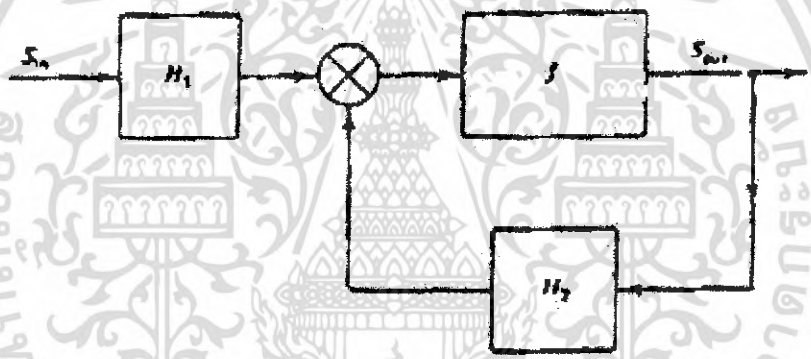
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเสื่อมอายุ และแมกนิจูดเป็นปัจจัยสำคัญที่มีการเปลี่ยนแปลและมีผลกระทบต่อระบบทั้งระบบ สิ่งเหล่านี้ควรจะรู้ล่วงหน้าไว้ก่อน

ความไว(Sensitivity) เป็นการวัดความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของระบบทั้งหมดกับคุณลักษณะของชิ้นส่วนเพียงชิ้นเดียวของระบบ กำหนดให้ G เป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบ H เป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนของชิ้นส่วนเพียงชิ้นเดียวแล้ว จะนิยามความไวเชิงอนุพันธ์ ได้ดังนี้

$$S_{G,H} = \frac{dG/G}{dH/H}$$

สมการ (3.1) เป็นอัตราส่วนของความเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบต่อความเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ฟของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของชิ้นส่วนชิ้นส่วน สมการดังข้างบนใช้ได้เฉพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ เท่านั้น และระบบลูพปิดแบบอุดมคติ (Ideal) แล้วควรจะมีความไว้เป็นศูนย์ต่อชิ้นส่วนทุกชิ้น



รูปที่ 3.8 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่ได้ทำให้ง่ายลงแล้วของระบบในรูปที่ 3.7

แนวความคิดของความไวนั้น สามารถกล่าวได้ละเอียดดังต่อไปนี้ โดยสมมติให้ระบบโพซิชั่นนิ่ง NC มีบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ดังรูปที่ 3.8 จากรูปที่ 3.8 นั้น กำหนดให้

H_1 = ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของชิ้นส่วนที่อยู่ทางด้านอินพุท ซึ่งได้แก่จำพวกตัวนับเปรียบเทียบและตัวแปลง D/A เป็นต้น

H_2 = คุณลักษณะของทรานซดิวเซอร์ตำแหน่งในลูพป้อนกลับ

J = ผลรวมของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของตัวขยายการควบคุม ข่ายสายการชดเชย ตัวขยายกำลัง และมอเตอร์ และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ลูพการควบคุม ความเร็วให้รวมอยู่ในส่วนของ J ด้วย

จากรูปที่ 3.8 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนทั้งหมดของระบบนั้น จะเขียนได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = \frac{S_{out}}{S_{in}} = \frac{H_1 J}{1 + H_2 J}$$

โดยใช้สมการ (3.1) และ (3.2) แล้ว จะสามารถหาความไวของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบทั้งหมดต่อ H_1, H_2 และ J ได้

ในการพิจารณาหาความไวของ G ต่อ J นั้น จะเขียนได้ว่า

$$S_{G,J} = \frac{dG/G}{dJ/J} = \frac{J}{D}\frac{dG}{dJ}$$

โดยที่ $$\frac{dG}{dJ} = \frac{(1+H_2J)H_1 - H_1JH_2}{(1+H_2J)^2} = \frac{H_1}{(1+H_2J)^2}$$

ดังนั้น $$S_{G,J} = \frac{J}{G}\frac{dG}{dJ} = \frac{1}{1+H_2J} \qquad (3.3)$$

จากสมการ 3.3 จะเห็นได้ว่า ความไวของระบบทั้งระบบต่อฟังก์ชั่นถ่ายโอนรวม J นั้น จะแปรผันเป็นส่วนกลับกับ $1+ H_2J$ ในแนวคิดของความไวแล้ว $S_{G,H}$ จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 มากๆ ดังนั้น J ควรมีค่ามาก

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณาหาความไวของ G ต่อ H_1 จะเขียนได้เป็น

โดยที่ $$S_{G,H_1} = \frac{H_1}{G}\frac{dG}{dH_1}$$

ดังนั้น $$\frac{dG}{dH_1} = \frac{1}{1+H_2J} = \frac{G}{H_1}$$

$$S_{G,H_1} = \frac{H_1}{G}\frac{dG}{dH_1} = 1 \qquad (3.4)$$

และเมื่อพิจารณาหาความไวของ G ต่อ H_2 จะเขียนได้เป็น

โดยที่ $$S_{G,H_2} = \frac{H_2}{G}\frac{dG}{dH_2}$$

ดังนั้น $$\frac{dG}{dH_2} = -\frac{H_1J^2}{(1+H_2J)^2} = \frac{-H_1^2J^2}{H_1(1+H_2J)^2}$$

$$S_{G,H_2} = \frac{H_2}{G} \bullet \frac{-H_1^2J^2}{H_1(1+H_2J)^2}$$

$$S_{G,H_2} = \frac{-H_2J}{1+H_2J} \qquad (3.5)$$

ในกรณีที่ $H_2J \geq 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_{G,H_2} \approx -1$$

จากสมการ (3.4) และสมการ (3.5) นั้น แสดงว่าคุณลักษณะของอินพุต (H_1) และทรานซดิวเซอร์ป้อนกลับนั้นเป็นค่าวิกฤต การเปลี่ยนใดๆใน H_1 หรือ H_2 จะทำให้เกิดการกระทบโดยตรงต่อการตอบสนองของระบบทั้งระบบ ดังนั้น ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนต้องมีคุณลักษณะที่เสถียรภาพโดยไม่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมการปฏิบัติงาน

3.3 อุปกรณ์ชิ้นส่วนการป้อนกลับโดยทั่วไป

3.3.1 ทรานซดิวเซอร์

ทรานซดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์รับรู้ (Sensing Device) ที่ทำหน้าที่แปลปริมาณที่วัดได้ไปเป็นปริมาณที่วัดได้ในรูปอื่น ในระบบ NC ใช้ทรานซดิวเซอร์ความเร็ว (แบบอนาลอก) และตำแหน่ง (แบบดิจิตอล) ทั้ง 2 แบบ ทรานซดิวเซอร์แบบอนาลอกจะผลิตสัญญาณที่แปรผันตามโดยตรงกับปริมาณที่วัดได้ ในขณะที่ทรานซดิวเซอร์ แบบดิจิตอลจะผลิตสัญญาณเป็นรูปพัลซ์ (เปิดหรือปิด) ซึ่งแทนเฉพาะส่วนที่เป็นช่วงของปริมาณที่จะถูกวัด

ใน NC ประยุกต์นั้นใช้หลักการต่อไปนี้ เพื่อเลือกใช้ทรานซดิวเซอร์

1. ชนิดของทรานซดิวเซอร์ ซึ่งใช้กับอุปกรณ์ชิ้นส่วนอื่นในลูพ ควบคุมได้ (นั่นคือต้องการเอาท์พุทเป็นแบบดิจิตอลหรืออนาลอก)
2. ปริมาณที่ถูกวัด
3. สภาพแวดล้อมที่จะทำการวัด

ทรานซดิวเซอร์ที่ใช้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องเป็นทรานซดิวเซอร์ที่วัดได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีการทดเกียร์(Gearing) หรือต่อถึงกัน (Linkage) เพราะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดทางเชิงกลได้

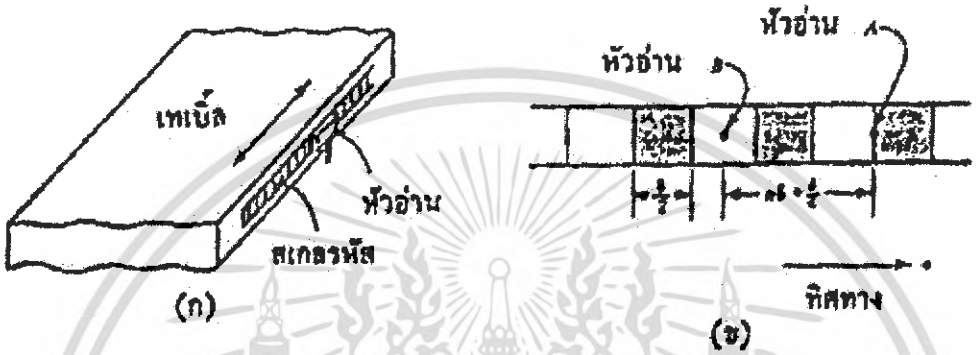
อุปกรณ์รับรู้ในลูพป้อนกลับตำแหน่งจะเป็นทรานซดิวเซอร์เชิงเส้นหรือหมุนรอบ เนื่องจากการป้อนกลับแบบตำแหน่งนี้เป็นดิจิตอล ทรานซดิวเซอร์เหล่านี้ จะต้องแปรการเคลื่อนที่ที่เป็นเส้นตรงหรือการหมุนรอบให้ไปสู่สัญญาณเอาท์พุทที่เป็นพัลซ์

ทรานซดิวเซอร์แบบดิจิตอลทั้งหลายเป็นตัวผลิตสัญญาณพัลซ์ (Pulse Generators) ตัวอย่างทรานซดิวเซอร์เชิงเส้นอย่างง่ายนั้นได้แสดงไว้ในรูป 3.9 ซึ่งประกอบด้วยสเกลรหัส ที่มีขั้นเพิ่มเล็กติดอยู่กับเทเบิ้ล หัวอ่านแบบแสงหรือแม่เหล็กจะให้พัลซ์หนึ่งพัลซ์ขณะที่ได้รับรู้ในแต่ละเส้น พัลซ์แต่ละพัลซ์ที่ได้ออกมาจะถูกนำมารวมกัน เพื่อแสดงผลรวมของการเคลื่อนที่ไปของเทเบิ้ล

เนื่องจากรูปแบบของพัลซ์ที่ได้จะไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางของการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงต้องมีตัวเลือกทิศทาง เพื่อบอกให้ตัวนับทำการบวกหรือลบจำนวนพัลซ์ที่ได้ออกมา การบวกหรือลบก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับทิศทางว่าอยู่ทางด้านบวกหรือลบ จากรูป 3.9 (ข) ถ้าให้ระยะช่องสเกลกว้าง $\delta/2$ และให้หัวอ่านสองหัววางห่างกันเป็นระยะ $n\delta + \delta/4$ ถ้าการเข้าแทนที่มีทิศทางดังรูป ช่องทางดังรูป ช่องที่แรเงาไว้แทนสัญญาณพัลซ์ที่เป็น 1 ส่วนที่ไม่ได้แรเงาจะแทนสัญญาณพัลซ์ที่เป็น 0 แต่ละหัวอ่านจะเปลี่ยนสถานะไป (นั่นคือจาก 0 ไป หรือจาก 1 ไป 0) ดังแสดงในตาราง 3.1 ดังนั้น เมื่อสถานะที่เปลี่ยนไป ได้ถูกรับรู้ ทิศทางการเคลื่อนอาจพิจารณาได้ง่ายโดยใช้ข้อมูลที่อยู่ในตาราง



รูปที่ 3.9 (ก) ทรานซดิวเซอร์แบบดิจิตอลเชิงเส้น (ข) วิธีการเลือกทิศทางที่ใช้ในทรานซดิวเซอร์แบบดิจิตอลเชิงเส้น

ตาราง 3.1 ค่าของตัวเลือกทิศทางของทรานดิวเซอร์

	A เปลี่ยนสถานะ		B เปลี่ยนสถานะ	
	0 ไป 1	1 ไป 0	0 ไป 1	1 ไป 0
A อ่าน 0			+	-
A อ่าน 1			-	+
B อ่าน 0	-	+		
B อ่าน 1	+	-		

ทรานซดิวเซอร์แบบดิจิตอลหมุนรอบทำงานโดยใช้หลักพื้นฐานเช่นเดียวกันกับทรานซดิวเซอร์เชิงเส้น อย่างไรก็ตาม อินพุทที่จะป้อนเข้าสู่ทรานซดิวเซอร์นี้อาจนำมาจากสกรูนำขับเคลื่อน (Drive Lead Screw) โดยตรง หรือผ่านการเกียร์แบบแร็คและพิเนี่ยน (Geared Rack and Pinion Arrangement) ที่ติดอยู่กับเทเบิ้ล

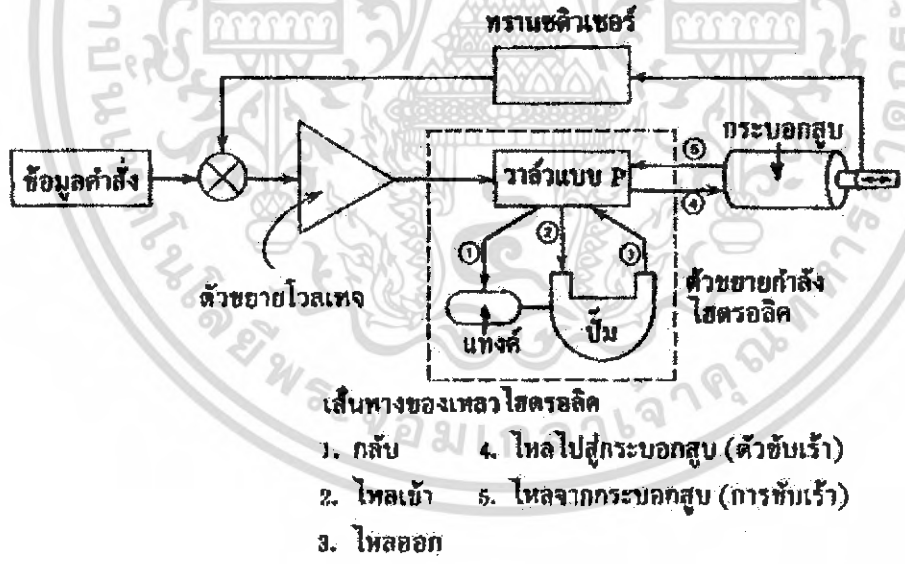
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ตัวขยายกำลังและตัวขับเร้า

การขยาย (Amplification) จะทำการอยู่สองรูปแบบที่ใช้อยู่ในอุปกรณ์ควบคุมเชิงตัวเลข คือ สัญญาณอินพุทถูกเพิ่มโดยตัวขยาย (Amplifier) ชนิดอิมพีแดนซ์โวลต์เทจสูงหนึ่งตัวหรือมากกว่า เพื่อจัดเตรียมโวลต์เทจที่จำเป็นส่งไปขับเคลื่อนตัวขยายกำลัง ตัวขยายกำลังเป็นแบบอิมพีแดนซ์ต่ำ ซึ่งจะจ่ายพลังงานอินพุทที่จำเป็นสู่เซอร์โวมอเตอร์

การขยายกำลังอาจเป็นทั้งอิเล็กทรอแมคานิคอล ไฮดรอลิค หรือนิวแมติคก็ได้ ระบบจะเป็นลักษณะใดก็ขึ้นอยู่กับการพิจารณาถึงเรื่องกำลังม้า(Horsepower) ของมอเตอร์ ความเร็วของมอเตอร์ และอุณหภูมิ รูปที่ 3.10 เป็นรูปแสดงถึงการจัดเกี่ยวกับตัวขยายกำลังที่ใช้ในระบบไฮดรอลิค

สัญญาณผลต่างจะถูกส่งผ่านตัวขยายโวลเทจไปยังวาล์วควบคุมอิเล็กทรอนิส์ ซึ่งมีเอาท์พุทที่แปรผันโดยตรงกับสัญญาณโวลเทจที่เป็นอินพุท วาล์วจะเปิดเพื่อให้ปริมาตรของของเหลวไฮดรอลิคจำนวนออกมาภายใต้ความดันสูง ซึ่งจะไปขับเคลื่อนกระบอกสูบ(Cylinder) อันเป็นผลให้เทเบิ้ลเคลื่อนที่ไป การขยายกำลังนี้เกิดขึ้นได้จากการที่วาล์วทำงานเปิดหรือปิด ดังนั้น ในระบบนี้วาล์วจึงเป็นตัวขยายกำลังของระบบ



รูปที่ 3.10 ตัวขับเร้าไฮดรอลิค สัญญาณไฟฟ้าถูกแปลงไปสู่สัญญาณของเหลวด้วยตัวขยายกำลังไฮดรอลิค

อุปกรณ์การขับเร้าจะเป็นมอเตอร์และกระบอกสูบที่ทำงานด้วยไฟฟ้า ไฮดรอลิคและนิวแมติค ตัวขับเร้ากำลังจะถูกเลือกให้เข้ากับชนิดของระบบการขยายกำลังที่ถูกนำมาใช้ในระบบNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

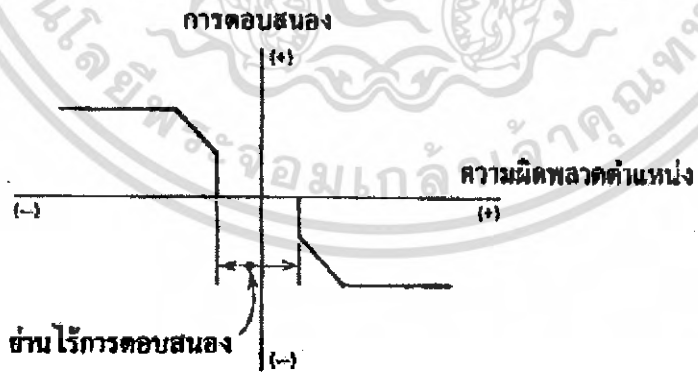
3.3.3 สัญญาณความผิดพลาด

ในระบบ NC สัญญาณความผิดพลาดจะเข้าสู่การไหลไปข้างหน้าของข้อมูลที่ลูพการป้อนกลับตำแหน่งและความเร็ว เกน (Gain) ของแต่ละตัวของตัวขยายการควบคุมนั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการตอบสนองทั้งหมดของระบบที่มีต่อสัญญาณความผิดพลาด

เมื่อพิจารณาลูพป้อนกลับความเร็ว สัญญาณความผิดพลาด(Error Signal) เกิดขึ้นเมื่อเอาท์พุทของทาโคมิเตอร์ไม่เท่ากับคำสั่งความเร็วที่ป้อนเข้าทางอินพุท สัญญาณความผิดพลาดนี้จะถูกขยายโดยตัวขยายการควบคุม ที่ 2 จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในสัญญาณนั้นซึ่งจะเป็นอินพุทของตัวขยายกำลัง ดังนั้น สิ่งที่ตามมาก็คือ ความเร็ว (Velocity) จะไม่แน่นอน

เกนของตัวขยายการควบคุมที่ 1 ในลูพโพซิชั่นนิ่งจะต้องเป็นเกนที่ไม่ทำให้เซอร์โวแมคานิซึมเกิดแกว่ง (Oscillate) ต่อตำแหน่ง ในทางปฏิบัติ จึงเพิ่มวงจรการชดเชยเพื่อปรับสัญญาณความผิดพลาด เมื่อเพิ่มคงที่ (Time Constant) ของเซอร์โวแล้ว วงจรนี้จะกำจัดการแกว่งในขณะที่เพิ่มเกนให้สูงเพื่อความเที่ยงตรงของตำแหน่งได้ การตอบสนองจะช้า แต่ความผิดพลาดในตำแหน่งจะได้รับการแก้ไขให้ดีขึ้น

ลูพโพซิชั่นนิ่งยังถูกกระทบจากคุณลักษณะเชิงกลซึ่งเรียกว่า แบ็กแลช (Backlash) อันมีอยู่ในชิ้นส่วนขับเคลื่อน และไม่สามารถกำจัดออกได้แต่ทำให้ลดน้อยลงได้ เซอร์โวใน NC จะทำงานโดยมีย่านไร้การตอบสนอง (Dead Zone) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความผิดพลาดตำแหน่งขนาดเล็ก ๆ ได้จากการการขับเร้าเซอร์โวมอเตอร์ รูปที่ 3.11 เป็นกร๊าฟที่แสดงย่านไร้การตอบสนองสำหรับผลการตอบสนองต่อเซอร์โว



รูปที่ 3.11 ย่านไร้การตอบสนองสำหรับผลการตอบสนองเซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบการขยายกำลังไฮดรอลิคที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น เมื่อวาล์วได้ปิดอย่างสนิทแล้ว จะมีย่านไร้การตอบสนองเกิดขึ้น ซึ่งหมายความว่า สัญญาณเล็ก ๆ จากตัวขยายกำลังจะทำให้วาล์วเคลื่อนไป แต่ไม่มีกำลังพอที่จะให้ของเหลวไฮดรอลิคไปถึงกระบอกสูบได้

ระบบ NC หลาย ๆ ระบบจะสามารถปรับแต่งผลการตอบสนองของย่านไร้การตอบสนองได้ ตัวอย่างเช่น อาจต่อนีดเดิ้ลวาล์ว (Needle Valve) ระหว่างความดันและเส้นไหลกลับ (Return Lines) สำหรับของเหลวไฮดรอลิค นีดเดิ้ลวาล์วจะให้มีการรั่วไหล จำนวนเล็ก ๆ ก่อนที่ความดันจะถูกจ่ายไปสู่กระบอกสูบ แมกนิจูดของการรั่วไหลนี้จะถูกปรับแต่ได้โดยนีดเดิ้ลวาล์ว ซึ่งหมายถึงการพิจารณาถึงความกว้างของย่านไร้การตอบสนองนั่นเอง

3.4 ระบบควบคุมแบบโพซิชั่นนิ่ง

ระบบควบคุมแบบโพซิชันนิ่ง(Positioning Control System) จะทำงานโดยที่เครื่องมือตัดเคลื่อนไปจุด ถึง จุด ทางเดินของเครื่องมือตัดระหว่างจุดนั้นไม่สามารถโปรแกรมได้ ดังนี้ ตำแหน่งของจุดจึงกำหนดได้ ระบบโพซิชั่นนิ่งที่เคลื่อนจากจุดเริ่มต้นไปสู่ตำแหน่งสุดท้ายโดยไม่มีการควบคุมทางเดินนั้น เรียกว่า เครื่องจักรกลแบบจุด ถึงจุด (PTP) ระบบ NC ที่มีการควบคุมแบบ PTP นั้น โดยทั่วไปจะทำงานในลักษณะเป็นอิสระจากทางเดิน เช่นเครื่องเจาะหรือเครื่องเชื่อมแบบสปอต (Spot Welding)

หน่วยควบคุมเครื่องจักรกลในระบบ PTP จะประกอบด้วยรีจิสเตอร์ที่เก็บคำสั่งการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนไว้อย่างเอกเทศ แต่ระบบบางระบบ เมื่อคำสั่งแกน X ได้ทำงานเริ่มต้นที่กำหนดเจาะจงไว้แล้ว จึงตามด้วยคำสั่งแกน Y และแกน Z การทำงานแบบนี้จะผลิตทางเดินแบบซิกแซก ซึ่งจะไปสิ้นสุดที่ตำแหน่งที่เหมาะสม

ในระบบโพซิชั่นนิ่ง NC หลายระบบ จะประกอบด้วย MCU ที่ซับซ้อนกว่า ในกรณีนี้ เซอร์โวและคำสั่งโพซิชั่นนิ่งจะถูกประมวลให้ทำงานพร้อมกันไป จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่เป็นเวคเตอร์ได้ในสองแกน อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่เป็นเวคเตอร์ถูกจำกัดแบบหนึ่ง ถึง หนึ่ง ของพัลซ์เอาท์พุท นั่นคือ เวคเตอร์จะทำมุม 45 องศา ของเคลื่อนไป ระบบแบบนี้บางทีเรียกว่า การตัดตรง (Straight Cut)

3.4.1 การควบคุมความเร็วในระบบโพซิชั่นนิ่ง

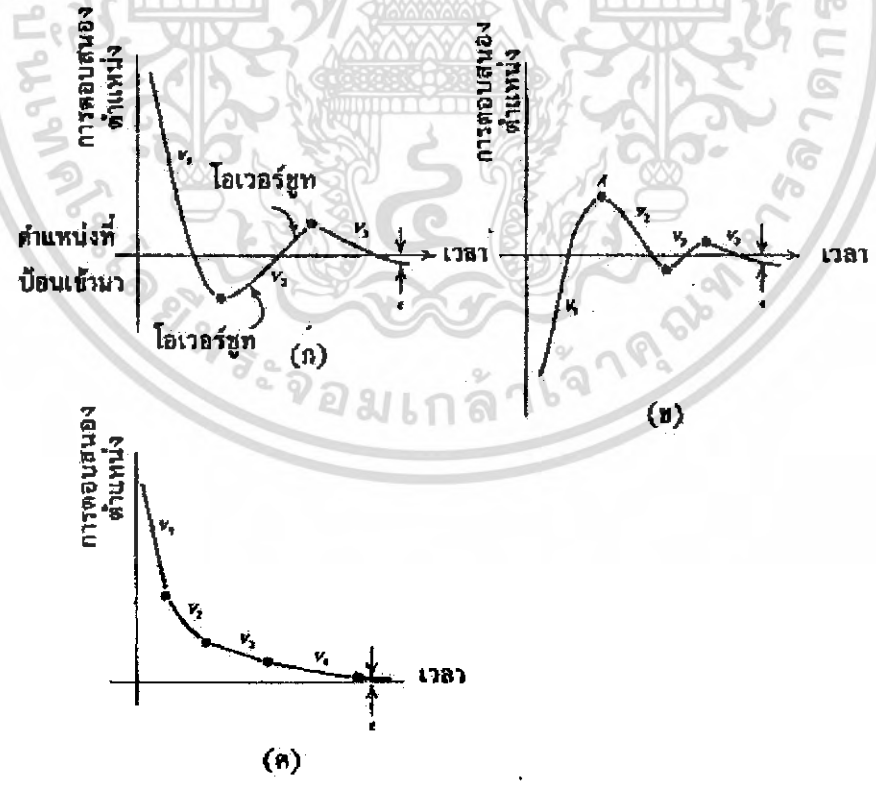
ระบบโพซิชั่นนิ่งส่วนมากจะมีรูปแบบของการควบคุมความเร็ว(Velocity Control) เพื่อกำจัดความผิดพลาดโอเวอร์ชูท(Overshoot Error) หรืออันเดอร์ชูท(Undershoot Error) และลดเวลาการเดินไประหว่างจุด เมื่ออุปกรณ์ NC แบบจุด ถึง จุดถูกนำมาใช้นั้น เวลาที่ใช้เคลื่อนไประหว่างจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเร็วขึ้น (ระหว่าง 3 ถึง 8 mpm) เพื่อลดเวลาในการผลิตทั้งหมด เนื่องจากการปฏิบัติงานแบบ PTP จะปรากฏเฉพาะตำแหน่งสุดท้ายเท่านั้น การเกิดโอเวอร์ชูทตำแหน่งอาจยอมรับได้ โดยการจัดเตรียมคำสั่งที่ตามมาอันขึ้นอยู่กับการป้อนกลับซึ่งจะทำให้มีดตัดเร่งกลับไปสู่ตำแหน่งที่เกมาะสมได้ การตอบสนองตำแหน่งของระบบดังกล่าวนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12 (ก) เมื่อความผิดพลาดตำแหน่งมีแมกนิจูดเป็น ε แล้ว ระบบจะอยู่ภายในย่านไร้การตอบสนองของลูพป้อนกลับ และการตอบสนองต่อไปก็ไม่ปรากฏ

ผลกระทบของแบ็กแลชนี้สามารถจะควบคุมได้โดยการควบคุมความเร็วที่เหมาะสม การจะกำจัดผลกระทบของแบ็กแลชะนี้ เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V_1 ไปสู่ตำแหน่งโอเวอร์ชูทใด ๆ จุดหนึ่ง เช่นที่จุด A ดังรูปที่ 3.12 (ข) ณ จุดนี้จะเกิดการแกว่างหนึ่งหรือสองครั้งที่ความเร็วขนาดกลาง V_2 ซึ่งเครื่องมือตัดจะเข้าสู่ตำแหน่งคำสั่งจากทิศทางเดียวกัน วิธีนี้เป็นการตัดความจำเป็นในการทำกลับทิศทาง ซึ่งรวมทั้งแบ็กแลช เมื่อแมกนิจูดของความผิดพลาดกำลังเข้าสู่ช่วงกว้างของย่านไร้การตอบสนอง

สำหรับระบบโพซิชั่นนิ่งที่ต้องการลดโอเวอร์ชูทให้มีค่าน้อยที่สุดนั้น อาจเพิ่มการควบคุมขั้นความเร็ว(Velocity Step Control) ความเร็วเริ่มต้น V_1 จะถูกทำให้ลดลงที่ตำแหน่งคำสั่งที่แน่นอนในขณะที่เครื่องมือตัดเคลื่อนเข้าใกล้ตำแหน่งสุดท้าย ความเร็วจะลดลงเป็นขั้นต่อไป การตอบสนิงตำแหน่งของระบบดังกล่าวนั้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.12 (ค)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 วิธีควบคุมความเร็วสำหรับ NC แบบโพซิชั่นนิ่ง (ก) การตอบสนองภายใต้การหน่วง (ข) การตอบสนองภายใต้การหน่วงที่ถูกแก้ไขให้ถูกต้องสำหรับแบ็กแลช (ค) การตอบสนองต่ออินพุทที่เป็นขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วย

3.4.2 ความผิดพลาดตำแหน่ง

ในตอนต้น ๆ นั้นได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างเกนของตัวขยายการควบคุมกับสัญญาณความผิดพลาดมาแล้ว เกนของตัวขยายมีความสำคัญต่อการพิจารณาความผิดพลาด ε ซึ่งจะยังคงเหลืออยู่เมื่อระบบได้เข้าสู่สถานะคงตัว

กำหนดให้ความผิดพลาดตำแหน่งที่ยังคงเหลืออยู่เป็น ε ดังนี้

$$\varepsilon \; a \qquad \frac{\text{ความฝืดเชิงกลของอุปกรณ์ขับเคลื่อน}}{\text{เกนของลูพตำแหน่ง}}$$

ความผิดตำแหน่งขนาดเล็กจะยังคงเหลืออยู่ เพราะว่าไม่สามารถที่จะทำให้ความฝืดเชิงกลเป็นศูนย์ หรือทำให้แกนของลูพตำแหน่งเป็นอนันต์ เพื่อลดความผิดพลาดนี้ ผู้สร้างเครื่องจักรกลจึงพยายามสร้างอุปกรณ์ที่มีความฝืดน้อยที่สุด และในขณะเดียวกันระบบควบคุมได้รับการออกแบบให้มีแกนของลูพตำแหน่งสูงขึ้น การออกแบบทั้งระบบจะเป็นไปในลักษณะถ้อยทีถ้อยอาศัยกัน เพราะว่า เกนสูงจะทำให้ระบบไม่เสถียรภาพ และอุปกรณ์การแบริ่ง(Bearing) และการหล่อลื่นซึ่งจะลดความฝืดนั้น จะทำให้ราคาเครื่องสูงขึ้น

ลูพควบคุมความเร็วทำหน้าที่ในการพิจารณาความผิดพลาดตำแหน่ง เพราะว่าควบคุมความเร็วทำหน้าที่เพิ่มเกนของลูพตำแหน่ง และเพิ่มเวลาการตอบสนองของระบบ เวลาการตอบสนองที่เร็วกว่า จะหมายถึง ค่าคงที่เวลาเชิงกล(Mechanical Time Constant) ในลูพตำแหน่งอาจถูกทำให้ลดลงโดยปราศจากการสูญเสียเสถียรภาพ ดังนั้น จากสมการ (3.6) เกนของลูพตำแหน่งจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความผิดพลาดตำแหน่ง ε จะลดลงตาม

3.5 ระบบควบคุมแบบคอนทัวริ่ง

การทำงานแบบคอนทัวริ่งทำให้เครื่องจักรกล NC เคลื่อนไปตามทางเดิน (Path) ได้ ด้วยอัตราการป้อนส่งที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมแบบคอนทัวริ่งจะจัดการให้เกิดการเคลื่อนที่ในเวลาเดียวกันของเครื่องมือตัดในสอง สาม สี่ หรือห้าแกน (แกนที่สี่และห้าเป็นแกนที่ทำงานในลักษณะหมุนรอบ) โดยการอินเตอร์โพเลททิ่ง (Interpolating) ทางเดินที่เหมาะสมระหว่างจุดที่ได้กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 ส่วนต่าง ๆของระบบคอนทัวริ่ง

หน่วยควบคุมเครื่องจักรจะทำหน้าที่คำนวณอย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมทางเดินของเครื่องมือตัดให้เที่ยงตรงซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดทางเดิน(Path Error) น้อยที่สุด ดังนั้นในระบบคอนทัวริ่งจึงต้องคำนึงถึงความผิดตำแหน่งและความผิดพลาดทางเดินด้วย

ส่วนต่าง ๆ ของระบบคอนทัวริ่ง NC นั้นประกอบด้วย

1. MCU อินเตอร์โพเลเตอร์
2. ตัวเปรียบเทียบ
3. อุปกรณ์เซอร์โว

และส่วนที่สำคัญอย่างอื่นซึ่งจำเป็นต่อระบบทั้งระบบนั้นคือ ซอฟท์แวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่จัดเตรียมคำสั่งเพื่อขับเคลื่อนระบบคอนทัวริ่ง

โดยทั่วไปนี้ MCU อินเตอร์โพเลเตอร์ประกอบด้วยฮาร์ดแวร์อันเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งปฏิบัติงานการอินเตอร์โพเลชั่นเส้นตรง เส้นโค้ง หรือพาราโบลิกระหว่างจุด ระบบคอนทัวริ่งทั้งหลาย จะมีบางระบบเท่านั้นที่มีการทำงานในลักษณะดังกล่าวทั้งหมด แต่ระบบคอนทัวริ่งนั้นอย่างน้อยต้องมีความสามารถทำงานแบบอินเตอร์โพเลชันเส้นตรงระหว่างจุดได้

สัญญาณป้อนกลับซึ่งถูกประมวลโดยตัวเปรียบเทียบนั้น มีความสำคัญต่อระบบคอนทัวริ่ง NC เช่นเดียวกัน เมื่อระบบเชิงกลล้าหลัง (Lag) กว่าสัญญาณคำสั่ง ความผิดพลาดทางเดินจะเกิดขึ้น ยกเว้นแต่เมื่อสามารถควบคุมการเร่ง (Acceleration) และการลด (Deceleration) ได้อย่างละเอียด

อุปกรณ์เซอร์โวของระบบคอนทัวริ่งนั้นมีส่วนคล้ายคลึงกับอุปกรณ์เซอร์โวที่พบในระบบโพซิชั่นนิ่ง เนื่องจากการควบคุมของระบบนั้นมีความยุ่งซับซ้อนและยากกว่า ต้องดูและรักษาให้มั่นใจว่าชิ้นส่วนแต่ละชิ้นนั้นเสถียรภาพตลอดย่านของเงื่อนไขในการทำงาน

3.5.2 ความเร็วทางเดิน

ถึงแม้คำสั่งที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยวงจรคอมพิวเตอร์ทางเดิน(Path Computer Circuitry) เพื่อให้ผลิตทางเดินที่สมบูรณ์ใกล้ที่สุดได้ แต่คุณลักษณะเชิงกลและระบบควบคุมอาจทำให้ทางเดินผลลัพธ์นั้น เบี่ยงเบนออกจากเส้นทาง (Trajectory) ทางทฤษฎีได้ โดยทั่วไป ความสัมพันธ์ความเร็วจะต้องรักษาไว้ ซึ่งมีสูตรดังนี้

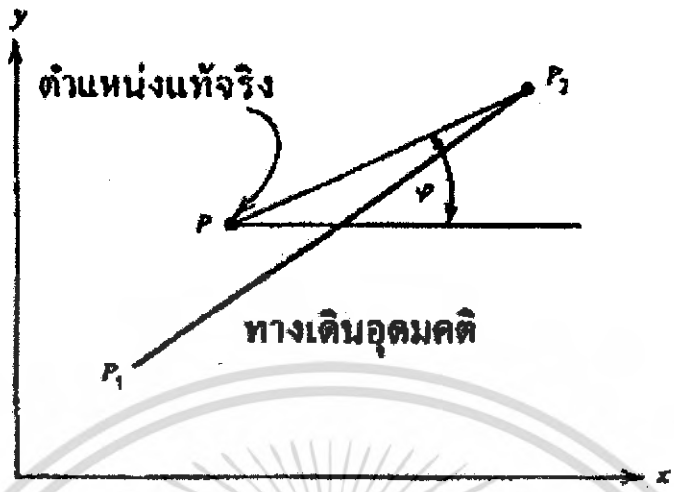
$$\sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad = \quad \text{ค่าคงที่}$$

โดยที่ค่าคงที่นั้นเป็นอัตราการป้อนส่ง สำหรับระบบคอนทัวริ่ง เพียงแต่ประมาณค่าความสัมพันธ์ข้างต้น ความเร็วอินพุทก็จะถูกแก้ไขเพื่อลดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด

วิธีที่ใช้กันอยู่ทั่วไปเพื่อแก้ไขความผิดพลาดให้น้อยที่สุดนั้นมีอยู่สองวิธี วิธีการแก้ไขวิธีแรก เรียกว่า การควบคุมการติดตาม(Pursuit Control) ซึ่งจะใช้มุมระหว่างตำแหน่ง P และจุดปลายของเส้นตรง P_2 ทำการแก้ไขความเร็ว นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

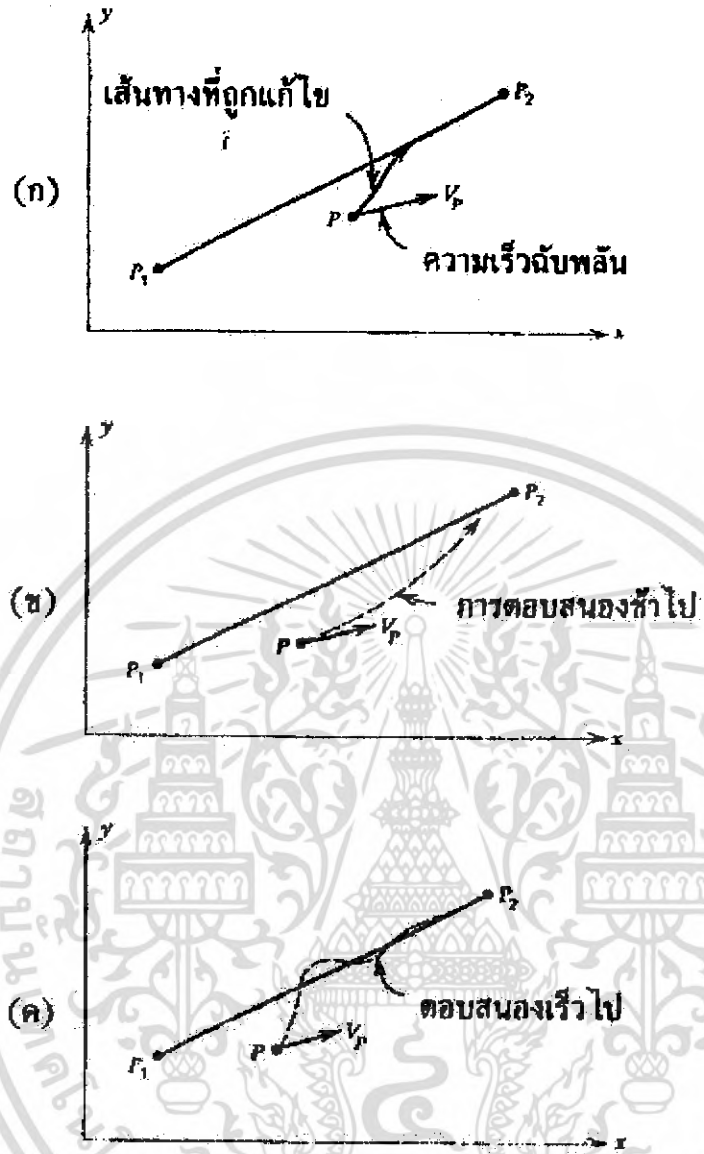
$$V_y / Vx \quad = \quad \tan \phi$$



รูปที่ 3.13 การแก้ไขทางเดินโดยใช้การควบคุมการติดตาม

ซึ่งจากรูปที่ 3.13 จุดใดๆในขณะนี้จะถูกแก้ไขเพื่อให้เคลื่อนตรงไปสู่จุดปลาย P_2 วิธีที่สองเรียกว่า การควบคุมเส้นทาง (Trajectory Control) ซึ่งเป็นวิธีที่พยายามนำตำแหน่งในขณะนี้ให้เข้าสู่ทางเดินอุดมคติ P_1P_2 ดังรูปที่ 3.14 (ก) การควบคุมเส้นทางจะให้รูปแบบของการแก้ไขทางเดินที่ดีได้ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าคุณลักษณะระบบควบคุมมีการเปลี่ยนแปลง จะเป็นสาเหตุที่ทำให้การกลับเข้าสู่ทางเดินที่ถูกต้องนั้นช้าหรือเร็วเกินไปดังรูปที่ 3.14 (ข) และ (ค) ในการที่จะรักษาทางเดินให้มีความเที่ยงตรงสูง วิธีการควบคุมการติดตามและการควบคุมเส้นทางจะถูกนำมาใช้เป็นระยะๆ ในเวลาน้อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 การแก้ไขทางเดินโดยใช้การควบคุมเส้นทาง

3.6 ความแตกต่างระหว่างระบบโพซิชั่นนิ่งและคอนทัวริ่ง

ความแตกต่างอย่างเห็นชัดระหว่างระบบ NC แบบโพซิชั่นนิ่งและแบบคอนทัวริงนั้นขึ้นอยู่กับการออกแบบและฟังก์ชั่นของหน่วยควบคุมเครื่องจักร ระบบคอนทัวริ่งจะประกอบด้วยวงจรคอมพิวเตอร์ทางเดินที่จะไม่พบในระบบโพซิชั่นนิ่งเป็นพันเท่า

ความแตกต่างที่สำคัญในด้านอื่น คือ การควบคุมแบบโพซิชั่นนิ่งนั้น ต้องใช้อุปกรณ์เซอร์โวที่มีกำลังค่อนข้างต่ำและการตอบสนองช้า แต่การควบคุมแบบคอนทัวริ่ง จะต้องใช้อุปกรณ์เซอร์โว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีกำลังสูง การตอบสนองเร็ว และเป็นในแกนสองแกนหรือเป็นเชิงเส้น คุณลักษณะเหล่านี้จะทำให้เกิดการควบคุมการเคลื่อนที่ไปในแกนสองแกนหรือมากกว่าได้อย่างเที่ยงตรง อย่างไรก็ตาม ปัจจัยเหล่านี้ ทำให้การควบคุมแบบคอนทัวริ่งนั้นราคาค่อนข้างสูง ซับซ้อน และยุ่งยากต่อการดูแลรักษามากกว่าระบบไพซิชั่นนิ่ง แต่ก็เป็นระบบที่มีความสามารถในการทำงานเป็นเส้นทางเดินได้ดี

3.7 การวิเคราะห์ระบบ NC

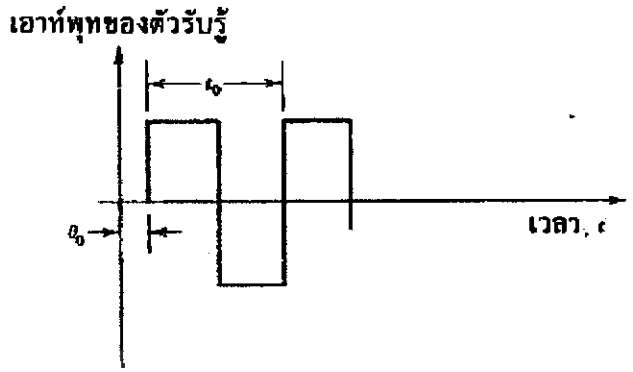
อุปกรณ์ระบบหลักๆของระบบ NC แต่ละชิ้นนั้น ควรจะวิเคราะห์แยกเป็นส่วนๆ เพราะการตบสนองทั้งหมดของระบบขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของอุปกรณ์เหล่านั้น ตัวขยายกำลัง เซอร์โวมิเตอร์ และสไลด์ของเครื่องมือกล (Machine Tool Slide) ซึ่งเรียกว่าชิ้นส่วนการขับเร้า ชิ้นส่วนเหล่านี้จะถูกควบคุมโดยสัญญาณอนาลอกซึ่งถูกจ่ายโดยระบบการกรอง (Filtering System) อันประกอบด้วยตัวจับความผิดพลาด (Error Detector) ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอบไปสู่อนาลอก และตัวขยายกำลัง ในขั้นสุดท้ายสัญญาณความผิดพลาดจะอยู่ในลูพป้อนกลับโดยผ่านทรานซดิวเซอร์ที่ติดอยู่กับเอาท์พุทของเซอร์โวมอเตอร์หรือที่สไลด์ของเครื่องมือกล ระบบดังกล่าวคือ ระบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.7

3.7.1 สัญญาณคำสั่งและตัวจับความผิดพลาด

สัญญาณคำสั่งสำหรับเครื่องจักรกล NC นั้นเป็นสัญญาณพัลซ์ซึ่งจะสอดคล้องกับรีโซลูชั่น (Resolution) ของความเที่ยงตรงในตำแหน่งของเครื่องจักรกล ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณพัลซ์ถูกสร้างขึ้นทุก ๆ 1/30,000 วินาที และความเที่ยงตรงในตำแหน่งคือ 0.002 มม.แล้ว อัตราการป้อนส่งสูงสุดจะเป็น 60 มม. /วินาที สัญญาณคำสั่งจะเข้าสู่ตัวจับเฟสต่าง(Phase Difference Detector) ซึ่งจะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณที่ป้อนเข้ามากับสัญญาณป้อนกลับของทรานซดิวเซอร์ด้วยลักษณะอย่างนี้จึงมีสัญญาณความผิดพลาดซึ่งจะถูกส่งผ่านไปยังวงจรกรอง

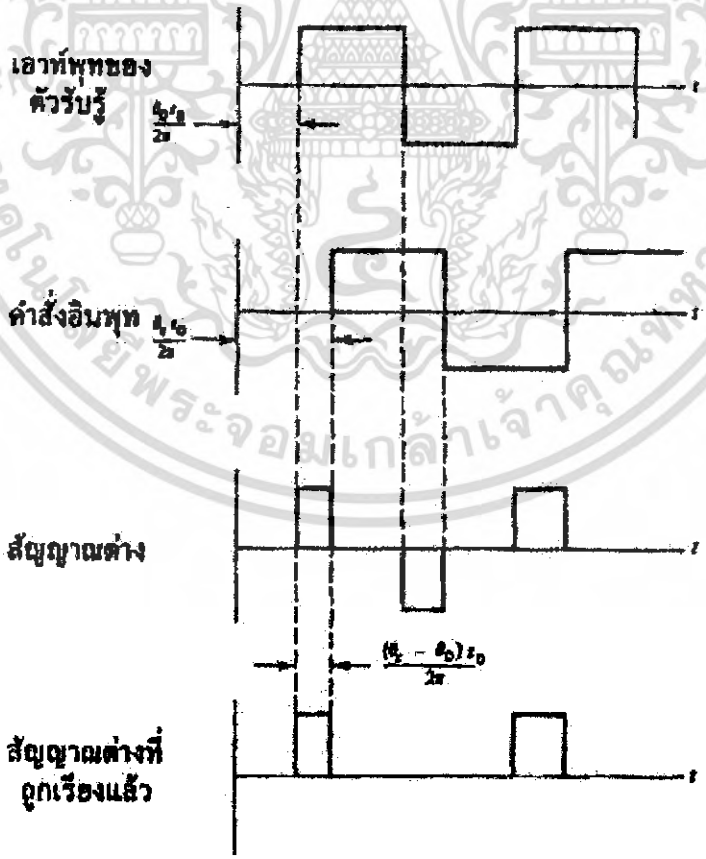
เอาท์พุทซึ่งเป็นตำแหน่งของเทเบิ้ลเครื่องจักรจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนรีโซลูชั่นที่ถูกกระทำโดยสกรูนำ(Lead Screw) ทรานซดิวเซอร์แบบหมุน (ในที่นี้คือรีโซลเวอร์ (Resolver)) ที่ถูกประกบติดบนสกรูนี้ จะผลิตสัญญาณที่อยู่ในรูป A sine ($\omega t + \theta_0$) โดยที่ ω เป็นความถี่คงที่และ θ_0 เป็นเฟสชิฟท์(Phase Ship) เอาท์พุทรูปไซน์นี้จะถูกแปลงไปสู่คลื่นจัตุรัสดังรูปที่ 3.15 ถ้าความถี่ของทรานซดิวเซอร์หมุนรอบเป็น ω = 200 เฮิร์ท ดังนั้น จากรูปจะได้ว่า t_0 = 1/200 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 เอาท์พุทของทรานซดิวเซอร์

คำสั่งทางด้านอินพุทจะถูกแปลงไปสู่คลื่นจัตุรัสด้วยความถี่ $\omega = 1/t_0$ และมีเฟสชิฟท์เป็น $\theta_c t_0/2\pi$ โดยที่ θ_c เป็นฟังก์ชั่นของคำสั่งตำแหน่งอินพุทดังรูปที่ 3.16 ตัวจับความต่างเฟสจะจับแต่ละสัญญาณ (นั่นคือสัญญาณคำสั่งและสัญญาณทรานซดิวเซอร์) แล้วผลิตคลื่นจัตุรัสผลต่างออกมา คลื่นจัตุรัสจะถูกเรียง(Rectified) เพื่อผลิตสัญญาณต่าง (Difference Signal)



รูปที่ 3.16 การสร้างสัญญาณต่างจากอินพุทที่เป็นสัญญาณพัลซ์อินพุทและสัญญาณทรานซดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณต่าง ๆ X (t) ที่ถูกเรียงแล้วนี้จะถูกป้อนเข้าสู่วงจรกรอง ให้วงจรกรองอันดับหนึ่ง ซึ่งมีฟังก์ชั่นถ่ายโอนอยู่ในรูป

$$G_f(S) = \frac{1}{1+\tau s}$$

โดยที่ τ เป็นค่าคงที่

เมื่อใช้วิธีของการแปลงลาปลาซ จะแสดงได้ว่าสำหรับอินพุทพัลซ์เดียว โดยที่ $\theta_c = 0$ และ θ_c นั้น จะได้เอาท์พุทจากตัวกรองเป็น

$$y_t = e^{-t/\tau}\left[e^{\theta_0 t_0/2\pi} - 1\right]$$

สำหรับค่า $t \geq \theta_0 \quad t_0/2\pi$

เนื่องจากพัลซ์แต่ละพัลซ์จะผลิตเอาท์พุทที่เท่ากับ $y_t(t)$ ดังนั้น

$$y_n(t) = \sum_{k=0}^{n-1} e^{-(1+kt_0)/\tau}\left[e^{\theta_0 t_0/2} - 1\right] \qquad (3.16)$$

โดยที่ $y_n(t)$ เป็นการตอบสนองต่อพัลซ์ตามลำดับถึง n

เอาท์พุทที่อยู่ในรูปของฟังก์ชั่นของพัลซ์ n พัลซ์ สามารถเขียนได้อยู่ในรูปทั่วไป ดังนี้

$$y_n(nt_0) = \frac{1-e^{-\theta_0 t_0/2\pi\tau}}{1-e^{t_0/\tau}}\left[1-e^{-nt_0/\tau}\right] \qquad (3.17)$$

ระบบส่วนมากค่าของ θ_0 และ t_0 จะมีค่าน้อยกว่า τ มาก ดังนั้น สมการ (3.17) จึงใหม่ได้เป็น

$$y_n(nt_0) = \frac{\theta_0}{2\pi}\left[1-e^{-nt_0/\tau}\right] \qquad (3.18)$$

โดยที่ $\theta_0/2\pi$ เป็นแกนของระบบ

เนื่องจากการเพิ่มของ t_0 นั้นน้อย จึงเขียนสมการ (3.18) เป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่องได้ดังนี้

$$y_{(t)} = \frac{\theta_0}{2\pi}\left[1-e^{-t/\tau}\right] \qquad (3.19)$$

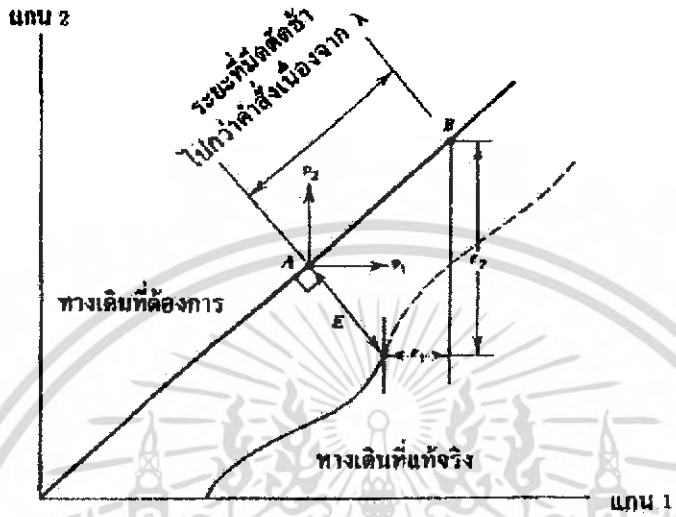
สมการ (3.19) เป็นสมการการตอบสนองต่อเวลาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้ถูกอธิบายอย่างแจ่มแจ้งโดยผ่านสมการ(3.15)

3.7.2 ความผิพลาดแพทเทิร์นในระบบคอนทัวริ่ง

ความผิดพลาดแพทเทิร์น (Pattern Errors) จะปรากฏเมื่ออุปกรณ์เซอร์โวที่ควบคุมแกนต่าง ๆ ของเครื่องจักรกล NC นั้นเข้ากันไม่ดี (Mismatched) เพียงเล็กน้อย ซึ่งหมายความว่าอุปกรณ์เซอร์โวนั้นมีฟังก์ชั่นถ่ายโอนหรือคุณลักษณะของเกนต่างออกไปเล็กน้อย ณ เวลาที่กำหนดให้ ความผิดพลาดแพทเทิร์นมีนิยามว่า เป็นระยะทางที่น้อยที่สุดระหว่างคอนทัวที่ถูกตัดกับคอนทัวร์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

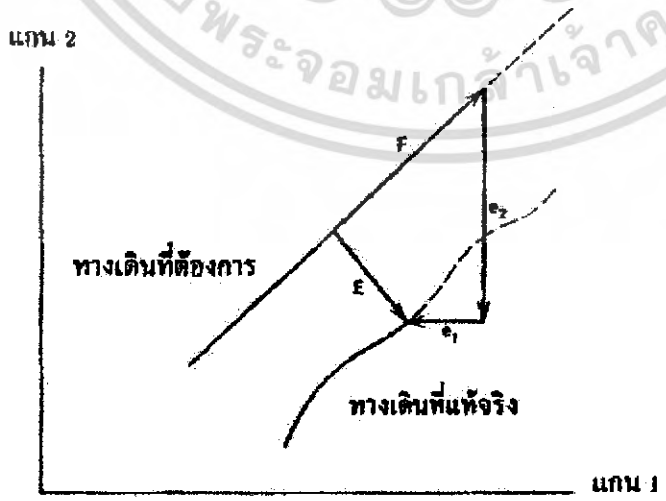
สมมติให้มีเส้นตรงเส้นหนึ่งที่ต้องการตัด เส้นตรงเส้นนี้อยู่บนระนาบใด ๆ ระนาบหนึ่งมีองค์ประกอบความเร็วสำหรับอัตราการป้อนส่ง นั้นเป็น ϑ_1 และ ϑ_2 ตามแกน 1 และแกน 2 ตามลำดับ และมีความผิดพลาดเซอร์โวที่สถานะคงตัว ตามแกนเป็น e_1 และ e_2 ตามลำดับ ความผิดพลาดแพทเทิร์นจะถูกกำหนดได้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ความผิดพลาดแพทเทิร์นในระบบสองแกน

ในการที่จะคำนวณหาความผิดพลาดแพทเทิร์น E สำหรับกรณีสองมิตินั้น จะต้องพิจารณาถึงการช้าไปซึ่งมีสัญลักษณ์ว่า λ ก่อน การช้าไปหมายถึง ความแตกต่างระหว่างตำแหน่งจริงกับตำแหน่งคำสั่ง องค์ประกอบของเวคเตอร์ของทางเดินนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.18 จากรูปจะได้ว่า

$$E = F+e_1+e_2$$



รูปที่ 3.18 นิยามเวคเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ความผิดพลาดแพทเทิร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากทิศทางเดินนั้นมีองค์ประกอบความเร็วเป็น ϑ_1 และ ϑ_2 นั่นคือ

$$F = (\lambda v_1, \lambda v_2)$$

โดยที่ ($\lambda\ \vartheta_1$, $\lambda\ \vartheta_2$) แทนองค์ประกอบสกาลาร์ ของแกนที่ 1 และแกนที่ 2 สำหรับค่าน้อยที่สุดของความผิดพลาดแพทเทิร์นแล้ว E = 0 ดังนั้น จากสมการ

$$0 = \lambda^2(v_1^2 + v_2^2) - \lambda v_1 e_1 - \lambda v_2 e_2$$

แล้วแก้สมการหาค่า λ ซึ่งจะได้ว่า

$$\lambda = \frac{e_1 v_1 + e_2 v_2}{v_1^2 + v_2^2} \qquad (3.21)$$

จากรูปที่ 3.18 จะเห็นว่า

$$E = (\lambda v_1 - e_1, \lambda v_2 - e_2)$$

แทนสมการ (3.12) ลงในสมการข้างบน จะได้แมกนิจูดของความผิดพลาดแพทเทร์นในสองมิติเป็น

$$E = \left(\frac{e_1 v_1^2 + e_2 v_1 v_2}{v_1^2 + v_2^2} - e_1, \frac{e_1 v_1 v_2 + e_2 v_2^2}{v_1^2 + v_2^2} - e_2 \right)$$

หรือ

$$E = \frac{|v_2 e_1 - v_1 e_2|}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}} \qquad (3.23)$$

นอกจากนี้ เมื่อเป็นระบบมิติ n แล้ว ความผิดพลาดแพทเทิร์นเขียนได้ข้างล่างนี้

$$E = \left\{ \sum_{j=1}^{n} \left[\frac{v_j \sum_{i=1}^{n} e_i v_i - e_j \sum_{i=1}^{n} v_1}{\sum_{i=1}^{n} v_1^2} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

ในกรณีของความผิดพลาดเซอร์โว นั้น มีวิธีการคำนวณหาดังนี้ คือ ในระบบเชิงเส้น ความผิดพลาดเซอร์โวจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการป้อนส่งในแนวแกนแต่ละแกนนั่นคือ

$$\ell_1 = g_1 v_1 ; \ell_2 = g_2 v_2$$

โดยที่ g_1 และ g_2 เป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอน (เกน) ของอุปกรณ์เซอร์โว ดังนั้น จากสมการ (3.22) จะได้ว่า

$$E = \frac{| v_2 g_1 v_1 - v_1 g_2 v_2 |}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}}$$

$$E = \frac{| v_1 v_2 |}{\sqrt{v_1^2 + v_2^2}} |g_1 - g_2| \qquad (3.24)$$

ถ้าอัตราการป้อนส่งสูงสุดเป็น V_{max} แล้วความผิดพลาดแพทเทิร์นสูงสุดจะปรากฏเมื่อ $\vartheta_1 = \vartheta_2 = V_{max}$ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{max} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}|g_1 - g_2|$$

และเมื่อกำหนดให้ความผิดพลาดนั้นไม่มากกว่า Emax จะได้ว่า

$$|g_1 - g_2| \le \frac{\sqrt{2}E_{max}}{V_{max}} \qquad (3.25)$$

ถ้าค่าเกนเฉลี่ยของอุปกรณ์ในแต่ละแกนเป็น g แล้ว ดังนั้น การเบี่ยงเบนสูงสุด(maximum deviation) จากค่าปกติจึงเป็น Δg และจากสมการข้างบน กำหนดให้

$$|g_1 - g_2| = (g_1 - g) - (g_2 - g) = 2\Delta g$$

แล้ว สมการ (3.25) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{E_{max}}{gV_{max}\sqrt{2}} \qquad (3.26)$$

และแสดงความต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ในรูปของฟังก์ชั่นของความผิดพลาดแพทเทิร์น

สมมติให้ความผิดพลาดแพทเทิร์นมากที่สุดเป็น 0.002 มม.สำหรับค่าอัตราการป้อนส่งสูงสุด 1 mpm ค่าเกนเป็น 1/60 วินาที ดังนั้นจากสมการ (3.26) จะได้

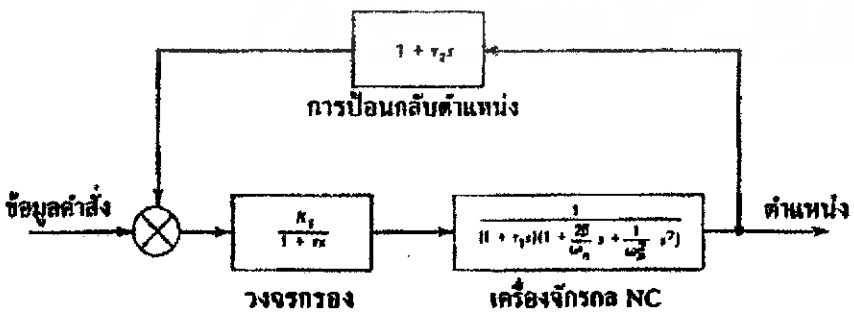
$$\frac{\Delta g}{g} = 0.005$$

ซึ่งมีความหมายว่า แกนสองแกนจะต้องมีคุณลักษณะที่เข้ากันได้ดีภายความเที่ยงตรงที่มีค่าเท่ากับ 0.50 เปอร์เซ็นต์

3.7.3 สมรรถนะระบบและค่าคงที่เวลา τ

ในที่นี้จะพิจารณาความไม่เป็นอิสระของสมรรถนะระบบ ที่มีต่อค่าของค่าคงที่เวลาของวงจรกรอง จากรูปที่ 3.19 บล็อกของเครื่องมือกล NC (ซึ่งหมายถึงตัวขยายกำลัง อุปกรณ์การขับเร้าและการป้อนกลับความเร็ว) จะมีฟังก์ชั่นถ่ายโอนเป็น

$$G_{nc}(s) = \frac{1}{(1+\tau_1 s)(1+\frac{2\beta}{\omega_n}s+\frac{1}{\omega_n^2}s^2)} \qquad (3.27)$$



รูปที่ 3.19 บล็อกไดอะแกรมระบบ NC พร้อมด้วยฟังก์ชั่นถ่ายโอน

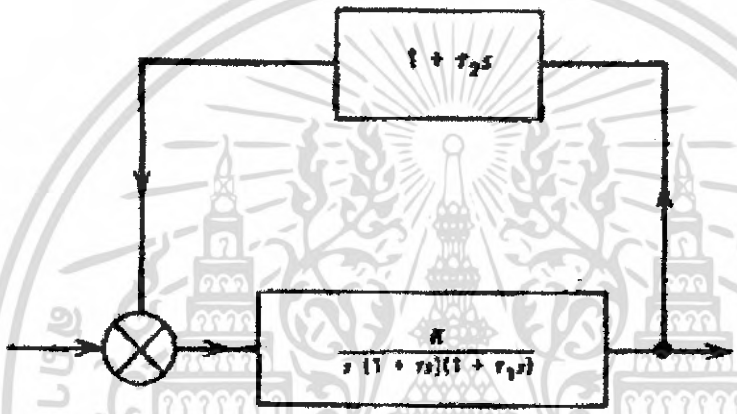
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ω_n เป็นความถี่ธรรมชาติของระบบ τ_1 เป็นค่าคงที่ของอุปกรณ์ และ β_1 เป็นค่าของความหน่วง (Damping)

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงจรกรองนั้นจะได้จากสมการ (3-15) ส่วนฟังก์ชั่นถ่ายโอนของลูพป้อนกลับตำแหน่งจะเป็น $G_t(s) = 1+\tau_2 s$

โดยที่ τ_2 เป็นค่าคงที่ของทรานซดิวเซอร์

เนื่องจากเทอมอันดับสองในสมการ (3.27) มีผลกระทบต่อสมรรถนะระบบน้อยมาก ดังนั้นจึงอาจตัดเทอมนี้ทิ้งได้ รูปบล็อกไดอะแกรมที่ทำให้ง่ายแล้วจึงแสดงได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 บล็อกไดอะแกรมของระบบ NC ที่ทำให้ง่ายลงแล้ว

จากรูปที่ 3.20 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนลูพเปิดของระบบจึงเขียนได้เป็น

$$G_L(s) = \frac{K(1+\tau_2 s)}{s(1+\tau s)(1+\tau_1 s)}$$

โดยที่ K เป็นค่าคงที่รวม

เมื่ออินพุทเป็นรูปไซน์ จะเขียนสมการข้างบนได้ดังนี้

$$G_L(s) = \frac{K(1+j\omega\tau_2)}{j\omega(1+j\omega\tau)(1+j\omega\tau)} \qquad (3.28)$$

จากสมการ (3.28) จะเห็นได้ชัดเจนว่า สำหรับค่าใดของความถี่ ω นั้น ค่าของฟังก์ชั่นถ่ายโอนและค่าของเกนในลูพลดลงในขณะที่ค่าคงที่เวลา τ เพิ่มขึ้น

ค่าคงที่เวลาวิกฤติ (Critical Time Constant) τ_c ถูกนิยามไว้ในรูปค่าคงที่เวลา τ เมื่อ $G_t(j\omega)$

เป็น 1 เนื่องจากแมกนิจูดของ $G_t(s)$ สามารถถูกเขียนได้ในค่าสัมบูรณ์เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{K|1+j\omega\tau_2}{\omega|1+j\omega\tau_c|\bullet|1+j\omega\tau_1|}=1$$

และค่าคงที่เวลาวิกฤติ คือ

$$\tau_c=\frac{1}{\omega}[\frac{(1+\tau_2^2\omega^2)K^2}{(1+\tau^{\frac{2\omega^2}{1}})\omega^2}-1]^{1/2} \qquad (3.29)$$

เนื่องจากอินพุทเป็นไซน์ ดังนั้น จึงเขียนเอาท์พุทอยู่ในรูปดังต่อไปนี้ได้

$$y(t)=G_L(\omega,\tau)C\sin(\omega t+\theta)$$

โดยที่ G_i เป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอน และ C เป็นค่าคงที่ ดังนั้น เอาท์พุทของระบบจึงขึ้นอยู่กับโฟความถี่และค่าคงที่เวลาของวงจรกรอง ถ้าค่าของ τ เพิ่มขึ้น การตอบสนองของระบบจะช้าลง

3.7.4 แบนด์วิดท์ของระบบความผิดพลาดของมุม

แบนด์วิดท์หมายถึงพิสัยความถี่ที่ระบบตอบสนองอินพุทที่ป้อนเข้ามา เมื่อค่าคงที่เวลา τ เพิ่มขึ้น แบนด์วิดท์ของระบบจะลดลง ถ้าระบบมีแบนด์วิดท์แคบ จะทำให้เครื่อง NC ไม่สามารถทำงานมุมฉากได้ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.21

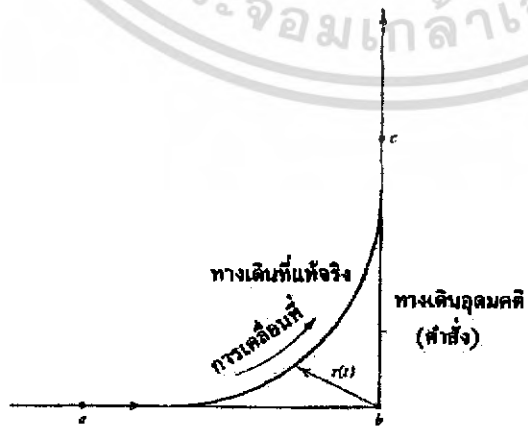
ฟังก์ชั่นถ่ายโอนลูพปิดของแต่ละแกนของเครื่องมือกล NC สามารถประมาณได้เป็น

$$G_{CL}(s)\approx\frac{1}{1+s/B}$$

ซึ่งมีรูปของการแปลงลาปลาซเป็น

$$L^{-1}=L^{-1}[G_{CL}(s)]=L^{-1}\left[\frac{1}{1/B(s-(-B))}\right]=Be^{-Bt} \qquad (3.30)$$

การหาความผิดพลาดของมุม r ซึ่งอยู่ในเทอมของแบนด์วิดท์ B จะดำเนินหาได้โดยการพิจารณาทางเดินอุดมคติ abc ในรูปที่ 3.21 ซึ่งมีคัดเคลื่อนที่ด้วยอัตราการป้อนส่ง F ไปในทิศทางดังรูป นั่นคือ



รูปที่ 3.21 ความผิดพลาดของมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t \prec 0; X_c(t) = Ft\,,\ y_c(t) = 0$$

$$t \geq 0; X_c(t) = 0\,,\ y_c(t) = Ft \qquad (3.31)$$

โดยที่ t เป็นบวก ณ จุดของเปลี่ยนแปลงทิศทาง

คู่ลำดับทางเดินที่แท้จริงซึ่งหมายถึงการตอบสนองของระบบ จะอยู่ในรูปของเอ็กซ์โพเนนเชียลอันขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นถ่ายโอนในสมการ (3.30) ดังนั้น ที่เวลา $t = \geq 0$ จะได้

$$X_a(t) = \frac{F}{B}\ell^{-Bt}$$

$$Y_a(t) = F[t - \frac{1}{B}(1 - \ell^{-Bt})] \qquad (3.32)$$

ในการพิจารณาความผิดพลาดน้อยที่สุดนั้น จะคำนวณจาก

$$r(t) = \{[X^2_a(t) + y^2_a(t)]^{1/2}\}\min$$

เมื่อใช้สมการ (3.32) แล้ว จะเขียนสมการแสดงค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดได้ว่า

$$r(t)_{min} = \frac{R}{B}\{[\ell^{-2bt} + (Bt - 1 + \ell^{-Bt})^2]^{1/2}\}\min$$

จะพบว่า ค่าที่น้อยที่สุดของปริมาณในวงเล็บสำหรับค่าใด ๆ ของ B นั้น เป็น1/2 ดังนั้นความผิดพลาดของมุมน้อยที่สุดสำหรับเครื่อง NC ซึ่งมีความกว้างแถบเป็นB นั้นคือ

$$r \approx \frac{F}{2B} \qquad (3.33)$$

ความผิดพลาดของมุมนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปทั่ว ๆ ไป กว่าที่กล่าวมาแล้วได้ โดยพิจารณาคุณลักษณะของเซอร์โวแต่ละชิ้นแยกกัน การพัฒนาหานั้น จะสมมติว่า

1. แรงที่ถูกจ่าให้กับเซอร์โวมอเตอร์จะต้องไปเร่งอุปกรณ์ชิ้นส่วนของเครื่องกลได้ และจะต้องชนะความเสียดทานได้
2. ความช้าไปของเครื่องมือตัดจะต้องแปรผันโดยตรงกับแรงชั่วครู่

จากข้อสมมติแรก จะเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้ว่า

$$M\frac{d^2x}{dt^2} = F_x - k_t\frac{dx}{dt}$$

$$M\frac{d^2y}{dt^2} = F_y - k_t\frac{dx}{dt} \qquad (3.34)$$

โดยที่ M มวล ของเครื่องมือกล และ k_t เป็นค่าคงที่รวมทั้งความหน่วงของเซอร์โว สำหรับข้อสมมติข้อที่สอง จะเขียนได้ว่า

$$F_x = k_s(x_c - x)$$

$$F_y = k_s(y_c - y) \qquad (3.35)$$

โดยที่ k_s เป็นค่าคงที่เซอร์โว และ X_c, Y_c เป็นค่าคู่ลำดับของคำสั่งตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการวิเคราะห์นี้จะพิจารณาที่มุม θ ใด ๆ จึงสามารถเขียนคำสั่งตำแหน่งที่เทียบต่อเวลาได้ดังนี้

$$\left.\begin{aligned} X_c(t) &= Ft\cos\theta \\ Y_c(t) &= Ft\sin\theta \end{aligned}\right\} \quad t \geq 0 \qquad (3.36)$$

เมื่อใช้สมการ (3.34) ถึงสมการ (3.36) จึงเขียนตำแหน่งมีดตัดที่แท้จริงในรูปทั่ว ๆ ไปได้ ดังต่อไปนี้

$$X_a(t) = \ell^{C_1 t}[k_1\cos C_2 t + k_2\sin C_2 t] + F(t-\frac{k_f}{k_s})\cos\theta$$

$$Y_a(t) = \ell^{C_1 t}[k_1\cos C_2 t + k_2\sin C_2 t] + F(t-\frac{k_f}{k_s})\sin\theta \qquad (3.37)$$

โดยที่ C_1, C_2 และ k_i, I = 1 ถึง 4 เป็นค่าคงที่

สมการ (3.37) เป็นสมการที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรกลที่แท้จริง ในสมการเหล่านี้ ค่าคงที่เวลาของระบบถูกแสดงอยู่อย่างไม่เด่นชัด (simplicity) ในค่าคงที่เซอร์โว k_s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ทฤษฎีเครื่องซีเอ็นซี

4.1 บทนำ

เครื่องจัดซีเอ็นซีเป็นเครื่องจักรที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงาน ซึ่งมีหลายรูปแบบแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งาน เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องคว้าน เครื่องตัดเจาะต่าง ๆ เป็นต้น โดยเครื่องจักรแบบนี้มีลักษณะเด่นอยู่ว่าจะทำงานตามโปรแกรมสั่งงานที่ตั้งไว้และยังสามารถทำการแก้ไขปรับเปลี่ยนโปรแกรม เพื่อสร้างชิ้นงานในลักษณะต่าง ๆ กันออกมาได้โดยง่าย โดยอาศัยเครื่องจักรตัวเดิม ไม่ต้องออกแบบตัวเครื่องจักรใหม่ เพียงแต่ปรับเปลี่ยนโปรแกรมการทำงานเท่านั้น ทำให้มีความสะดวกในการทำงานเพิ่มมากขึ้นและยังสามารถทำชิ้นงานที่เหมือนๆ กันออกมาได้ตามจำนวนที่ต้องการ ในเวลาที่สามารถกำหนดได้ เป็นการประหยัดทั้งเวลาการทำงาน และ แรงงานในการทำงาน และโปรแกรมการทำงานยังเป็นเสมือนการจัดเตรียมการทำงานเป็นขั้นตอน เป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ และยังเป็นการช่วยลดเวลาในการผลิต เช่น ลดเวลาในการตรวจสอบชิ้นงาน ลดเวลาในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบในการทำงาน ทำให้มีความถูกต้องแม่นยำในการทำงานสูงมากขึ้น

รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องกัดแนวดิ่งซีเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างเครื่องจักรกลทั่วไป กับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

ลำดับที่	รายละเอียด	เครื่องจักรกลทั่วไป	เครื่องจักรกลซีเอ็นซี
1	การป้อนโปรแกรม	ไม่มี	มี
2	การจับยึดชิ้นงาน	มือ	มือ
3	การจับยึดเครื่องมือตัด	มือ	มือหรือชุดควบคุม
4	การตั้งจุดอ้างอิง	มือ	มือ
5	การตั้งความเร็วรอบ	มือ	ระบบควบคุม
6	การเลื่อนแท่นเลื่อน	มือหมุน	ระบบควบคุม
7	การเปรียบเทียบระยะ	สายตา	ระบบควบคุม
8	การตรวจสอบขนาด	เครื่องมือวัด	ใช้เวลาน้อยกว่า

ข้อดีและข้อเสียของเครื่องจักรกลซีเอ็นซี

ข้อดีของเครื่องซีเอ็นซี

1. มีความยืดหยุ่นสูง การเปลี่ยนงานใหม่จะแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเฉพาะโปรแกรมเท่านั้น
2. มีความเที่ยงตรง (Accuracy) จะอยู่ในระดับเดียวกันตลอดช่วงความเร็วรอบและอัตราป้อนที่ใช้ในการผลิต
3. ใช้เวลาในการผลิตสั้นกว่า
4. สามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนได้ง่าย
5. การปรับตั้งเครื่องจักรกระทำได้ง่ายกว่า ใช้เวลาน้อยกว่าการผลิตด้วยวิธีอื่นๆ
6. หลีกเลี่ยงความจำเป็นที่ต้องใช้ช่างควบคุมที่มีทักษะและประสบการณ์สูง
7. ช่างควบคุมมีเวลาว่างจากการควบคุมเครื่อง สามารถที่จะจัดเตรียมงานอื่นๆไว้ล่วงหน้าได้
8. การตรวจสอบคุณภาพไม่จำเป็นต้องกระทำทุกขั้นตอนและทุกชิ้นงาน

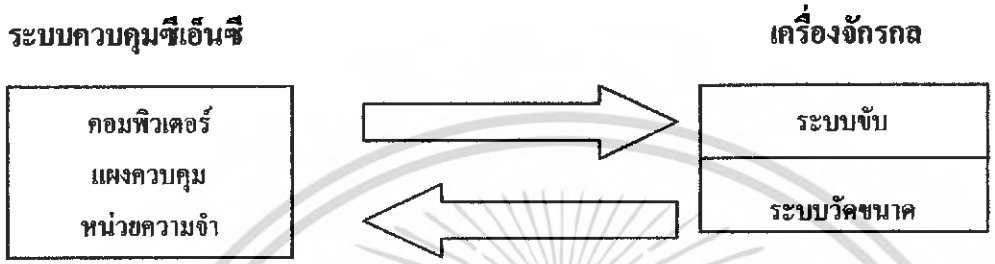
ข้อเสียของเครื่องจักกลซีเอ็นซี

1. ราคาเครื่องจักรค่อนข้างสูง
2. การบำรุงรักษาค่อนข้างซับซ้อน
3. การซ่อมบำรุงต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์สูงและผ่านการฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
4. จำเป็นต้องใช้ช่างเขียนโปรแกรม (Part Programmer) ที่มีทักษะสูงและฝึกอบรมมาโดยเฉพาะ
5. ราคาของเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการกระบวนการตัดเฉือน เช่น แกนเพลายึดใบมีด มีดกลึงแบบใช้อินเสิร์ต เป็นต้น มีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนควบคุม

ในระบบซีเอ็นซีจะมีคอมพิวเตอร์อยู่ในระบบ ซึ่งเป็นตัวเก็บข้อมูลโปรแกรมต่างๆ และยังเป็นตัวประมวลผลควบคุมเครื่องจักรกลอีกด้วย ทำให้ช่างควบคุมเครื่องสามารถเขียนโปรแกรมได้ด้วยตนเองและยังสามารถแก้ไขโปรแกรมหลังจากป้อนเข้าไปในระบบควบคุมเครื่องได้



รูปที่ 4.2 แสดงระบบควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี

ในส่วนของการควบคุมในเครื่องซีเอ็นซีจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การควบคุมการเคลื่อนที่ของแนวแกนต่างๆ ให้เครื่องมือเคลื่อนที่ตามรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงาน และควบคุมหน้าที่ของเครื่องจักรกล (Control of Machine Function) เช่น การควบคุมระบบหล่อเย็นการเปิดสัญญาณไฟแสดงการทำงานเครื่อง เป็นต้น

4.3 ส่วนโปรแกรมสั่งงานเครื่องจักร

ระบบควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซี จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจักรกลทำงานตามขั้นตอนต่างๆที่กำหนดไว้ การที่เครื่องจักรกลเหล่านี้จะทำงานได้ จะต้องมีโปรแกรมที่ช่างควบคุมเครื่องหรือช่างเขียนโปรแกรมเข้าไประบบควบคุม และเรียกโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปในระบบว่าโปรแกรมเอ็นซี จากนั้นระบบจะอ่านโปรแกรมเอ็นซีและเปลี่ยนข้อมูลเหล่านี้ให้เป็นสัญญาณควบคุมเครื่องจักรกล การสร้างโปรแกรมซีเอ็นซีจะมีรูปแบบที่ถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานไว้แล้ว

โปรแกรมเอ็นซีจะเป็นการกำหนดขั้นตอนการตัดเฉือนทั้งหมด ต่างๆของเครื่องจักรไว้พร้อมด้วยเงื่อนไงการทำงานอื่นๆ เช่น อัตราการป้อน ความเร็วรอบของเพลางาน เป็นต้น หลังจากที่โปรแกรมเอ็นซีถูกป้อนเข้าไปในระบบควบคุมแล้ว จะสามารถที่จะนำมาใช้ในการตัดเฉือนงานได้หลายๆครั้งตามที่ต้องการ

ถ้าเมื่อไหร่ที่มีความต้องการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมให้เหมาะสม ในระบบควบคุมซีเอ็นซีก็สามารถทำได้ด้วยช่างควบคุมเครื่องโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.3 คำสั่งโปรแกรมเอ็นซีเขียนว่า เคลื่อนที่เร็วไปยังจุด X=40, Y=50, Z=20 จะทำให้มอเตอร์ขับในแกน X, Y และZ เริ่มทำงานจะทำไปจนกว่าจะเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนด

โปรแกรมเอ็นซี ประกอบไปด้วย คำสั่งเป็นบรรทัดต่อๆกัน เรียก แต่ละบรรทัดว่า บล็อกซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมขึ้นตามขั้นตอนการตัดเฉือนที่กำหนดไว้รวมกันนั้นเอง

โปรแกรมบล็อก จะแบ่งออกได้โดยการใช้หมายเลขบล็อก เช่น N10 N20 N30 เป็นต้น

ภาษาโปรแกรมเอ็นซี จะเป็นบล็อกที่ประกอบด้วยคำ หลายๆคำรวมกัน คำเหล่านี้จะประกอบขึ้นจากตัวอักษรหรือสัญลักษณ์กับตัวเลขรวมเลขรวมกัน

รูปที่ 4.3 แสดงโปรแกรมบล็อกที่ประกอบด้วยคำ 7 คำ

คำที่ใช้ใน โปรแกรมบล็อกอาจจะทำหน้าที่เป็นคำสั่ง หรือ เป็นเงื่อนไขเสริมสำหรับการทำงานก็ได้ ขึ้นอยู่กับตัวอักษรและตัวเลขที่กำกับอยู่ ตัวอักษรคำสั่งที่มีความสำคัญมาก คือ G คำสั่ง G (G00-G99) ส่วนมากจะเป็นคำสั่งเกี่ยวกับการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

ส่วนอักษรที่ใช้สำหรับเงื่อนไขเสริมที่สำคัญได้แก่

X, Y, Z : ข้อมูลโคออร์ดิเนท

F : อัตราการป้อน

S : ความเร็วรอบของเพลางาน

ในการเขียนภาษาโปรแกรมสำหรับระบบควบคุมซีเอ็นซีผู้ผลิตจะระบุดังนี้

- คำสั่งที่สามารถใช้โปรแกรมได้มีอะไรบ้าง
- การทำงานเสริมด้านใดบ้างที่สามารถใช้ร่วมกับคำสั่งแต่ละคำ
- ตัวอักษรและตัวเลขใดบ้างที่ใช้เขียนเป็นคำสั่งและการทำงานเสริม

เมื่อโปรแกรมควบคุมได้ถูกป้อนเข้าไปในระบบควบคุมแล้ว ระบบควบคุมจะทำการตรวจสอบว่าการเขียนโปรแกรมนั้นเป็นไปตามกฎหรือไม่ ส่วนการป้อนข้อมูลโคออร์ดิเนทที่ไม่ถูกต้องโดยช่างเขียนโปรแกรมจะตรวจสอบพบเมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ชุดคำสั่งควบคุมเครื่องจักรที่ใช้ในโครงงาน

ชุดคำสั่ง G (G-Code)

ชุดคำสั่ง G –Code ที่ใช้ในโครงงานเป็นชุดคำสั่งที่เป็นพื้นฐานบางส่วน โดยนำมาจากเครื่อง Boxford DUET มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 4.2 แสดงชุดคำสั่ง G ที่มีใช้ในโปรแกรม

คำสั่ง	ความหมาย
G00	เข้าสู่ตำแหน่งที่กำหนดอย่างรวดเร็ว
G01	กัดงานเป็นเส้นตรง
G02	กัดงานเป็นแนวเส้นโค้งตามเข็มนาฬิกา CW
G03	กัดงานเป็นแนวเส้นโค้งทวนเข็มนาฬิกา CWW
G04	หยุดชั่วขณะหนึ่ง
G70	ป้อนหน่วยเป็นนิ้ว
G71	ป้อนหน่วยเป็นมิลลิเมตร
G90	โปรแกรมแบบคิดระยะจุดแรกไปยังจุดสุดท้าย (Absolute)
G91	โปรแกรมแบบคิดระยะจุดแรกไปถึงอีกจุดหนึ่ง (Incremental)

รายละเอียดเกี่ยวกับ G-Code

1. คำสั่ง G00 เป็นการเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งอย่างรวดเร็ว
   รูปแบบ G00 X _Y_Z_
2. คำสั่ง G01 เป็นการตัดตามระยะทางที่เป็นเส้นตรง เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่กำหนดด้วยความเร็วตาม Feed Rate ซึ่งการกำหนดตำแหน่งจะขึ้นกับว่าเป็น G91 หรือ G90
   รูปแบบ G01 X _Y_Z_
3. คำสั่ง G02, G03 ตัดตามแนวเส้นโค้งตามเข็นนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาตามลำดับ
   รูปแบบ G02 X _Y_Z_I_J_K_F_
   G03 X _Y_Z_I_J_K_F_

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ X, Y เป็นจุดปลายของการเคลื่อนที่ และค่า I, J เป็นจุดศูนย์กลางของการเคลื่อนที่

4. คำสั่ง G04 เป็นคำสั่งให้หยุดการทำงานชั่วขณะหนึ่งตามเวลา หน่วยเป็นวินาที
   รูปแบบ G04 P_ (0.001 sec – 999.999 sec)
5. คำสั่ง G70 เป็นการกำหนดการป้อนหน่วยเป็นนิ้ว
   รูปแบบ G70
6. คำสั่ง G71 เป็นการกำหนดการป้อนหน่วยเป็นมิลลิเมตร
   รูปแบบ G71
7. คำสั่ง G90 เป็นการกำหนดการคิดระยะทางแบบเทียบกับจุดอ้างอิง
   รูปแบบ G90
8. คำสั่ง G91เป็นการกำหนดการคิดระยะทางแบบคิดระยะจุดต่อจุด
   รูปแบบ G91

ชุดคำสั่ง M (M Function)

ชุดคำสั่ง M ใช้ควบคุม Cutter หรือ Spindle ชุดคำสั่งที่ใช้ในโครงงานได้แก่

ตารางที่ 4.3 แสดงชุดคำสั่ง M (M Function)

คำสั่ง	ความหมาย
M02	จบโปรแกรม
M03	ให้ Cutter หมุนตามเข็มนาฬิกา
M04	ให้ Cutter หมุนทวนเข็มนาฬิกา
M05	ให้ Cutter หยุดหมุน

นอกจากชุดคำสั่ง G และ M แล้วยังมีคำสั่งย่อยซึ่งใช้รวมกับชุดคำสั่ง G และ M ได้แก่

คำสั่ง F (F Function)

เป็นคำสั่งกำหนดความเร็วของการกัด (Cutting Feed Rate) ซึ่งค่าป้อนจะเป็น inch/min หรือ mm. /min

คำสั่ง S (Spindle Speed Function)

เป็นคำสั่งกำหนดความเร็วของการหมุน Spindle มีหน่วยเป็น RPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวัดระยะการเคลื่อนของตำแหน่งของเครื่องมือ

ในระบบซีเอ็นซีการวัดระยะการเคลื่อนที่ของตำแหน่งเครื่องมือ ต้องการการวัดการเคลื่อนที่ที่มีความเที่ยงตรงตลอดแนวแกนป้อน จะต้องต่อระบบขับป้อนเข้ากับอุปกรณ์วัดที่เหมาะสม อุปกรณ์การวัดมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ สเกลแบบรหัส (Code Measuring Scale) และ *สเกลแบบช่อง (Division Grid)* การใช้สเกลทั้ง 2 ชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับวิธีวัดตำแหน่ง (Position Measurement) วิธีการวัดตำแหน่งที่ใช้ทั่วไปมี 2 วิธีคือ การวัดค่าตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Position Measurement) กับการวัดตำแหน่งอย่างต่อเนื่องหรือแบบลูกโซ่ (Incremental or Chain Measurement)

4.5.1 การวัดตำแหน่งสัมบูรณ์

การวัดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์เป็นการวัดค่าตำแหน่งต่างๆที่สามารถวัดค่าได้ตลอดเวลาเป็นอิสระจากสถานะของเครื่องและระบบควบคุมและค่าที่วัดที่ได้นี้ จะอ้างอิงจากจุดศูนย์อ้างอิง (Fixed Zero Datum) เสมอ

4.5.2 การกำหนดตำแหน่งส่วนเพิ่ม

เป็นการวัดตำแหน่งแบบต่อเนื่อง ตัวสเกลจะแบ่งเป็นช่องอย่างง่าย โดยแต่ละช่องจะมีพื้นที่มืดสว่างสลับกันไป ในการวัดตำแหน่งเป็นการเพิ่มหรือลดขนาดของความยาวในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่วัดอยู่ในระหว่างการเคลื่อนที่ของแท่นเลื่อน ระบบควบคุมจะทำการนับจำนวนช่องที่แบ่งที่แท่งเลื่อนได้เคลื่อนที่ไป แล้วนำค่าไปคำนวณหาตำแหน่งที่แตกต่างจากตำแหน่งเดิมเป็นตำแหน่งสุดท้ายของแท่นเลื่อนเสมอ

รูปแบบการทำงานของเครื่องมือ

การทำงานของเครื่องมือสามารถทำงานแบบ 2 มิติและแบบ 3 มิติได้ ดังแสดงในรูป 2.17 การทำงานแบบ 2 มิติ คือ การสร้างชิ้นงานให้อยู่ในระนาบเดียวมีการควบคุมการทำงานพียง 2 แกน ซึ่งโดยกระทั่งไปจะอยู่ในระนาบ XY ส่วนแกน Z เป็นการกำหนดค่าที่แน่นอน เช่น ความลึก สำหรับการทำงานแบบ 2 มิติ จะคล้ายกับแบบ 2 มิติ แต่เพิ่มในส่วนแกน Z ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงแต่ไม่เปลี่ยนพร้อมกันทั้ง 3 แกน ส่วนการทำงานแบบ 3 มิติ จะเป็นการสร้างชิ้นงาน โดยที่แกนทั้ง 3 ทำงานพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยลักษณะการสร้างชิ้นงานดังที่กล่าวมา นอกจากสามารถนำไปใช้ได้กับงานกัดยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานเจาะจึงถือว่าเป็นการสร้างชิ้นงานแบบ 2 มิติ ส่วนงานเดินขอบสามารถสร้างชิ้นงานได้ทุกรูปแบบ ส่วนงานกัดเป็นแอ่งหลุมจะเป็นการสร้างชิ้นงานแบบ 3 มิติ

4.6 เครื่องมือกล BOXFORD DUET

การพัฒนาโดยนำเอาเครื่องจักรกล NC มาใช้ร่วมกับคอมพิวเตอร์ซึ่งช่วยในการควบคุม การทำงานของเครื่องมือกล ซึ่งเรียกว่า CAM และการควบคุมนี้จะใช้รหัสคำสั่ง G-Code และรหัสคำสั่ง M-Code ซึ่งทำให้เครื่องจักรกลดังกล่าวทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในโครงงานได้ใช้เครื่องมือกล BOXFORD DUET (CNC)

เครื่องมือกล BOXFORD DUET นั้นเป็นเครื่องมือกลที่ถูกออกแบบมา ใช้เพื่อในงานกลึง (Lathe) และงานกัด (Milling) ซึ่งในที่นี้เราจะกล่าวถึง ในส่วนของงานกัดเท่านั้น เราสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 แกน

เครื่องมือกล DUET จะถูกควบคุมโดยซอฟแวร์ที่ถูกติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์และสัญญาณการควบคุมนี้ จะเป็นสัญญาณที่เกิดจากไมโครคอมพิวเตอร์ โดยการส่งสัญญาณจะผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 ไปยังกล่องควบคุมและผ่านไปยังเครื่องมือกล BOXFORD DUET

ส่วนประกอบของเครื่องมือกล BOXFORD DUET

อุปกรณ์ที่ติดอยู่กับเครื่องมือกล DUET

1. 6- Position tool holder with six clamps
2. Tail Stock and Center
3. Low - Voltage Light
4. 320W Version (Fix Spindle Drive with Cover)
   450W Version (Speed Change Cassette)
5. 3 – Jaw Chuck
6. Additional Speed Change Cassette (450W Version)

เครื่องมือที่ใช้ในโหมดการกลึง

7. 4- Position Erilling / Boring Tool holder with Bush
8. Left – Hand Turning Tool with spare Tips
9. Parting – Off Tool with Spare Tips
10. Spindle Center, Driver and Carrier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในโหมดการกัด

11. One 10 mm. Bore Cutter Holder

    Two 5 mm. Bore Cutter Holder

12. One 5 mm. End Mill

13. Milling Vice with Two Reversible Jaws

14. Milling Table with Four T – Clamps

ส่วนประกอบอื่นๆ

15. Chuck Key

16. Cam Lock Key

17. Oilcan

18. Operating Manuals

19. Swarf Brush

20. Turning Billet (3)

21. Milling Billet (Wax)

อุปกรณ์ควบคุม

22. Control Unit (For 240V or 110V AC. Supply)

23. Main Cable

24. Parallel Cable with 25 – way connectors

25. Serial Cable with 9 – way connectors

26. Duet Software

เครื่องมือกล DUET ในโหมดของการกัด

ในโครงงานนี้ได้ใช้เครื่องมือกล DUET ในโหมดของการกัด ร่วมกันกับแขนกล ดังนั้นจึงขอกล่าวในส่วนที่เกี่ยวข้องกับโครงงานนี้เท่านั้น

1. ตำแหน่งของเครื่องมือและค่าชดเชย (Offsets)

การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ก่อนที่จะเริ่มการทำงานโดยแท่นรองกัดจะถูกยึดติดกับแท่นรองชิ้นงาน โดยใช้ Cam lock ขันยึดติดดอกกัดขนาด 5 มม. จะถูกใช้เป็นค่าอ้างอิงกับดอกกัดอื่นๆ

ก่อนการใช้งานต้องมั่นใจว่า เครื่องมือต่างๆ ได้ถูกยึดติดกับส่วนประกอบของเครื่องมือกลอย่างแน่นหนาและดอกกัดได้ถูกสอดเข้ากับตัวยึดดอกกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเครื่องมือต่างๆ ได้ถูกติดตั้งแล้ว ดอกกัดขนาด 5 มม. จะถูกใช้เป็นค่าอ้างอิงกับดอกกัดอื่น โดยค่าชดเชย (Offsets) ของดอกกัดขนาด 5 มม. จะถูกตั้งค่าเป็นศูนย์ของแกน Z ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงดอกกัด ค่าอื่นๆ ค่าของเครื่องมือก็จะถูกชดเชยด้วยค่าที่ตั้งไว้

2. แกนหมุนและจุดศูนย์ของชิ้นงาน

การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์แท่นรองสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งแกน XY และ Z โดยที่อุปกรณ์จับเครื่องมือนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ตามแกนต่างๆ ได้

การหาจุดศูนย์กลางของชิ้นงานนั้น ทำได้โดยเลื่อนปลายมีดกัดไปยังตำแหน่งด้านล่างซ้ายของชิ้นงาน ค่าที่ได้จะถูกเก็บไว้ในข้อมูลเครื่องมือ (Tool Data) เพื่อเป็นค่าอ้างอิงของเครื่องมืออื่น ถ้าชิ้นงานมีลักษณะเป็นวงกลม การหารจุดศูนย์กลางของชิ้นงาน สามารถหาได้จากค่าจุดตัดที่เกิดจากเส้นเส้นตั้งฉากแกนX สัมผัสด้านซ้ายของวงกลมกับเส้นตั้งฉากแกน Y สัมผัสด้านล่างของวงกลมซึ่งค่าตำแหน่งที่เกิดจากการตัดกันจะเป็นศูนย์กลางของชิ้นงาน

3. Speed and feeds

ความเร็วหมุน (Spindle speed)

เมื่อเริ่มเขียนโปรแกรมการกัดชิ้นงานนั้น จำเป็นต้องกำหนดอัตราเร็ว (Speeds) และอัตราการเคลื่อนที่ (Feeds) ค่านี้จะเปลี่ยนไปตามชนิดของชิ้นงาน และประเภทของมีดกัด หลักการพื้นฐานการหาค่าอัตราเร็วจะใช้การเปิดตารางหาค่าความเร็วตัด (Cutting Speed) แล้วจึงแทนสูตรเพื่อหาค่าอัตราเร็วในการหมุน (Spindle Speed) ค่าอัตราความเร็วในการหมุนนั้น จะมีหน่วยเป็นรอบ/นาที

สูตรหาอัตราเร็วในการหมุน

Spindle speed = (1000* Cutting Speed (m / min)) / (π*Cutting Diameter (mm))

อัตราการเคลื่อนที่ (Feed Rate)

อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ในระนาบ X-Y ก็คือ ความเร็วของระนาบพื้นผิวชิ้นงาน ส่วนความเร็วในแกน Z จะเป็นความเร็วในการเจาะชิ้นงานซึ่งการหาค่าจะทำได้โดย การเปิดตารางซึ่งจำเป็นต้องรู้ชนิดของชิ้นงานและชนิดของมีดกัดที่ใช้แล้ว นำไปแทนค่าในสูตร

สูตรหาค่าอัตราการเคลื่อนที่

Feed Rate (mm / Rev) = Feed Rate (mm / tooth) * Number of Teeth

OR

Feed Rate (mm / min) = Feed Rate (mm / rev) * Spindle Speed (rev /min)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
พอร์ตอนุกรม

5.1 พื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรม

ถึงแม้ว่าการสื่อสารแบบอนุกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนาน ทั้งนี้เพราะว่าการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลได้ครั้งละหลายๆบิตพร้อมกัน ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน

แต่ว่าการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้นมีข้อที่เหนือกว่าการส่งข้อทูลแบบขนาน คือ การสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลกว่าแบบขนาน อีกทั้งสายสัญญาณที่ใช้ยังมีน้อยกว่าการส่งข้อมูลแบบขนานอีกด้วย การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบดังนี้

Simplex	*สามารถส่งข้อมูลได้อย่างเดียว เป็นการสื่อสารแบบทางเดียว*
Half-Duplex	สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางและสามารถรับข้อมูลจากปลายทางได้ แต่ไม่สามารถทำการส่งและรับข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน
Full- Duplex	สามารถรับและส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน

นอกจากนี้แล้วยังสามารถแบ่งประเภทของการสื่อสารแบบอนุกรมตามลักษณะสัญญาณในการส่งได้อีก 2 แบบคือ

การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้จะใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการรับส่งสัญญาณ เช่น สายคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นสายของข้อมูล (และมักจะมีสายกราวน์ด้วย)

สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนี้เหมาะสำหรับการทำงานในระยะใกล้ ข้อมูลที่จะส่งมีไม่มากนัก เพราะถ้าระยะทางไกลขึ้นจะทำให้สัญญาณนาฬิกามีปัญหา อีกทั้งต้องมีสายหลายเส้น ทำให้สิ้นเปลืองมาก

การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) สำหรับการสื่อสารแบบซิงโครนัสนั้นจะใช้สายข้อมูลเพียงตัวเดียว แต่จะใช้รูปแบบการส่งข้อมูล หรือ Bit Pattern เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นส่วนตัวข้อมูล ส่วนไหนเป็นส่วนตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล โยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่ากันทั้งภาคส่ง และภาครับ ซึ่งจะมีอุปกรณ์ พิเศษที่ชื่อว่า UART หรือ Universal Asynchronous Receiver / Transmitter คอยควบคุมการรับ และส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สำหรับมาตรฐานของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมอีกแบบที่ได้รับความนิยมอย่างสูงตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน โดยใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งการสื่อสาร และการควบคุมทางอุตสาหกรรม นั่นคือ มาตรฐาน RS-232C

5.2 มาตรฐาน RS-232C

มาตรฐาน RS-232C เป็นมาตรฐานที่ได้รับการออกแบบเพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงจากผู้ผลิตต่างกันสามารถทำงานร่วมกันได้ มาตรฐานหลายชนิดได้รับการออกแบขึ้นมา แต่มาตรฐานที่ได้รับความนิยมและใช้กันกว้างขวางที่สุดคือ มาตรฐาน RS-232C ซึ่งถูกประกาศใช้ในปี 1969 โดยสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ในยุคแรกๆการใช้อินเตอร์เฟสแบบ RS-232C ถูกออกแบบสำหรับเชื่อมต่อเทอร์มินอล (DTE : Data Terminal Equipment) กับ โมเด็ม (DCE : Data Communication Equipment) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการส่งข้อมูลบนสายเส้นเดียวกัน

มาตรฐาน RS-232C ได้แบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ประเภท ซึ่งอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูลนี้ก็คือ

1. อุปกรณ์ DTE : Data Terminal Equipment เป็นอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูล (เอาต์พุต)
2. อุปกรณ์ DCE : Data Communication Equipment เป็นอุปกรณ์สำหรับรับข้อมูล(อินพุต)

ตามมาตรฐาน RS-232C แล้วคอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งคอนเน็กเตอร์ที่นิยมใช้กันอยู่จะเป็นชนิด D-Type แบบ 9 ขา และแบบ 25 ขา โดยจะติดตั้งอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ ระดับแรงดันจะมีค่าระหว่าง -3 V ถึง -15 V

สำหรับลอจิก High และ ลอจิก Low จะมีระดับแรงดันระหว่าง +3V ถึง +15V สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุด 150 ฟุต หรือ 50 เมตร แต่ถ้าเราต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ที่อยู่ห่างกันมากๆ เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อื่นๆเข้าช่วย เช่น การใช้โมเด็ม เป็นต้น

ลักษณะของคอนเน็กเตอร์แบบ D-Type

หัวต่อแบบ D-Type ที่ใช้ในการสื่อสารแบบอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ แบบ 9 ขา และ แบบ 25 ขา บางครั้งเราจะเรียกว่า DB9 และ DB25 ซึ่งหัวต่อทั้งสองชนิดจะมีลักษณะการทำงานของสัญญาณเหมือนกัน แต่การจัดเรียงไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ลักษณะของคอนเนคเตอร์แบบ D-Type

D-Type 25 Pin	D-Type 9 Pin	สัญลักษณ์	ชื่อสัญญาณ
Pin 2	Pin 3	TD	Transmit Data
Pin 3	Pin 2	RD	Receive Data
Pin 4	Pin 7	RTS	Request To Send
Pin 5	Pin 8	CTS	Clear To Send
Pin 6	Pin 6	DSR	Data Set Ready
Pin 7	Pin 5	SG	Signal Ground
Pin 8	Pin 1	CD	Carrier Detect
Pin 20	Pin 4	DTR	Data Terminal Ready
Pin 22	Pin 9	RI	Ring Indicator

รายละเอียดของสายสัญญาณ

สำหรับรายละเอียดของสายสัญญาณนั้นประกอบไปด้วย

- Transmit Data : TD ใช้สำหรับส่งข้อมูลอนุกรมออกจากคอมพิวเตอร์
- Receive Data : RD ใช้สำหรับรับข้อมูลอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์
- Request To Send : RTS ใช้สำหรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง เพื่อร้องขอให้อุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมา
- Clear To Send : CTS ใช้สำหรับตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อด้วยพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่ โดยจะคอยรับสัญญาณ RTS เมื่อทุกอย่างพร้อมก็จะทำการส่งข้อมูลออกทางขา TD
- Data Set Ready : DSR ใช้สำหรับการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง จะใช้คู่กับขา DTR
- Signal Ground : SG เป็นกราวน์ของระบบ
- Carrier Detect : CD ขานี้จะ Active เมื่อมีการส่งสัญญาณ Carrier จากโมเด็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Data Terminal Ready : DTR ใช้สำหรับบอกให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าต้องการติดต่อด้วยโดยขา DTR นี้ต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง
- Ring Indicator : RI ขานี้จะ Active เมื่อโมเด็มได้รับสัญญาณเรียนเข้าจากสายโทรศัพท์

องค์ประกอบการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมที่นิยมใช้กับคอมพิวเตอร์นั้น เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส นั่นคือต้องใช้สายสัญญาณเส้นเดียวทำหน้าที่ทั้งส่งส่วนที่เป็นข้อมูล และส่วนที่ใช้ควบคุมการส่งข้อมูล ดังนั้นข้อมูลที่เราอ่านได้แต่ละบิตจากการส่งแบบอนุกรม จึงต้องถูกแยกแยะว่าใช้สำหรับวัตถุประสงค์ใด โดยเราสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. Start Bit ขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูล ขนาด 7 หรือ 8 บิต
3. Parity Bit ขนาด 1 บิต
4. Stop Bit ขนาด 1 หรือ 2 บิต

แต่ละตัวอักษรที่ถูกส่งออกไปเป็นกลุ่มจะประกอบไปด้วยบิตเริ่มต้น บิตข้อมูล บิตพาริตี้ (จะมีหรือไม่มีก็ได้) และบิตจบ โดยเราพอจะสรุปหน้าที่ของแต่ละส่วนได้ดังนี้

-Start Bit หรือบิตเริ่มต้นจะใส่ที่จุดเริ่มต้นแสนอ เพื่อเตือนอุปกรณ์ฝ่ายรับว่าข้อมูลกำลังจะมาถึง

-Data Character หรือบิตข้อมูล การส่งบิตข้อมูลจะส่งเป็นกลุ่มๆ โดยทั่วไปจะส่งเป็น 7หรือ 8 บิตซึ่งเพียงพอสำหรับการส่ง Ascii Word

-Parity Bit หรือบิตพาริตี้ ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่ง เราจะใส่บิตพาริตี้เข้าไป แต่ทั้งตัวรับและตัวส่งจะต้องรู้กันว่าใช้พาริตี้แบบไหนในการส่งข้อมูลซึ่งหลักการในการกำหนดบิตพาริตี้มีหลายแบบดังนี้

- พาริตี้คู่ (Even Parity) ค่าของบิตพาริตี้นี้เมื่อรวมกับทุกๆบิตชิงข้อมูลแล้วจะต้องมีจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 เป็นเลขคู่ ตัวอย่างเช่น ข้อมูล 1000101 มีเลข 1 ทั้งหมด 3 ตัว ดังนั้นบิตพาริตี้จะเป็น 0
- พาริตี้คี่ (Odd Parity) ค่าของบิตพาริตี้นี้เมื่อรวมกับทุกๆบิตของข้อมูลแล้วจะต้องมีจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 เป็นเลขคี่ ตัวอย่างเช่น ข้อมูล 1000101 มีเลข 1 ทั้งหมด 3 ตัว ดังนั้นบิตพาริตี้จะเป็นเลข 1
- ไม่มีพาริตี้ (None) ถ้าทั้งบิตพาริตี้เป็น None ทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบบิตพาริตี้

-Stop Bit หรือบิตจบ เป็นบิตที่มาปิดท้ายข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การที่อุปกรณ์ 2 อย่างจะติดต่อสื่อสารกันได้นั้น จะต้องทำงานด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ซึ่งอัตราเร็วในการสื่อสารแบบอะซิงโครนัสคือ ค่าบอดเรต (Baud Rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที ซึ่งค่าอัตราเร็วในการสื่อสารแบบอนุกรมสำหรับมาตรฐาน RS-232C นั้นมีใช้ดังนี้ 110, 150, 300, 600, 1200,2400,4800,9600 และ 19200 บิตต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
พอร์ตขนาน

6.1 พื้นฐานการสื่อสารแบบขนาน

ในการประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์เชื่อมต่อ(Interface) นั้นเรามีการใช้งานพอร์ตขนาน หรือ Parallel Port อย่างแพร่หลาย โดยจุดเริ่มต้นหรือการนำมาใช้งานกับพริ้นเตอร์ จนทำให้บางคนเรียกว่า Printer Port ก็มี ซึ่งพอร์ตขนานนั้นมีความสามารถ และความน่าสนใจอยู่หลายอย่างจึงน่าจะเข้าใจพื้นฐานกันก่อนเพื่อให้การสร้างแอพพลิเคชั่นในภายหลังทำได้อย่างเข้าใจ และรวดเร็ว

พอร์ตขนาน หรือ Parallel Port นั้นเดิมทีเรียกว่า Printer Port เพราะการใช้งานส่วนใหญ่กับพอร์ตขนานเป็นการใช้โดยติดต่อกับพรินเตอร์เป็นหลัก โดยที่พอร์ตขนานนั้นสามารถให้ความเร็วในการส่งข้อมูลได้รวดเร็วกว่าพอร์ตอนุกรม 8-10 เท่า ซึ่งสามารถส่งข้อมูลขนาน 8 บิตได้เลย

ลักษณะหัวต่อของพอร์ตขนานจะเป็นแบบ D-type 25 pin ตัวเมียอยู่หลังเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปปกติแล้วใช้ในการติดต่อกับพรินเตอร์ อย่างไรก็ตามนอกจากพอร์ตขนานจะใช้ในการติดต่อกับพรินเตอร์แล้วยังสามารถใช้งานเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆได้อีก ซึ่งการใช้พอร์ตขนานใช้งานในการเชื่อมต่อนั้นถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลายมาก ทั้งนี้เพราะสามารถรับและส่งข้อมูลในลักษณะขนานได้ ทำให้นำไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้เป็นอย่างดี อีกทั้งลักษณะแรงดันที่จ่ายออกมาก็เป็น TTL โดยสัญญาณลอจิก "1" จะเท่ากับ 5 โวลต์และลอจิก "0" จะเท่ากับศูนย์โวลต์ทำให้ง่ายในการออกแบบวงจรและการประยุกต์ใช้งาน

ข้อเสียคือ ไม่สามารถทำงานในระยะทางไกลๆได้เพราะจะแดความผิดพลาดของข้อมูลได้ง่ายเนื่องจากแรงดันไม่สม่ำเสมอ และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในเรื่องของสายเพราะใช้สายสัญญาณหลายเส้น

6.2 องค์ประกอบของพอร์ตขนาน

พอร์ตขนานของเครื่องคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยสัญญาณทั้งหมด 25 เส้นสัญญาณ แต่ใช้งานจริงๆ 17 สัญญาณ โดยจะแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ตามลักษณะหน้าที่ของสัญญาณ ดังนี้

- Data Port จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- Status Port จำนวน 5 เส้นสัญญาณ
- Control Port จำนวน 4 เส้นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสัญญาณ

ขาสัญญาณของพอร์ตขนานแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

1. DATA PORT

Data Port จะมีอยู่ 8 pin (ตั้งแต่ขาที่ 2 ถึง ขาที่ 9) บางทีมักจะถูกเรียกว่า DATA REGISTER ซึ่ง Register ตัวนี้จะส่งได้อย่างเดียวไม่สามารถรับค่าได้

ตารางที่ 6.1 แสดงขาสัญญาณของ DATA PORT

Name	Read/Write	Bit No.	Single Name
Data Port	Write	Bit 7	Data 7 (pin 9)
		Bit 6	Data 6 (pin 8)
		Bit 5	Data 5 (pin 7)
		Bit 4	Data 4 (pin 6)
		Bit 3	Data 3 (pin 5)
		Bit 2	Data 2 (pin 4)
		Bit 1	Data 1 (pin 3)
		Bit 0	Data 0 (pin 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. STATUS PORT

Status Port เป็นพอร์ตที่อ่านได้อย่างเดียวไม่สามารถเขียนข้อมูลได้ พอร์ตนี้จะมีสัญญาณเข้าอยู่ 5 สัญญาณ และสัญญาณ IRQ กับสัญญาณสงวนไว้อีก 2 บิต โดยสัญญาณ Busy จะ Active Low

ตารางที่ 6.2 แสดงขาสัญญาณของ STATUS PORT

Name	Read/Write	Bit No.	Single Name
Status Port	Read	Bit 7	Busy
		Bit 6	nAck
		Bit 5	Paper End
		Bit 4	Select
		Bit 3	nError
		Bit 2	IRQ (Not)
		Bit 1	Reserved
		Bit 0	REserved

สำหรับลักษณะการทำงานของแต่ละบิตใน Status Port

Bit 7 Busy	เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์จะไม่รับข้อมูล
Bit 6 nAck	เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์พร้อมที่จะทำงาน (ActiveLow)
Bit 5 Paper End	เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์ไม่มีกระดาษ
Bit 4 Select	เมื่อ Active หมายถึงเลือกพรินเตอร์
Bit 3 nError	เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์เกิดข้อผิดพลาด (Active Low)
Bit 2, Bit 1 , Bit 0	ไม่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. CONTROL PORT

Control Port เป็นพอร์ตที่ใช้ในการควบคุมคอมพิวเตอร์ สัญญาณในกลุ่มนี้จะ Active Low ยกเว้น สัญญาณ Initialize เท่านั้นที่ไม่ถูก Invert

ตารางที่ 6.3 แสดงขาสัญญาณของ CONTROL PORT

Name	Read/Write	Bit No.	Single Name
Control Port	Read/Write	Bit 3	nESelect (pin 17)
		Bit 2	nInitialize (pin 16)
		Bit 1	nAutoFeed (pin 14)
		Bit 0	nStrobe (pin 1)

ลักษณะการทำงานของแต่ละบิตใน Control Port

Bit 3 nSelect Printer เมื่อ Active หมายถึงเลือกพรินเตอร์

Bit 2 nInitialize เมื่อ Active หมายถึงรีเซตพรินเตอร์

Bit 1 nAuto Feed เมื่อ Active หมายถึงพรินเตอร์กระทำ Line Feed

Bit 0 nStrobe เมื่อ Active หมายถึงการบอกให้พรินเตอร์ทราบว่ามีข้อมูลเข้ามาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.4 ลักษณะสัญญาณของพอร์ตขนานทั้งหมด

Pin No.(D-Type 25)	Single Name	Bit	Direction(In/Out)
1	nStrobe	-Co	Output
2	Data 0 (Bit 0)	D0	Output
3	Data 1 (Bit 1)	D1	Output
4	Data 2 (Bit 2)	D2	Output
5	Data 3 (Bit 3)	D3	Output
6	Data 4 (Bit 4)	D4	Output
7	Data 5 (Bit 5)	D5	Output
8	Data 6 (Bit 6)	D6	Output
9	Data 7 (Bit 7)	D7	Output
10	nAck	S6	Input
11	Busy	-S7	Input
12	PaperEnd	S5	Input
13	Select	S4	Input
14	nAutoFeed	-C1	Output
15	nError	S3	Input
16	nInitialize	C2	Output
17	nSelectPrinter	-C3	Output
18-25	Ground		

6.3 รูปแบบการติดต่อผ่านทางพอร์ตขนาน

เมื่อมีการติดต่อกับอุปกรณ์ หรือ พรินเตอร์ใดๆ ผ่านทางพอร์ตขนานนั้นการทำงานจะเริ่มจากคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณข้อมูลขนาด 8 บิต ออกทาง Data Port แล้วสร้างสัญญาณ Strobe ให้เป็น Low ส่งไปยังอุปกรณ์ หรือพรินเตอร์เพื่อบอกให้ทราบว่ามีข้อมูลเตรียมพร้อมจะส่งไปแล้ว

จากนั้นคอมพิวเตอร์จะรอรับการตอบกลับจากอุปกรณ์ หรือพรินเตอร์ที่ต่อกับพอร์ตขนานนั้น โดยสิ่งที่ตอบกลับมาจะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

สัญญาณ nAck เพื่อเป็นการแสดงว่าอุปกรณ์ หรือพรินเตอร์พร้อมที่จะรับสัญญาณข้อมูล โดยจะสร้างสัญญาณ Acknowledge เป็น Low ตอบกลับไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ Busy เพื่อเป็นการแสดงว่าอุปกรณ์ หรือ พรินเตอร์ไม่ว่าง ไม่พร้อมรับข้อมูล

ตารางที่ 6.5 สรุปรายละเอียดเกี่ยวกับสัญญาณที่ใช้ในพอร์ตขนาน

สัญญาณ	ผู้ส่ง	สิ่งที่ส่ง	ผู้รับ
ข้อมูล 8 บิต	คอมพิวเตอร์	ข้อมูลที่คอมพิวเตอร์ส่งไปให้ที่พอร์ต	พอร์ตขนาน
Strobe	คอมพิวเตอร์	แจ้งให้พอร์ตทราบว่ามีข้อมูลชุดใหม่ส่งมา	พอร์ตขนาน
Acknowledge	พอร์ตขนาน	ตอบกลับมาว่าพร้อมรับข้อมูลแล้ว	คอมพิวเตอร์
Busy	พอร์ตขนาน	ตอบกลับมาว่าไม่พร้อม	คอมพิวเตอร์
Error	พอร์ตขนาน	แจ้งข้อผิดพลาดกลับมาให้คอมพิวเตอร์	คอมพิวเตอร์
Reset	คอมพิวเตอร์	ให้รีเซตข้อมูล หรือรีเซตคอมพิวเตอร์	พอร์ตขนาน

Port Address

แอดเดรสของพอร์ตขนานนั้นมักจะอยู่ที่ตำแหน่ง 378H สำหรับ LPT 1 และ 278H สำหรับ LPT 2 ซึ่งการหาหมายเลขพอร์ตของพรินเตอร์นั้นเราสามารถกระทำได้ง่ายๆ โดยการคลิกที่ Start > Setting > Control Panel

จานั้นให้เลือกที่ System > Device Manager > Ports (COM & LPT) จากนั้นให้เลือก Printer Port แล้วคลิกที่ Properties แล้วเลือก Resources เราก็จะทราบ Address ของหมายเลขพอร์ตตามที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

เมื่อ CNC รับสัญญาณ "วางชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว" จากคอมพิวเตอร์ซึ่งรับมาจากแขนกลที่นำชิ้นงานเข้าวางแล้วอีกต่อหนึ่ง CNC จะเริ่มส่งไฟล์ที่เขียน G-codeไว้ ออกทางSerial Portหลังจากนั้นจะทำตามคำสั่ง G-code ที่ได้รับมา จนเสร็จ แล้วส่งสัญญาณ"ทำงานเสร็จแล้ว" กลับมายังคอมพิวเตอร์ แล้วส่งต่อไปยังแขนกลเพื่อสั่งงานให้แขนกลหยิบชิ้นงานออกจากเครื่อง

7.2 ปัญหาและการแก้ไข

บิตสัญญาณที่ใช้งานใน DB25 ของเครื่องCNC นั้น เป็นบิทสัญญาณที่ไม่สามารถควบคุมโดยตรงจากการเขียนVisual Basic ได้ จึงต้องใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51เข้ามาเป็นตัวกลางในการสลับบิทสัญญาณที่ส่งไปมาระหว่างคอมพิวเตอร์กับCNCอีกต่อหนึ่ง

7.3 ข้อเสนอแนะ

1. ภาคการแสดงสถานะการทำงานของเครื่องCNCบนคอมพิวเตอร์ควรมีความละเอียดมากขึ้น ซึ่งในโครงงานนี้มีเพียง สถานะ Waiting, Operating และ Finish เท่านั้น
2. ชุดจับยึดชิ้นงานควรเปลี่ยนจากระบบนิวเมติกส์เป็นระบบไฟฟ้า เพราะจะทำให้สามารถตัดชุดอุปกรณ์นิวเมติกส์ออกไปได้ เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำงานได้อีกมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**I**
กิตติกรรมประกาศ	**III**
สารบัญ	**IV**
สารบัญรูปภาพ	**VI**
สารบัญตาราง	**VIII**
บทที่ 1 การควบคุมเชิงตัวเลข	**1**
1.1 บทนำ	1
1.2 การอธิบายกระบวนการควบคุมเชิงตัวเลขอย่างง่าย	1
1.3 แนวคิดพื้นฐาน	3
1.4 ระบบควบคุมเครื่องจักรด้วยการควบคุมเชิงตัวเลข	8
1.5 ระบบการเคลื่อนที่	10
1.6 การควบคุมการเคลื่อนที่	12
บทที่ 2 ประวัติการควบคุมเชิงตัวเลข	**16**
2.1 บทนำ	16
2.2 มนุษย์และเครื่องจักรกล	16
2.3 ประวัติ NC	18
2.4 CNC และ DNC	20
2.5 การประยุกต์ใช้ NC	25
2.6 ข้อดีและข้อเสียของ NC	29
บทที่ 3 ระบบควบคุมเครื่องจักร NC	**32**
3.1 บทนำ	32
3.2 ส่วนต่าง ๆ ของระบบ NC	33
3.3 อุปกรณ์ชิ้นส่วนการป้อนกลับโดยทั่วไป	41
3.4 ระบบควบคุมแบบโพซิชั่นนิ่ง	45
3.5 ระบบควบคุมแบบคอนทัวริ่ง	47
3.6 ความแตกต่างระหว่างระบบโพซิชั่นนิ่งและคอนทัวริ่ง	50
3.7 การวิเคราะห์ระบบ NC	51
บทที่ 4 ทฤษฎีเครื่องซีเอ็นซี	**61**
4.1 บทนำ	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ส่วนควบคุม 63
4.3 ส่วนโปรแกรมสั่งงานเครื่องจักร 63
4.4 ชุดคำสั่งควบคุมเครื่องจักรที่ใช้ในโครงงาน 65
4.5 การวัดระยะการเคลื่อนของตำแหน่งของเครื่องมือ 67
4.6 เครื่องมือกล BOXFORD DUET 68
บทที่ 5 พอร์ตอนุกรม 71
5.1 พื้นฐานการสื่อสารแบบอนุกรม 71
5.2 มาตรฐาน RS-232C 72
บทที่ 6 พอร์ตขนาน 76
6.1 พื้นฐานการสื่อสารแบบขนาน 76
6.2 องค์ประกอบของพอร์ตขนาน 76
6.3 รูปแบบการติดต่อผ่านทางพอร์ตขนาน 80
บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ 82
7.1 บทสรุป 82
7.2 ปัญหาและการแก้ไข 82
7.3 ข้อเสนอแนะ 82
ภาคผนวก Flowchart แสดงการควบคุมการทำงานของ CNC 84
Source Code สำหรับการสั่งงานเครื่อง CNC ด้วย Visual Basic 85
Source Code สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง PC และ CNC ด้วย MCS-51 88
แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง PC กับ CNC-Controller 89
DATASHEET 90
บรรณานุกรม 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

จงกล งามวิวิทย์, **การควบคุมเชิงตัวเลข.** กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คณะวิศกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533.

นคร ภักดีชาติ, ธีรบูล หล่อวิเชียรรุ่ง และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C.** กรุงเทพมหานคร: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2544.

ธาริน สิทธิธรรมชารี, **คู่มือการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual Basic Version 6.0 ฉบับเพื่อการใช้งานจริง.** กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซัคเซส มีเดีย จำกัด, 2543.

อภิชาต ภู่พลับ, **เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์ดแวร์ด้วย Visual Basic.** นนทบุรี: Info press Developer Book, 2546.

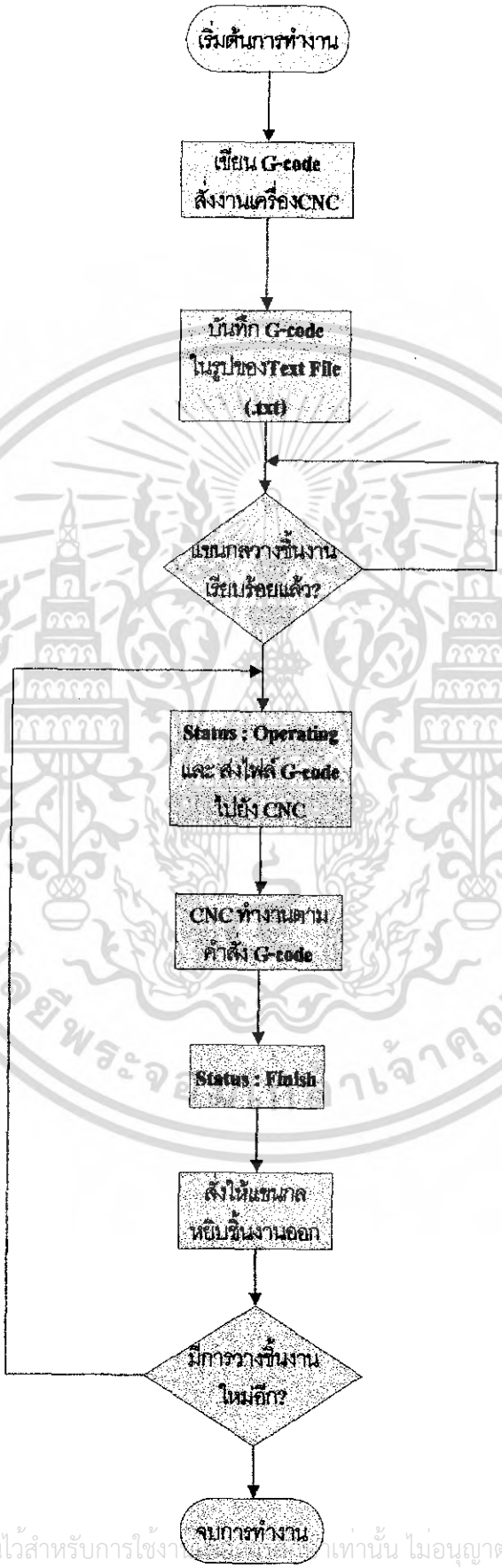
ภิญโญ แซ่ตั้ง, **Fundamental of Visual Basic Multimedia Programming.** กรุงเทพมหานคร: Sum System Company Limited, 2542.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flowchart แสดงการควบคุมการทำงานของ CNC



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Code สำหรับการสั่งงานเครื่อง CNC ด้วย Visual Basic

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)

Public pwrite As Integer
Public pread As Integer
Public N As Integer
Public SendEnd As Integer
Dim FilePath As String

Private Sub CmbStart_Click()
  Out pwrite, 1
  MSComm1.PortOpen = True
  Dim numSend, buffSize, chkLF&
  numSend = FreeFile
  Open (FilePath) For Binary Access Read As numSend
  If Err Then
    MsgBox Error$, 48
  Else
    buffSize = MSComm1.OutBufferSize
    chkLF& = LOF(numSend)
    Do Until EOF(numSend) Or CancelSend
      If chkLF& - Loc(numSend) <= buffSize Then
        buffSize = chkLF& - Loc(numSend) + 1
      End If
      Temp = Space$(BSize)
      Get numSend, , Temp
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            MSComm1.Output = Temp
          If Err Then
            MsgBox Error$, 48
        Exit Do
        SendEnd = 1
    End If
      Do
          'DoEvents()
          Loop Until MSComm1.OutBufferCount = 0 Or CancelSend
      Loop
End If
Close numSend
Out pwrite, 255
End Sub

Private Sub cmdStop_Click()
   Out pwrite, 2
End Sub

Private Sub Form_Load()
   pwrite = &H378
   pread = &H379
   Text1.Text = ""
   LblStatus.Caption = "Waiting"
End Sub

Private Sub RstBtm_Click()
  Out pwrite, 255
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    N = Inp(pread)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    Select Case N           'รับค่าแสดงสถานะของCNC
      Case 118              '0111 0110=ตั้งแต่เริ่มรับไฟล์ถึงกัดชิ้นงานเสร็จ
        LblStatus.Caption = "Operating"
      Case 110              '0110 1110=กัดชิ้นงานเสร็จ
        LblStatus.Caption = "Finish"
        Timer2.Enabled = True
    End Select
End Sub


Private Sub Dir1_Change()
  File1.Path = Dir1.Path
End Sub

Private Sub Drive1_Change()
  Dir1.Path = Drive1.Drive
End Sub

Private Sub File1_Click()
Text1.Text = Dir1.Path & "\" & File1.FileName
FilePath = File1.Path & "\" & File1.FileName
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
  LblStatus.Caption = "Waiting"
  Timer2.Enabled = False
End Sub
```

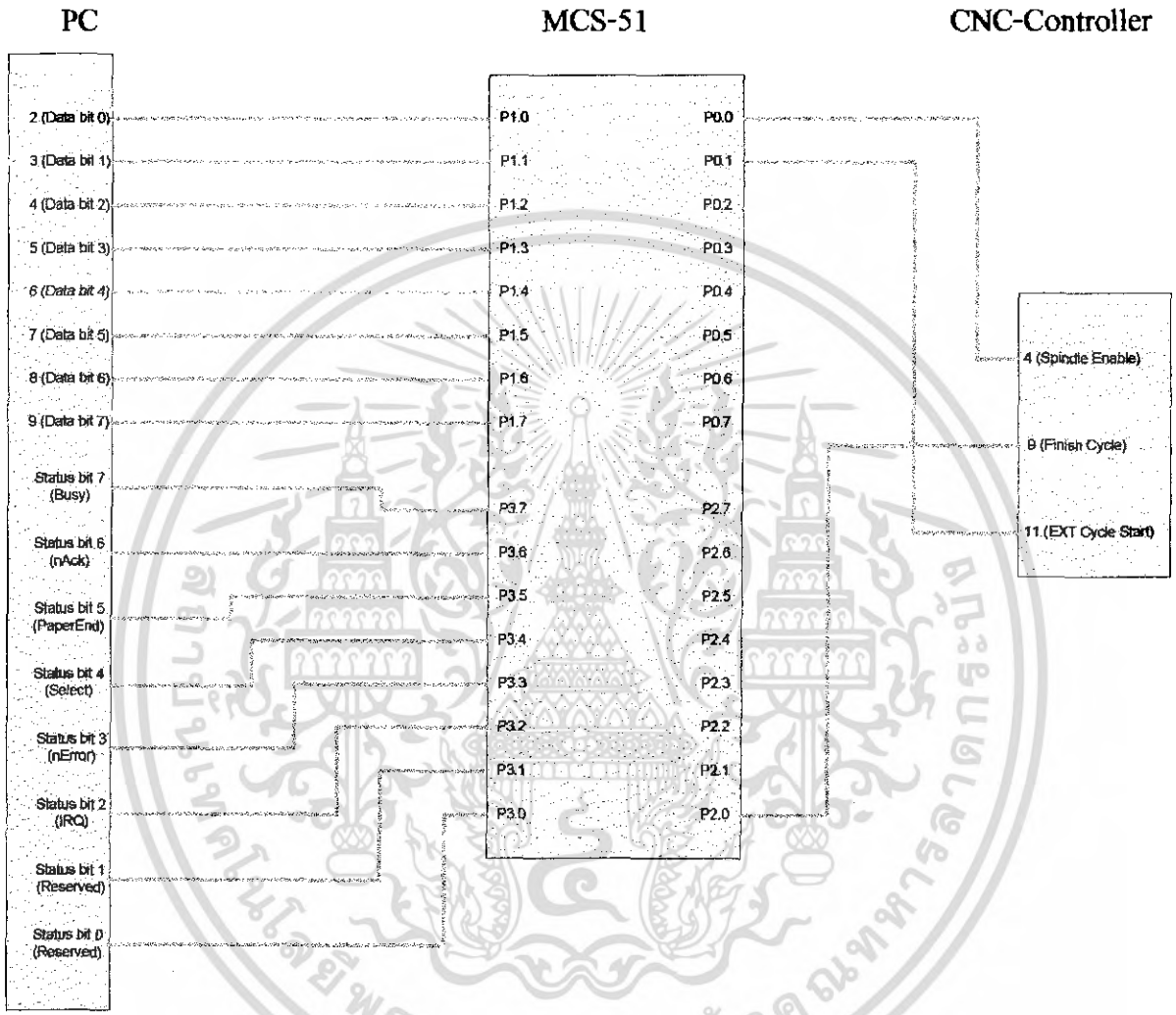
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Source Code สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง PC และ CNC ด้วย MCS-51

```
#include <REG52.H>
void delay (unsigned char tick)
{
        unsigned char i,j;
        for (i=0;i<tick;i++);
        for (j=0;j<200;j++);
}
void main (void)
{
        unsigned char F_PC;
        unsigned char F_DUET;
        F_PC = P1;
        F_DUET = P2;
        if (F_PC==0x01)
        {
                P0=0x03;
                P3=0x76;
                delay(500);
                F_PC=0x00;
        }
        if (F_DUET==0x01)
        {
                P3=0x6E;
                delay(500);
                F_DUET=0x00;
        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง PC กับ CNC-Controller



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P89V51RB2/RC2/RD2

8-bit 80C51 5 V low power 16/32/64 kB Flash microcontroller with 1 kB RAM

Rev. 03 — 02 December 2004 Product data

1. General description

The P89V51RB2/RC2/RD2 are 80C51 microcontrollers with 16/32/64 kB Flash and 1024 bytes of data RAM.

A key feature of the P89V51RB2/RC2/RD2 is its X2 mode option. The design engineer can choose to run the application with the conventional 80C51 clock rate (12 clocks per machine cycle) or select the X2 mode (6 clocks per machine cycle) to achieve twice the throughput at the same clock frequency. Another way to benefit from this feature is to keep the same performance by reducing the clock frequency by half, thus dramatically reducing the EMI.

The Flash program memory supports both parallel programming and in serial In-System Programming (ISP). Parallel programming mode offers gang-programming at high speed, reducing programming costs and time to market. ISP allows a device to be reprogrammed in the end product under software control. The capability to field/update the application firmware makes a wide range of applications possible.

The P89V51RB2/RC2/RD2 is also In-Application Programmable (IAP), allowing the Flash program memory to be reconfigured even while the application is running.

2. Features

- 80C51 Central Processing Unit
- 5 V Operating voltage from 0 MHz to 40 MHz
- 16/32/64 kB of on-chip Flash user code memory with ISP (In-System Programming) and IAP (In-Application Programming)
- Supports 12-clock (default) or 6-clock mode selection via software or ISP
- SPI (Serial Peripheral Interface) and enhanced UART
- PCA (Programmable Counter Array) with PWM and Capture/Compare functions
- Four 8-bit I/O ports with three high-current Port 1 pins (16 mA each)
- Three 16-bit timers/counters
- Programmable watchdog timer
- Eight interrupt sources with four priority levels
- Second DPTR register
- Low EMI mode (ALE inhibit)
- TTL- and CMOS-compatible logic levels

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Brown-out detection
- Low power modes
  - Power-down mode with external interrupt wake-up
  - Idle mode
- DIP40, PLCC44 and TQFP44 packages

3. Ordering information

Table 1: Ordering information

Type number	Package		Version
	Name	Description	
P89V51RB2BA	PLCC44	plastic leaded chip carrier; 44 leads	SOT187-2
P89V51RB2BBC	TQFP44	plastic thin quad flat package; 44 leads; body 10 × 10 × 1.0 mm	SOT376-1
P89V51RC2FA	PLCC44	plastic leaded chip carrier; 44 leads	SOT187-2
P89V51RC2FBC	TQFP44	plastic thin quad flat package; 44 leads; body 10 × 10 × 1.0 mm	SOT376-1
P89V51RC2BN	DIP40	plastic dual in-line package; 40 leads (600 mil)	SOT129-1
P89V51RD2FA	PLCC44	plastic leaded chip carrier; 44 leads	SOT187-2
P89V51RD2FBC	TQFP44	plastic thin quad flat package; 44 leads; body 10 × 10 × 1.0 mm	SOT376-1
P89V51RD2BN	DIP40	plastic dual in-line package; 40 leads (600 mil)	SOT129-1

3.1 Ordering options

Table 2: Ordering options

Type number	Flash memory	Temperature range	Frequency
P89V51RB2BA	16 kB	0 °C to +70 °C	0 MHz to 40 MHz
P89V51RB2BBC	16 kB	0 °C to +70 °C	
P89V51RC2FA	32 kB	−40 °C to +85 °C	
P89V51RC2FBC	32 kB	−40 °C to +85 °C	
P89V51RC2BN	32 kB	0 °C to +70 °C	
P89V51RD2FA	64 kB	−40 °C to +85 °C	
P89V51RD2FBC	64 kB	−40 °C to +85 °C	
P89V51RD2BN	64 kB	0 °C to +70 °C	

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Block diagram

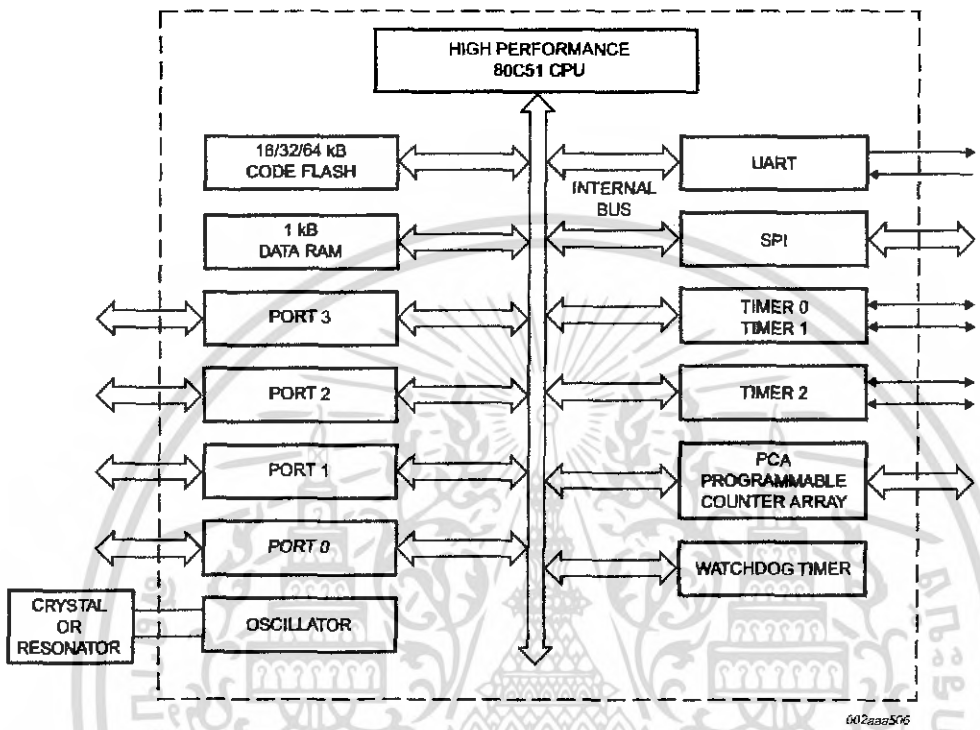


Fig 1. P89V51RB2/RC2/RD2 block diagram.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Pinning information

5.1 Pinning

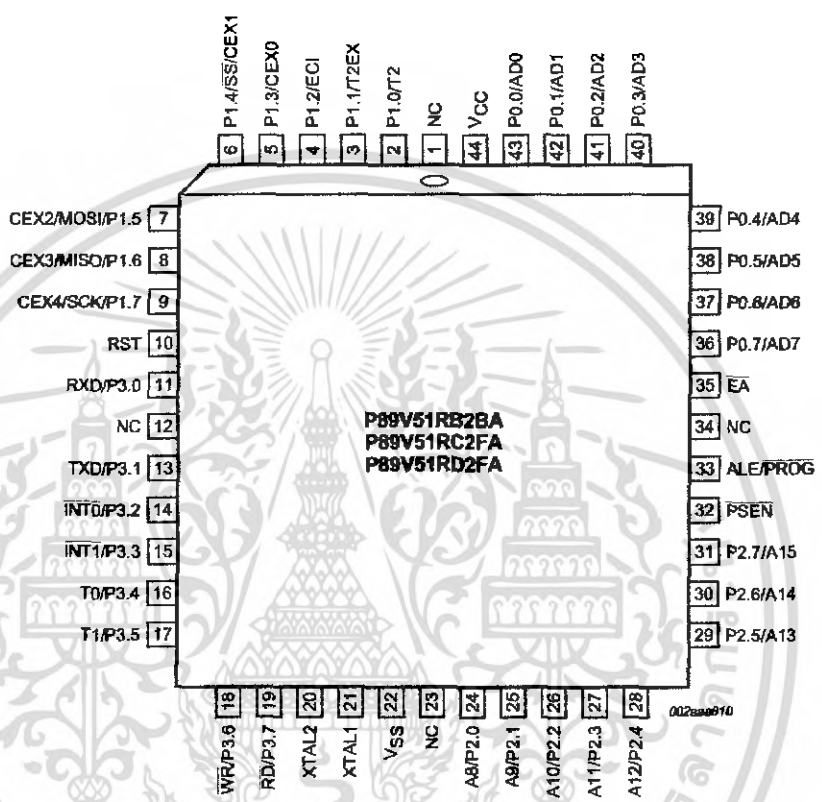


Fig 2. PLCC44 pin configuration.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

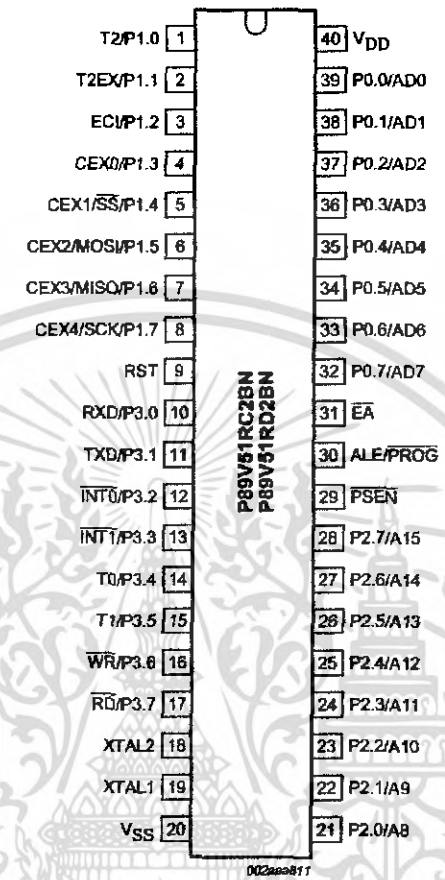


Fig 3. DIP40 pin configuration.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

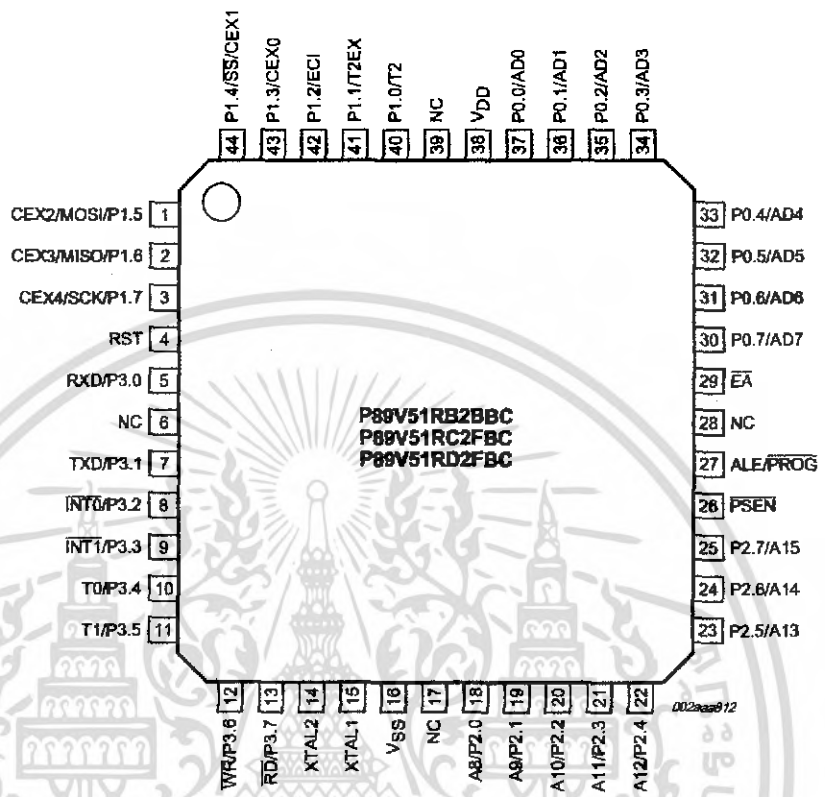


Fig 4. TQFP44 pin configuration.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 Pin description

Table 3: P89V51RB2/RC2/RD2 pin description

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P0.0 to P0.7	39-32	37-30	43-36	I/O	**Port 0:** Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. Port 0 pins that have '1's written to them float, and in this state can be used as high-impedance inputs. Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external code and data memory. In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 0 also receives the code bytes during the external host mode programming, and outputs the code bytes during the external host mode verification. External pull-ups are required during program verification or as a general purpose I/O port.
P1.0 to P1.7	1-8	40-44, 1-3	2-9	I/O with internal pull-up	**Port 1:** Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 pins are pulled high by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 1 pins that are externally pulled LOW will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups. P1.5, P1.6, P1.7 have high current drive of 16 mA. Port 1 also receives the low-order address bytes during the external host mode programming and verification.
P1.0	1	40	2	I/O	**T2:** External count input to Timer/Counter 2 or Clock-out from Timer/Counter 2
P1.1	2	41	3	I	**T2EX:** Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control
P1.2	3	42	4	I	**ECI:** External clock input. This signal is the external clock input for the PCA.
P1.3	4	43	5	I/O	**CEX0:** Capture/compare external I/O for PCA Module 0. Each capture/compare module connects to a Port 1 pin for external I/O. When not used by the PCA, this pin can handle standard I/O.
P1.4	5	44	6	I/O	$\overline{SS}$: Slave port select input for SPI **CEX1:** Capture/compare external I/O for PCA Module 1
P1.5	6	1	7	I/O	**MOSI:** Master Output Slave Input for SPI **CEX2:** Capture/compare external I/O for PCA Module 2
P1.6	7	2	8	I/O	**MISO:** Master Input Slave Output for SPI **CEX3:** Capture/compare external I/O for PCA Module 3
P1.7	8	3	9	I/O	**SCK:** Master Output Slave Input for SPI **CEX4:** Capture/compare external I/O for PCA Module 4

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 3: P89V51RB2/RC2/RD2 pin description ...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
P2.0 to P2.7	21-28	18-25	24-31	I/O with internal pull-up	**Port 2**: Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-ups. Port 2 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 2 pins that are externally pulled LOW will source current (I_{IL}) because of the internal pull-ups. Port 2 sends the *high-order address byte during fetches from external* program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX@DPTR). In this application, it uses strong internal pull-ups when transitioning to '1's. Port 2 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0 to P3.7	10-17	5, 7-13	11, 13-19	I/O with internal pull-up	**Port 3**: Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. Port 3 pins are pulled HIGH by the internal pull-ups when '1's are written to them and can be used as inputs in this state. As inputs, Port 3 pins that *are externally pulled LOW will source current (I_{IL})* because of the internal pull-ups. Port 3 also receives some control signals and a partial of high-order address bits during the external host mode programming and verification.
P3.0	10	5	11	I	**RXD**: serial input port
P3.1	11	7	13	O	**TXD**: serial output port
P3.2	12	8	14	I	**$\overline{\text{INT0}}$**: external interrupt 0 input
P3.3	13	9	15	I	**$\overline{\text{INT1}}$**: external interrupt 1 input
P3.4	14	10	16	I	**T0**: external count input to Timer/Counter 0
P3.5	15	11	17	I	**T1**: external count input to Timer/Counter 1
P3.6	16	12	18	O	**$\overline{\text{WR}}$**: external data memory write strobe
P3.7	17	13	19	O	**$\overline{\text{RD}}$**: external data memory read strobe
$\overline{\text{PSEN}}$	29	26	32	I/O	**Program Store Enable**: $\overline{\text{PSEN}}$ is the read strobe for external program memory. When the device is executing from internal program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is inactive (HIGH). *When the device is executing code from* external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory. A forced *HIGH-to-LOW input transition on the $\overline{\text{PSEN}}$ pin* while the RST input is continually held HIGH for more than 10 machine cycles will cause the device to enter external host mode programming.
RST	9	4	10	I	**Reset**: While the oscillator is running, a HIGH logic state on this pin for two machine cycles will reset the device. If the $\overline{\text{PSEN}}$ pin is driven by a HIGH-to-LOW input *transition while the RST input pin is held HIGH*, the device will enter the external host mode, otherwise the device will enter the normal operation mode.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 6: P89V51RB2/RC2/RD2 pin description ...continued

Symbol	Pin			Type	Description
	DIP40	TQFP44	PLCC44		
$\overline{EA}$	31	29	35	I	**External Access Enable**: $\overline{EA}$ must be connected to V_{SS} in order to enable the device to fetch code from the external program memory. $\overline{EA}$ must be strapped to V_{DD} for internal program execution. However, Security lock level 4 will disable $\overline{EA}$, and program execution is only possible from internal program memory. The $\overline{EA}$ pin can tolerate a high voltage of 12 V.
ALE/ $\overline{PROG}$	30	27	33	I/O	**Address Latch Enable:** ALE is the output signal for latching the low byte of the address during an access to external memory. This pin is also the programming pulse input ($\overline{PROG}$) for flash programming. Normally the ALE[1] is emitted at a constant rate of 1/6 the crystal frequency[2] and can be used for external timing and clocking. One ALE pulse is skipped during each access to external data memory. However, if AO is set to '1', ALE is disabled.
NC	-	6, 17, 28, 39	1, 12, 23, 34	I/O	**No Connect**
XTAL1	19	15	21	I	**Crystal 1**: Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generator circuits.
XTAL2	18	14	20	O	**Crystal 2:** Output from the inverting oscillator amplifier.
V_{DD}	40	38	44	I	**Power supply**
V_{SS}	20	16	22	I	**Ground**

[1] ALE loading issue: When ALE pin experiences higher loading (>30 pF) during the reset, the microcontroller may accidentally enter into modes other than normal working mode. The solution is to add a pull-up resistor of 3 kΩ to 50 kΩ to V_{DD}, e.g., for ALE pin.

[2] For 6-clock mode, ALE is emitted at 1/3 of crystal frequency.

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2004. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้