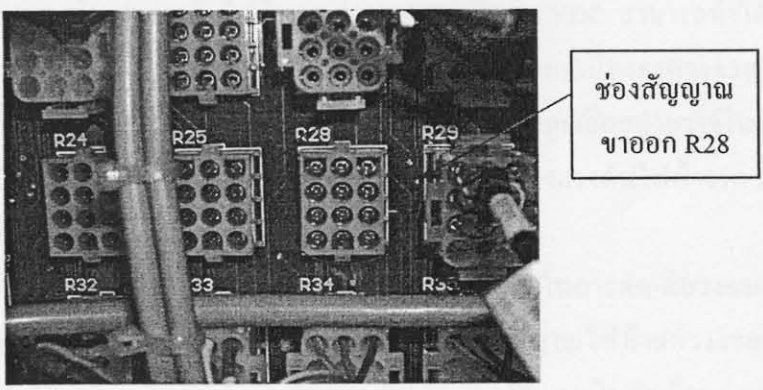
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาคู่มือการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี Cincinnati Arrow VMC750 และหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Kuka KR C6 อย่างละเอียด แล้วทำการออกแบบวงจรเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องจักรทั้งสอง รวมทั้งการสร้างและปรับปรุงอุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อให้เครื่องจักรทั้งสองทำงานร่วมกันเป็นเซลล์การผลิตอัตโนมัติได้นั้น ผลการศึกษาและทดลองจะได้กล่าวถึงโดยละเอียด ดังนี้

4.1 การตรวจสอบสภาวะการทำงานของ I/O Board และการเชื่อมต่ออุปกรณ์

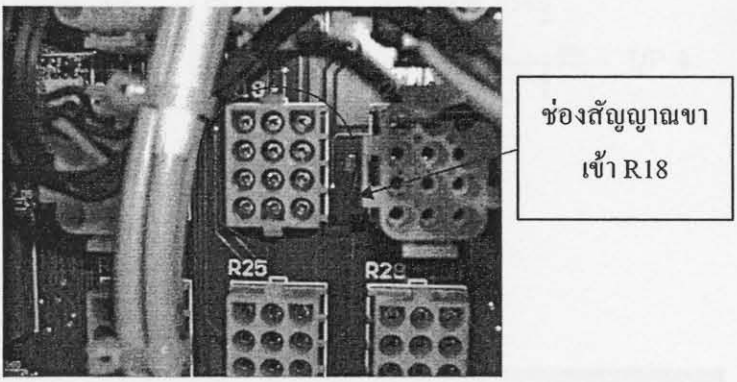
ก่อนที่จะทำการต่ออุปกรณ์เข้ากับเครื่องกัดซีเอ็นซี จะต้องตรวจสอบสภาวะการทำงานของ I/O Board เครื่องกัดซีเอ็นซีก่อนว่า สัญญาณเอาท์พุทและอินพุทอยู่ที่ตำแหน่งใดของ I/O Board และมีการจ่ายเอาท์พุทแบบใด จากการตรวจสอบจากวงจรไฟฟ้าของเครื่องซีเอ็นซีและการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าบน I/O Board ปรากฏว่ามีการจ่ายสัญญาณเอาท์พุททางช่องสัญญาณ R28 ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ช่องสัญญาณเอาท์พุท R28 มีขาจ่ายสัญญาณ 12 ขา จ่ายสัญญาณเอาท์พุทออกเป็นไฟฟ้าแรงดัน 110 VAC ซึ่งลักษณะการนำเอาท์พุทไปใช้งานได้กล่าวไว้โดยละเอียดแล้วในบทที่ 3



รูปที่ 4.1 ช่องสัญญาณขาออกของเครื่องกัดซีเอ็นซี

เนื่องจากเครื่องกัดซีเอ็นซี Cincinnati Arrow VMC750 เป็นเครื่องซีเอ็นซีแบบลูปปิด ดังนั้น เมื่อนำสัญญาณเอาท์พุทไปใช้งานจะต้องมีการตรวจสอบสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ที่นำมาต่อพ่วง ค่าสัญญาณอินพุทหรือสัญญาณ Feedback จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเครื่องจักรที่มีการ

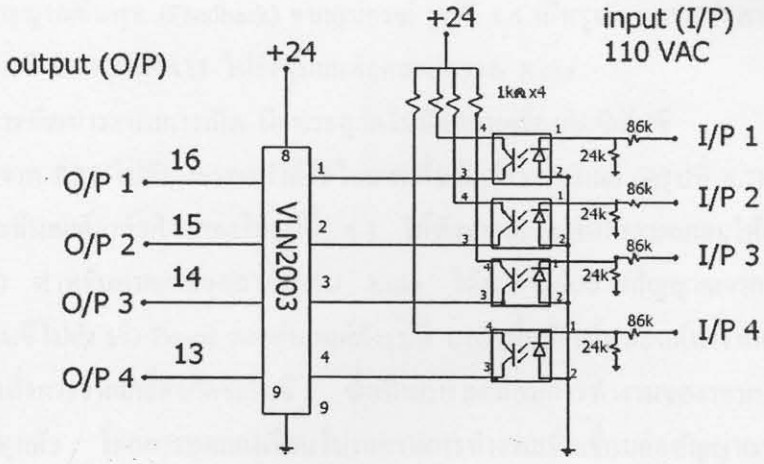
ออกแบบในลักษณะนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ช่องสัญญาณ R18 คือตำแหน่งของการรับค่าสัญญาณอินพุท จากการตรวจสอบและวัดค่าแรงดันไฟฟ้าพบว่า ช่องสัญญาณ R18 รับสัญญาณเป็นไฟฟ้าแรงดัน 24 VDC มีขารับสัญญาณ 12 ขา เช่นเดียวกับช่องสัญญาณ R28 ซึ่งมีรูปแบบการต่อรับสัญญาณตามวงจรไฟฟ้าดังที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 3



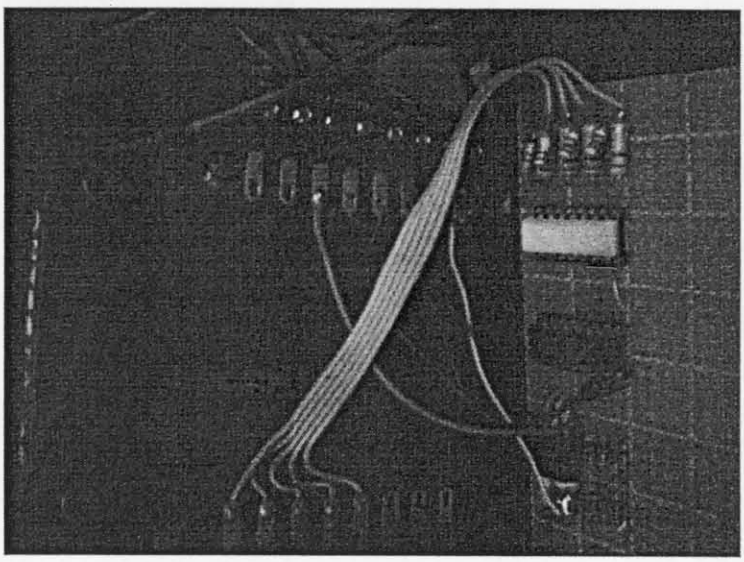
รูปที่ 4.2 ช่องสัญญาณอินพุทหรือ Feedback ของเครื่องกัดซีเอ็นซี

จะสังเกตได้ว่าสัญญาณเอาท์พุทและอินพุทของเครื่องกัดซีเอ็นซีมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นการนำอุปกรณ์มาต่อพ่วงจะต้องสามารถรับค่าแรงดัน 110 VAC และจ่ายสัญญาณออกเป็น 24 VDC ได้ ซึ่งในความเป็นจริงอุปกรณ์พื้นฐานที่มีอยู่โดยทั่วไปไม่สามารถทำได้ จึงจำเป็นต้องแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าทางเอาท์พุทให้เท่ากับอินพุทเสียก่อน แล้วเลือกใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงที่รับค่าแรงดัน 24 VDC มาใช้งาน วิธีการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าจาก 110 VAC เป็น 24 VDC สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า ใช้วงจรออปโต้ไอโซเลท (Opto-Isolate) แต่เนื่องจากวงจรออปโต้ไอโซเลท เป็นวงจรที่ไม่มีหน้าสัมผัสโดยตรงและประหยัดค่าใช้จ่าย จึงถูกเลือกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ รูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นการออกแบบวงจรออปโต้ไอโซเลทเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 110 VAC เป็น 24 VDC เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของรีเลย์ (Relay) ต่อไป

วงจรออปโต้ไอโซเลททำหน้าที่เปรียบเสมือนรีเลย์สวิตช์ ในการตัด-ต่อวงจรเมื่อได้รับคำสั่ง ในขณะที่รีเลย์สวิตช์ใช้หน้าสัมผัสโลหะในการตัด-ต่อสัญญาณไฟฟ้าแต่วงจรออปโต้ไอโซเลทใช้อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคในการตัดต่อสัญญาณไฟฟ้า และใช้แสงเป็นตัวเชื่อมต่อวงจรแทนหน้าสัมผัสโลหะ จึงทำให้วงจรออปโต้ไอโซเลทสามารถตัดต่อวงจรไฟฟ้าที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุทและเอาท์พุทที่ต่างกันได้ รูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรออปโต้ไอโซเลท



รูปที่ 4.3 วงจรออปโต้ไอโซเลท

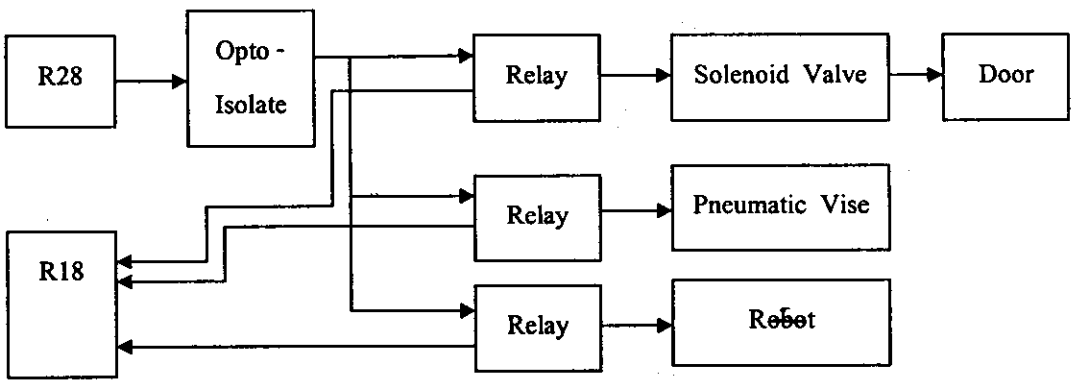


รูปที่ 4.4 การต่อวงจรออปโต้ไอโซเลท

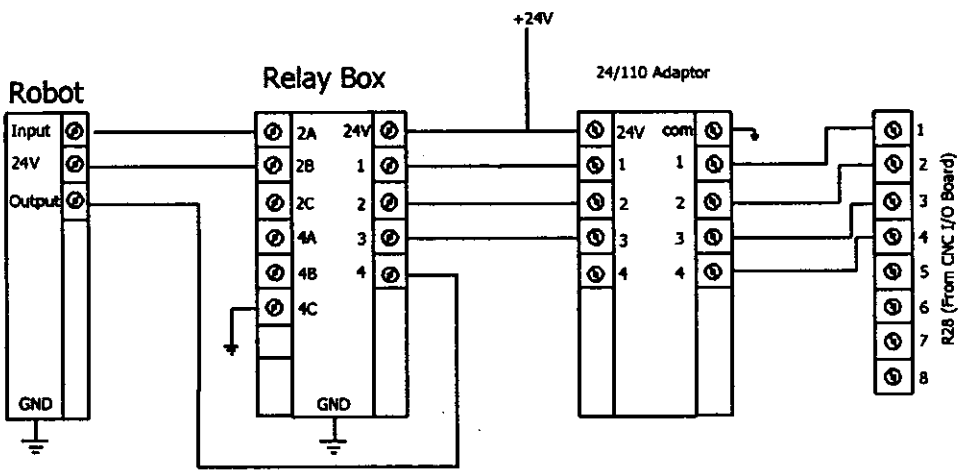
เมื่อได้อุปกรณ์แปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าจาก 110 VAC เป็น 24 VDC แล้วจึงทำการต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับวงจรเอาท์พุททางช่องสัญญาณ R28 ตามแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องกัดซีเอ็นซี Cincinnati และหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Kuka เมื่อมีการต่อวงจรทางด้านเอาท์พุทของ I/O Board จากเครื่องกัดซีเอ็นซี ในส่วนของด้านอินพุทจะต้องมีการตรวจเช็คสัญญาณของสถานะการทำงานของอุปกรณ์ทางด้านเอาท์พุทด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการต่อสายสัญญาณอินพุททางช่องสัญญาณ R18 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นไดอะแกรมแสดงรูปแบบการต่อสายสัญญาณทางด้านเอาท์พุทกับอุปกรณ์

และการรับสัญญาณอินพุท (Feedback) จากอุปกรณ์ รูปที่ 4.6 เป็นรูปแบบการต่อสายสัญญาณจากเครื่องกัดซีเอ็นซี CINCINNATI ไปยังหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Kuka

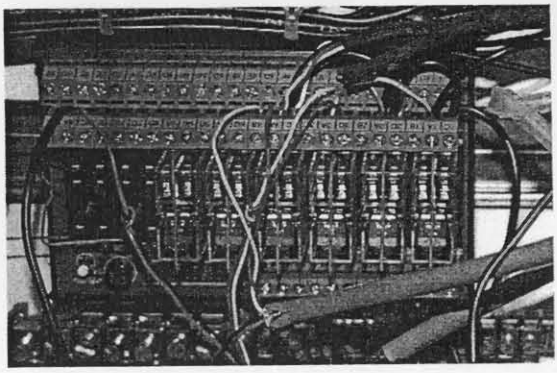
ในการพัฒนาระบบการเปิด–ปิดประตูอัตโนมัติของเครื่องกัดซีเอ็นซี ได้ทำการต่อสายสัญญาณจาก R28 ไปยังวงจรออปโต้ไอโซเลทเพื่อต่อเข้าวงจรรีเลย์ (ดูรูปที่ 4.7) ให้ตัดต่อการทำงานของโซลีนอยด์วาล์วดังแสดงในรูปที่ 4.8 ให้สั่งจ่ายลมไปดันกระบอกลมให้เปิด–ปิดประตู (ดูรูปที่ 4.9) สำหรับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Kuka ได้ทำการต่อสายสัญญาณจากวงจรรีเลย์ของเครื่องกัดซีเอ็นซีไปยัง I/O Board ของหุ่นยนต์ดังรูปที่ 4.10 เพื่อสั่งให้หุ่นยนต์ทำงานตามโปรแกรมเมื่อได้รับการสั่งการจากเครื่องกัดซีเอ็นซี ซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของระบบเมื่อทำการต่ออุปกรณ์ครบทุกตัว โดยการทดลองเขียนโปรแกรมการทำงานเพื่อเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องซีเอ็นซีกับหุ่นยนต์



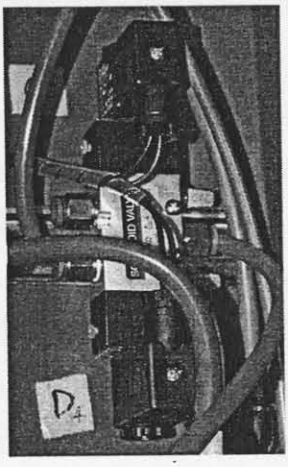
รูปที่ 4.5 ไดอะแกรมแสดงการต่ออุปกรณ์กับช่องสัญญาณเอาท์พุท – อินพุท



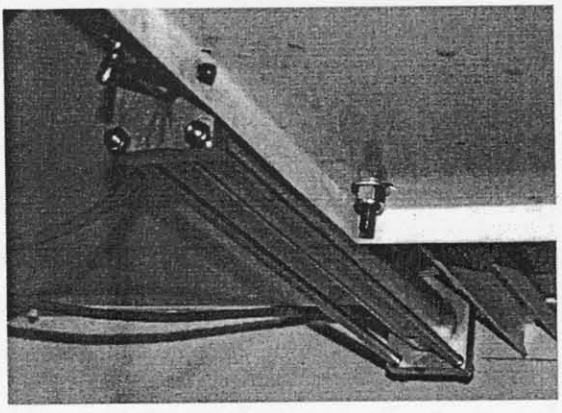
รูปที่ 4.6 รูปแบบการต่อสายสัญญาณจากช่อง R28 ไปยังหุ่นยนต์



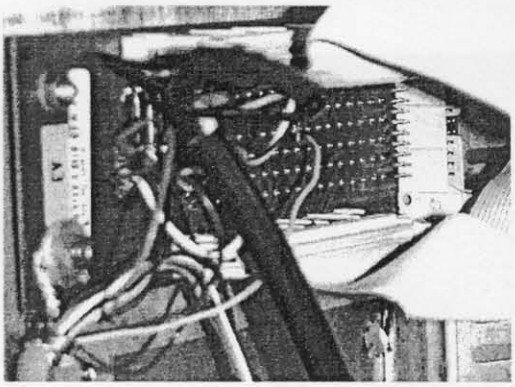
รูปที่ 4.7 การต่อสายสัญญาณเข้าวงจรรีเลย์ (Relay)



รูปที่ 4.8 การต่อสายสัญญาณเข้าโซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)



รูปที่ 4.9 การติดตั้งกระบอกลมสำหรับเปิด–ปิดประตู

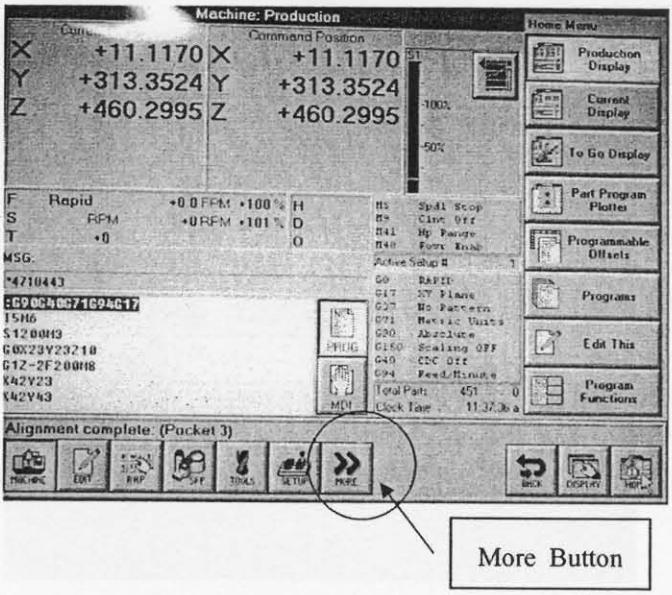


รูปที่ 4.10 การต่อสายสัญญาณเข้ากับหุ่นยนต์

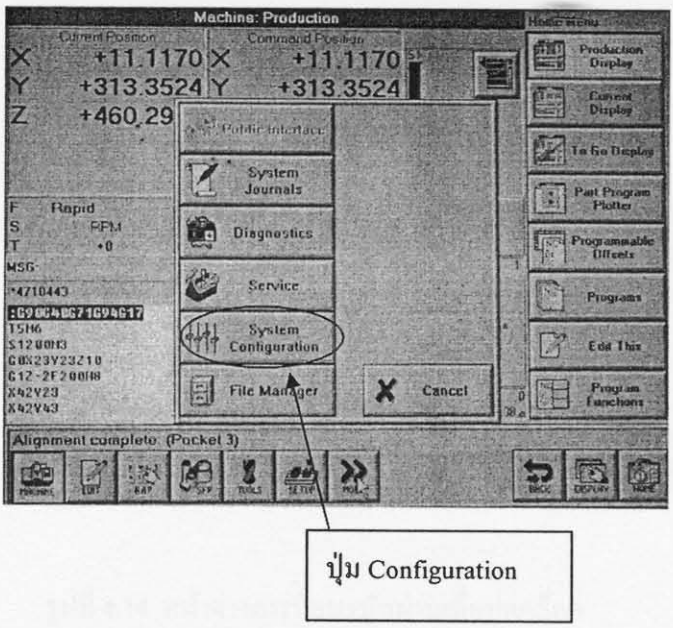
4.2 ตัวอย่างโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซีและหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

เครื่องกัดซีเอ็นซี Cincinnati สามารถควบคุมการทำงานด้วยการป้อนคำสั่งเป็นโค้ดโปรแกรมเข้าไปให้ควบคุมการทำงานของเครื่อง เช่นเดียวกันกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Kuka แต่เครื่องกัดซีเอ็นซีนั้นยังไม่สามารถใช้คำสั่ง M70-M79 ได้ เนื่องจากคำสั่งดังกล่าวเป็นออปชั่นของเครื่องซึ่งทางผู้ผลิตได้ปิดพารามิเตอร์เอาไว้ ดังนั้นก่อนการทดสอบจึงต้องทำการเปิดพารามิเตอร์ดังกล่าวเสียก่อน โดยปกติเมื่อเปิดเครื่องซีเอ็นซีให้อยู่ในสภาพที่พร้อมทำงาน หน้าจอของเครื่องจะปรากฏดังแสดงในรูปที่ 4.11 ในการที่จะเปิดออปชั่นการทำงานของ M70-M79 ทำได้โดยกดปุ่มที่คำสั่ง MORE จะปรากฏหน้าต่างใหม่ (Configuration Menu) ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งในหน้าต่างนี้จะมองเห็นปุ่ม M70 ถูกปิดการทำงานทำให้ไม่ให้สามารถเข้าไปแก้ไขได้ ต้องเข้าไปในเมนู Security ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าปุ่มการรับค่าออปชั่น M70's เป็นสีเทาและไม่สามารถเข้าไปทำการแก้ไขใด ๆ ได้ จนกว่าจะมีการปลดล็อคใน Security Mode เสียก่อน เมื่อทำการใส่รหัส (Password) เพื่อทำการปลดล็อค (ดูรูปที่ 4.14) จะเห็นได้ว่าปุ่มการทำงานออปชั่น M70's เป็นสีเข้มและสามารถเข้าไปทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ ฟังก์ชั่น M70-M79 ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. ซึ่งเป็นคู่มือการใช้ฟังก์ชั่น M70-M79

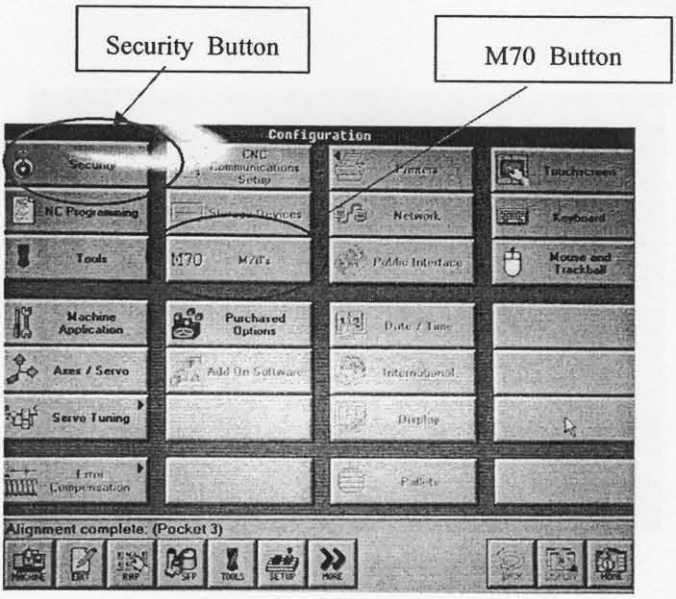
การตั้งค่าการทำงานของฟังก์ชั่น M70 – M79 สามารถตั้งค่าเอาท์พุทเป็นสัญญาณปกติเปิดหรือปกติปิดก็ได้ นอกจากนี้ยังสามารถตั้งค่าความกว้างช่วงคลื่น (Pulse Width) และตั้งค่าเวลาก่อนการ Alarm ในกรณีที่โปรแกรมไม่ได้รับสัญญาณตอบกลับ (Feedback) ซึ่งสัญญาณตอบกลับนี้สามารถเลือกเป็นคำสั่ง M Code, Pulsed หรือ Feedback0-9 ได้ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน รูปที่ 4.16 แสดงการตั้งค่าฟังก์ชั่น M70-M79 และตั้งค่าการตอบรับ Feedback ให้ตรงกับ M Function ในรูปที่ 4.17



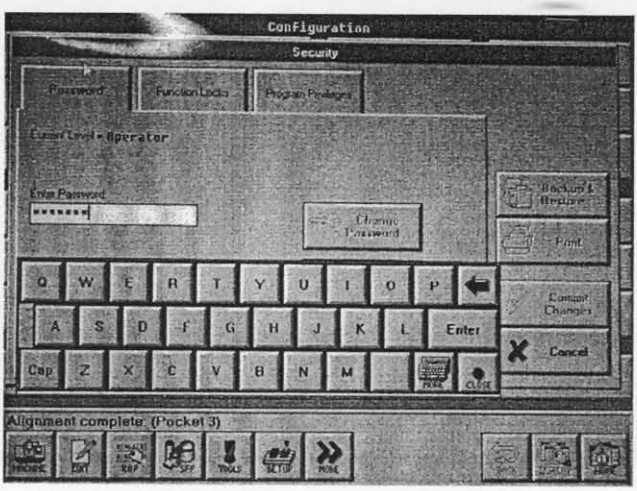
รูปที่ 4.11 หน้าต่างจอภาพการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซี



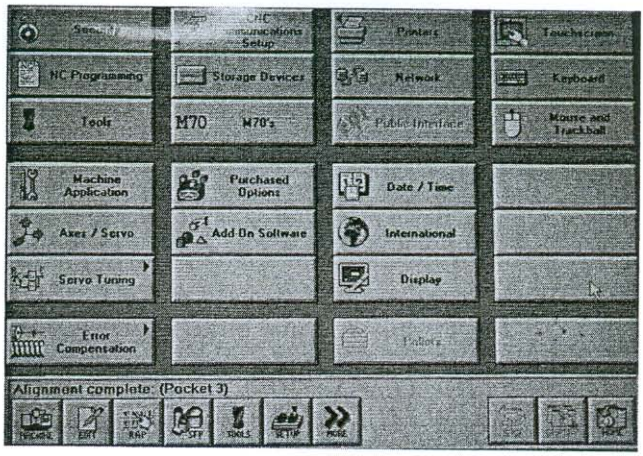
รูปที่ 4.12 หน้าต่างเมนูการแก้ไข Configuration



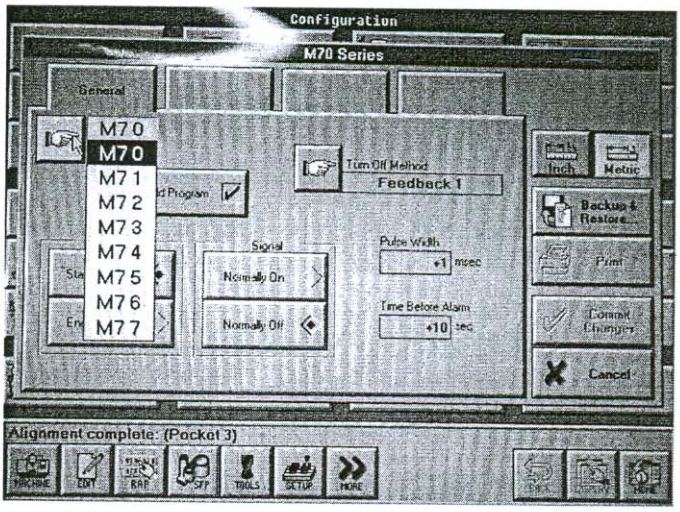
รูปที่ 4.13 การใส่รหัสปลดล็อคใน Security Mode



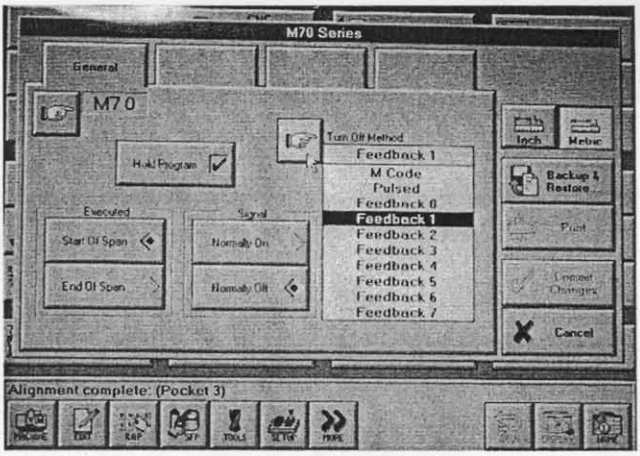
รูปที่ 4.14 หน้าต่างการป้อนรหัสผ่านเพื่อปลดล็อค



รูปที่ 4.15 หน้าต่างแสดงการเปิดออปชั่น M70's



รูปที่ 4.16 การตั้งค่าฟังก์ชั่น M70-M79



รูปที่ 4.17 การตั้งค่า Feedback ให้ตรงกับ M Function

เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟังก์ชั่น M70-M79 เรียบร้อยแล้วจึงทำการตรวจสอบสถานะการทำงานของ M Function ต่าง ๆ ที่ได้ทำการออกแบบไว้ว่าจ่ายเอาท์พุทตรงกับค่าการนำไปใช้งานของอุปกรณ์หรือไม่ และเมื่อมีสัญญาณอินพุทเข้ามา โปรแกรมสามารถรับค่าได้หรือไม่ ผลการทดสอบวัดค่าสัญญาณเพื่อแสดงสถานะการทำงานของการจ่ายสัญญาณเอาท์พุทและการรับสัญญาณอินพุทเมื่อมีการสั่งงานด้วยฟังก์ชั่น M70's แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

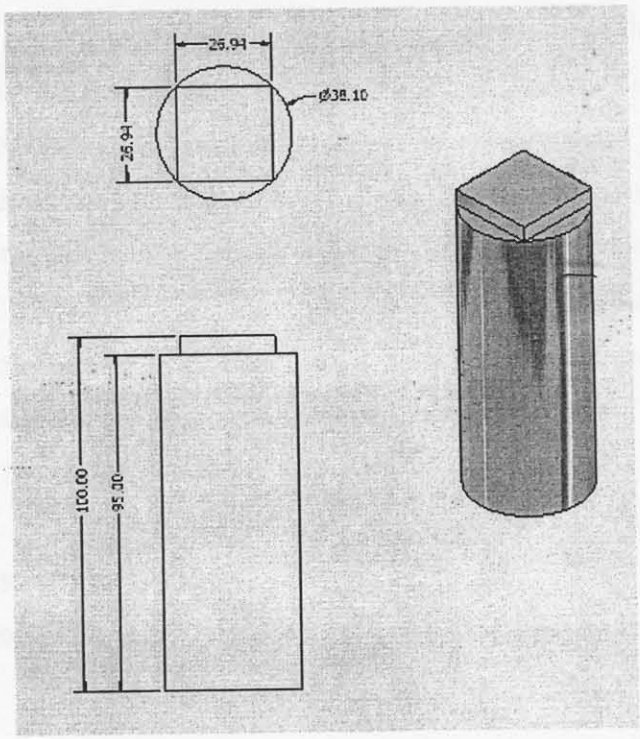
ตารางที่ 4.1 สถานะการทำงานของสัญญาณเอาท์พุทและอินพุทเมื่อมีการสั่งงานด้วย M70's

M Code	Logic	Output Signal	Logic	Input Signal
M70	1	110 VAC	0	0 VDC
M70.1	0	0 VAC	1	24 VDC
M71	1	110 VAC	0	0 VDC
M71.1	0	0 VAC	1	24 VDC
M72	1	110 VAC	0	0 VDC
M72.1	0	0 VAC	1	24 VDC
M73	1	110 VAC	0	0 VDC
M73.1	0	0 VAC	1	24 VDC

Logic = 1 มีการจ่ายสัญญาณ Logic = 0 ไม่มีการจ่ายสัญญาณ

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าเมื่อมีการใช้คำสั่ง M-Function จะทำให้มีการจ่ายสัญญาณเอาท์พุทออกเป็นไฟฟ้าแรงดัน 110 VAC เพื่อสั่งจ่ายให้อุปกรณ์ที่ได้รับการต่อพ่วงกับช่องสัญญาณดังกล่าวทำงานและโปรแกรมจะหยุดรอจนว่ามีสัญญาณ Feedback กลับมายกเลิกการทำงานโปรแกรมถึงจะดำเนินงานต่อไป สัญญาณ Feedback ที่นำมายกเลิกการทำงานอาจเป็น M Code เช่น M70.1 ทำการยกเลิกการทำงานของ M70 คำสั่ง M71.1 ทำการยกเลิกการทำงานของ M71 เป็นต้น หรืออาจทำการยกเลิกการทำงานของ M-Function โดยสัญญาณ Feedback ซึ่งเป็นไฟฟ้าแรงดัน 24 VDC ที่ต่อกับอุปกรณ์ตรวจสอบการทำงานของคำสั่ง เช่น Limit switch และ Proximity เป็นต้น

หลังจากตรวจสอบการรับ-จ่ายสัญญาณจนเป็นที่แน่ใจแล้ว จึงทำการทดลองเขียนโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรทั้งสองเครื่อง เพื่อทดสอบการทำงานว่าเป็นไปตามลำดับขั้นตอนที่ตั้งไว้หรือไม่ รูปที่ 4.18 เป็นแบบของชิ้นงานสำหรับการทดสอบการเชื่อมโยงการทำงานระหว่างเครื่องกัดซีเอ็นซี CINCINNATI และหุ่นยนต์อุตสาหกรรม Kuka



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างชิ้นงานสำหรับการทดลอง

4.2.1 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมของเครื่องกัดซีเอ็นซี Cincinnati

จากรูปที่ 4.18 สามารถนำมาเขียนโค้ดโปรแกรมงานกัดได้ดังโปรแกรมด้านล่างนี้ เพื่อทำการกัดชิ้นงาน 2 ชิ้น โดยสามารถดูความหมายของโค้ดที่ใช้ในภาคผนวก ข

: G0 T1 M6	เปลี่ยนทูลหมายเลข 1
N10 G90 G17 S1200 M3 F100	สั่งสปินเดิลหมุน 1200 RPM
N20 G0 Z100	ไปที่ตำแหน่ง Z100
N30 G0 X0 Y100	ไปที่ตำแหน่ง X0 Y100
N40 M70	เปิดประตู
N50 M72	ปากกา Unclamp
N60 M73	สั่งให้หุ่นยนต์หยิบชิ้นงานเข้า
N70 M72.1	ปากกา Clamp
N80 M71	ปิดประตู
N90 G25 X0 Y0 U13 V13 R0 Z-5 ,R0 J2.5 Q10 K5 I0.5 S1000	กัดชิ้นงานตามแบบ
N100 G00 Z100 M5	เคลื่อนสปินเดิลไปใน ตำแหน่งที่ปลอดภัย
N110 X0 Y100	ไปที่ตำแหน่ง X0 Y100
N120 M70	เปิดประตู
N130 M72	ปากกา Unclamp
N140 M73	สั่งให้หุ่นยนต์หยิบงานออก และหยิบชิ้นที่ 2 เข้า
N150 M72.1	ปากกา Clamp
N160 M71	ปิดประตู
N170 G25 X0 Y0 U13 V13 R0 Z-5 ,R0 J2.5 Q10 K5 I0.5 S1000 M3	กัดชิ้นงานตามแบบ
N190 G00 Z100 M5	
N200 M30	จบโปรแกรม

4.2.2 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมของหุ่นยนต์ Kuka

```
1  ⇨  INT
2   PTP HOME VEL = 100% DEFAULT
3   PTP P1 VEL=100%
4   PTP P 2 VEL=50 %
5   OUT 17
6   PTP P3 VEL=20%
7   OUT 18
8   PTP HOME VEL=100%
9   WAIT FOR IN 1'' STATE=TRUE
10  PTP P 4 VEL=100%
11  PTP P 5 VEL=30%
12  OUT 17
13  PTP P6 VEL=30%
14  OUT 18
15  PTP HOME VEL=100%
16  OUT 20 '' STATE=TRUE CONT
17  WAIT TIME = 3 SEC
18  OUT 20 '' STATE = FALSE CONT
19  PTP P4 VEL 100%
20  OUT 17
21  PTP P 5 VEL 30%
22  PTP P 4 VEL=30%
23  PTP P 7 VEL=100%
24  OUT 18
25  OUT 20 '' STATE=TRUE CONT
26  WAIT TIME = 3 SEC
27  OUT 20 '' STATE = FALSE CONT
28  WAIT FOR IN 1'' STATE=TRUE
```

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปจับชิ้นงานชิ้นที่ 1 ที่ถูกวางไว้ในตำแหน่งที่ 1

รอจนกว่ามีสัญญาณจากเครื่องกัดซีเอ็นซี

หุ่นยนต์เคลื่อนที่นำชิ้นงานไปใส่ในเครื่องซีเอ็นซี และกลับมาในตำแหน่งเดิม

ส่งสัญญาณให้เครื่องซีเอ็นซีทำงานตามโปรแกรม

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปหยิบชิ้นงานออกจากเครื่องซีเอ็นซี ไปวางในตำแหน่งที่ 1 และจับชิ้นที่ 2 ไปใส่ในเครื่องซีเอ็นซี

รอรับคำสั่งจากเครื่องซีเอ็นซี

```
29  PTP P 8 VEL=30%                    หุ่นยนต์เคลื่อนที่ออกจาก
                                       เครื่องซีเอ็นซี
30  PTP HOME VEL=100%
31  PTP P 4 VEL=100%                   หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปหยิบ
32  PTP P 5 VEL=30%                    ชิ้นงานออกจากเครื่อง
33  OUT 17                             ซีเอ็นซีไปวางใน
34  PTP P6 VEL=30%                     ตำแหน่งที่ 2และกลับมา
35  OUT 18                             ในตำแหน่งเดิม
36  PTP HOME VEL=100%
37  END                                จบการทำงาน
```

เมื่อทำการทดสอบตามโปรแกรมที่เขียนไว้ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นได้ว่าเครื่องจักรทั้งสองสามารถทำงานตามโปรแกรมได้อย่างถูกต้องและสัมพันธ์กัน กล่าวคือเมื่อเครื่องกัดซีเอ็นซีสั่งให้หุ่นยนต์หยิบชิ้นงานโดยใช้คำสั่ง M73 หุ่นยนต์มีการสนองต่อคำสั่งและเครื่องซีเอ็นซีมีการหยุดรอจนกว่าจะมีสัญญาณสั่งการจากหุ่นยนต์อีกครั้ง ซึ่งแสดงว่าเครื่องจักรทั้งสองสามารถเชื่อมโยงข้อมูลเป็นหน่วยการผลิตเดียวกัน ตัวอย่างเพิ่มเติมสามารถดูได้ในภาคผนวก ค