



การประยุกต์หุ่นยนต์สำหรับการเชื่อมประสาน
AUTOMOTIVE PART ARC – WELDING – ROBOT EVOLUTION

นายสันติ วิริยะสุมน รหัส 48360731
นายรัชชัย โปธิสิทธิ์ศักดิ์ รหัส 48363077

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ.....
เลขทะเบียน..... 15067583 ๕.2
เลขเรียกหนังสือ..... 15
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 25๖2


ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2552



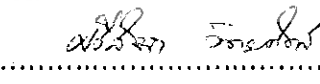
ใบรับรองปริญญาโท

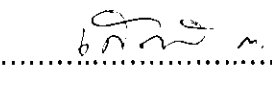
ชื่อหัวข้อโครงการ	การประยุกต์หุ่นยนต์สำหรับการเชื่อมประสาน		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายสันติ วิริยะสุนน	รหัส	48360731
	นายรัชชัช โพธิ์สิทธิ์ศักดิ์	รหัส	48363077
ที่ปรึกษาโครงการ	รองศาสตราจารย์.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2552		

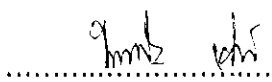
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ


.....ที่ปรึกษาโครงการ
(รองศาสตราจารย์.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ธนา บุญอุทิศ)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ศรีสังจา วิทยศักดิ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ เสาวลักษณ์ ทองกลั่น)


.....กรรมการ
(อาจารย์ วัฒนชัย เขาวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การประยุกต์หุ่นยนต์สำหรับการเชื่อมประสาน		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายสันติ วิริยะสุนน	รหัส	48360731
	นายรัชชัช โพธิสิทธิ์ศักดิ์	รหัส	48363077
ที่ปรึกษาโครงการ	รองศาสตราจารย์.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2552		

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตจะใช้กระบวนการเชื่อมไฟฟ้า สำหรับต่อโลหะหรือการประกอบชิ้นงาน ซึ่งมีทั้งลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์และลวดเชื่อมเปลือย พบว่า ส่วนมากจะเลือกใช้ลวดเชื่อมเปลือย เพราะว่า จะลดเวลาในการทำงาน และลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตก็ยังคำนึงถึงประสิทธิภาพเป็นหลัก ดังนั้น วิธีการเชื่อมที่นำมาใช้จำเป็นต้องมีการกำหนดวิธีการใช้ให้เหมาะสม เช่น การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพของแนวเชื่อม และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานเชื่อมที่เกิดขึ้นจากองค์ประกอบในการเชื่อม เช่น ค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม ระยะอาร์ค ความเร็วในการเชื่อม เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่มีความหนา 12 มิลลิเมตรมา เป็นชิ้นงานทดลอง เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW ที่ใช้แขนกลควบคุมการเชื่อม โดยการเชื่อมเป็นแบบเดินแนวบนชิ้นงาน ในตำแหน่งการเชื่อมทำราบ ใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.20 : E71-T1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร การควบคุมองค์ประกอบ การเชื่อมใช้ตามมาตรฐาน AWS D1.1 (AMERICAN WELDING SOCIETY) โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซปกคลุมบริเวณการเชื่อม ที่อัตราการไหล 25 ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง ระยะอาร์ค 3 มิลลิเมตร

ผลของการทดลองครั้งนี้พบว่า กระบวนการเชื่อม GMAW ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ความแข็งแรง และความนูนของแนวเชื่อม เป็นตามมาตรฐาน และกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในงานเชื่อม ซึ่งผลการทดลองที่ได้นี้ เป็นผลจากการทดลองตามรายละเอียดข้างต้นเท่านั้น แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดไปก็จะต้องทำการทดลองใหม่

Project title AUTOMOTIVE PART ARC-WELDING ROBOT EVOLUTION
Name Mr. Santi viriyasumon ID. 48360731
Mr.Thawatchai Phothisitthisak ID. 48363077
Project advisor Assoc.Prof.Dr. Kawin Sonthipermpon

Major Industrial Engineering
Department Industrial Engineering
Academic year 2009

.....
Abstract

Nowadays, arc welding process plays an important role in the manufacturing process in order to joint or assembly workpieces together. There are two types of welding electrode being used in the arc welding process i.e. covered electrode and bare electrode. The bare electrode is more preferable than the covered one because of it can reduce the working time, reduce of slack inclusion, etc. So, it most suitable for used, however the quality of the welding work depends upon the other welding factors such as wire feed speed, arc length and welding speed.

This project aimed to study the influence of welding factors on the quality of weldment. An experimental work used GMAW welding process controlled by robot. Workpieces used in this experiment were low carbon steel materials of 12 mm. thickness and low carbon steel electrode (AWS A5.20 : ER71T-1) sized 0.9 mm. in diameter. The experiment was set according to AWS standard which was used carbon dioxide to shielding gas with the flow rate of 25 f3/h, arc length of 3 mm.The welded workpieces were examined microstructure to measure welding geometry such as penetration, width and reinforcement.

The results of this study showed that penetration, width and reinforcement were increased when increasing welding feed speeds. This result agreed with the hypothesis. However, a new experiment should be carried out if the hypothesis was changed.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง “การประยุกต์หุ่นยนต์สำหรับการเชื่อมประสาน” ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็เนื่องจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านได้แก่

- คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้เงินสนับสนุนโครงการวิจัย
- รศ.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบดำเนินการและช่วยเหลือแนะนำโครงการวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

- คณะครูช่าง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆแก่ข้าพเจ้า ในการทำโครงการวิจัยนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายสันติ วิริยะสุนน

นายรัชชัย โพธิสิทธิ์ศักดิ์

กุมภาพันธ์ 2553



สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ

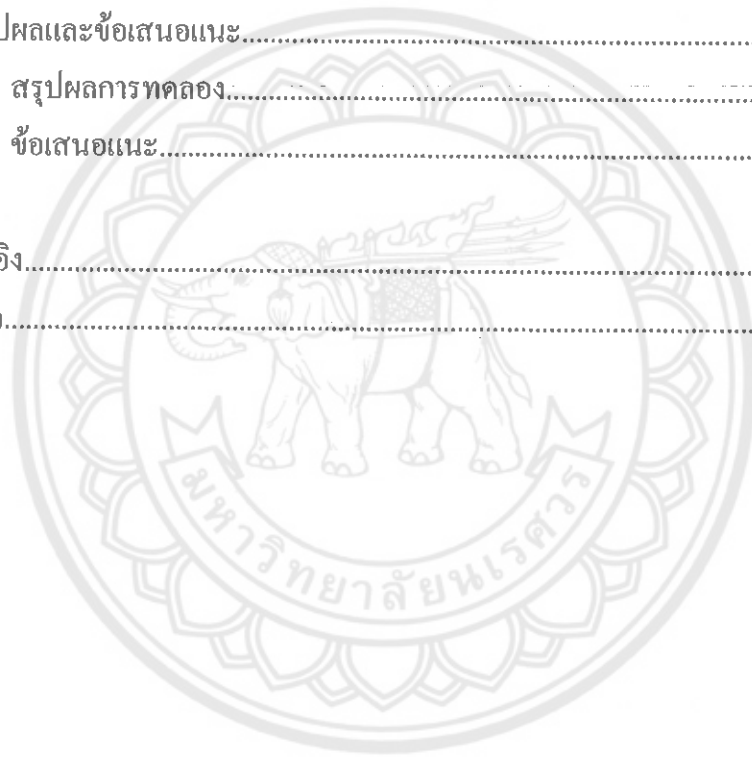
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ.....	2
1.6 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน(Output).....	2
1.7 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ(Outcome).....	2
1.8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ.....	3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	4
2.1 ระบบเบื้องต้นเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม.....	4
2.2 โปรแกรมการเคลื่อนที่ (Motion programming).....	10
2.3 ทฤษฎีกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (Welding Processes).....	23
2.4 การตรวจสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อม.....	30

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	32
3.1 การออกแบบการทดลอง.....	32
3.2 การเตรียมการทดลอง.....	34
3.3 การใช้ระบบควบคุมและสั่งงานหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA Robot - KR125.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 วิธีการเชื่อม.....	39
3.5 วิธีการศึกษาคุณภาพแนวเชื่อม.....	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	40
4.1 ผลการดำเนินงาน.....	40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก.....	51



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ.....	3
2.1 แสดง Cartesian Coordinate แบบต่างๆ.....	11
2.2 แสดง System Variable สำหรับความเร็วและอัตราเร่งของ CP.....	15
2.3 Default Setting of \$ORI_TYPE and \$CIRC_TYPE.....	18
2.4 System variable ที่ใช้ในการเริ่มต้นทำ Approximate.....	19
3.1 แสดงค่าตัวแปรการเชื่อม.....	33
3.2 ค่าพารามิเตอร์ของคำสั่ง PTP.....	37
3.3 แสดงการปรับค่าตัวแปรการเชื่อม.....	39
4.1 แสดงผลระยะความกว้างและระยะความสูงของแนวเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม.....	40
4.2 แสดงค่าเฉลี่ยระยะความกว้างของแนวเชื่อม.....	44
4.3 แสดงค่าเฉลี่ยระยะความสูงของแนวเชื่อม.....	45
ก.1 แสดงลวดเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานและแก๊สที่เหมาะสม.....	50
ก.2 แสดงแก๊สแต่ละชนิดและแก๊สผสมที่ใช้ปกป้องรอยเชื่อมสำหรับการเชื่อมแบบGMAW.....	51
ก.3 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมแบบ GMAW.....	52
ก.4 ผลของความยาวของ stickout ที่มีต่อลักษณะของการเชื่อม.....	53

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในทิศทาง + และ - ในระบบพิกัดแบบ Joint.....	4
2.2 แสดงจุดกำเนิดและทิศทางการวางตัวของแกนคาร์ทีเซียน XYZ ในระบบพิกัดแบบ World.....	5
2.3 แสดงการควบคุมทิศทางการวางตัวของ End Effector ตามแกนของคาร์ทีเซียน XYZ A,B และ C คือการหมุนหรือ Orientation รอบแกน Z,Y และ X ตามลำดับ.....	5
2.4 แสดงระบบ Tool Coordinate System.....	6
2.5 แสดง Coordinate ต่างๆ.....	6
2.6 แสดงส่วนประกอบและอุปกรณ์ในขณะ Mastering.....	8
2.7 แสดงตำแหน่งและทิศทางอ้างอิงที่สำคัญในกระบวนการ Mastering.....	8
2.8 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของ tool-center-point ที่กำหนดบน End Effector.....	9
2.9 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าพิกัดของ Tool ในวิธี XYZ 4 point.....	9
2.10 แสดงตัวอย่างการกำหนด Orientation ของ Tool ในวิธี “ABC World” 6D.....	10
2.11 Cartesian Coordinate System สำหรับหุ่นยนต์.....	12
2.12 แสดงการเคลื่อนที่ใน Tool Coordinate system.....	12
2.13 แสดงการเคลื่อนที่ใน \$BASE Coordinate system.....	13
2.14 Velocity profile สำหรับการเคลื่อนที่แบบ Synchronous P - T - P.....	14
2.15 แสดงความเร็วของ higher motion profile.....	14
2.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Orientation ใน linear motion.....	15
2.17 Constant – path related Orientation Control.....	16
2.18 Variable path – related Orientation Control.....	17
2.19 Constant space – related Orientation Control.....	17
2.20 Approximate positioning ที่จุดกึ่งกลาง.....	18
2.21 แสดงการเคลื่อนที่ PTP แบบ Absolute และ Relative.....	22
2.22 แสดงความแตกต่างของการเคลื่อนที่แบบ Absolute และ Relative.....	22
2.23 แสดงการจัดกลุ่มกระบวนการเชื่อมของ American Welding Society.....	23
2.24 แสดงหลักการเชื่อมของกระบวนการเชื่อม GMAW.....	24
2.25 แสดงการส่งถ่านน้ำโลหะแบบลัดวงจร.....	25
2.26 แสดงการส่งถ่านน้ำโลหะแบบหยด.....	25
2.27 แสดงการส่งถ่านน้ำโลหะแบบละออง.....	26
2.28 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์พื้นฐานของกระบวนการเชื่อม GMAW.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม.....	28
2.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์ค.....	29
2.31 แสดงระยะของ Electrode Extension และระยะ Arc Leng.....	29
2.32 แสดงมุมตรวจสอบด้วยสายตา.....	31
3.1 แสดงชิ้นงานสำหรับการทดลอง.....	34
3.2 แสดงลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง.....	34
3.3 แสดงเครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.4 แสดงเครื่องควบคุมการป้อนลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.5 แสดงแขนกลที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.6 แสดงหน้าจอของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม.....	38
4.1 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์.....	42
4.2 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 4 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์.....	42
4.3 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 6 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์.....	42
4.4 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 8 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์.....	43
4.5 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 10 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์.....	43
4.6 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 10 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์.....	43
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะความกว้างกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม.....	44
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะความสูงกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม.....	45
4.9 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2, 4, 6, 8 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์.....	46
4.10 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์.....	46
4.11 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดที่เหมาสมกับแรงดันไฟฟ้า.....	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันระบบอัตโนมัติถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์แบบดิจิทัล โดยมี Process หลายตัวซึ่งจะมีการสื่อสารระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งถูกโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาทางอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถ และการสื่อสารยังเป็นหน้าที่หลักจึงทำให้มีความต้องการข้อมูลข่าวสารต่างๆเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะมีการสื่อสารกับเครื่องจักรในระดับสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมให้สามารถแข่งขันทางด้านคุณภาพและปริมาณของสินค้าการผลิตที่รวดเร็วได้มาตรฐานให้สามารถแข่งขันกับอุตสาหกรรมในประเทศและต่างประเทศได้ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ แต่ปัจจัยที่สำคัญคือการนำเอาระบบอัตโนมัติมาช่วยดำเนินการในการผลิตซึ่งพื้นฐานของการศึกษาของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมเพื่อเกิดความเข้าใจในหลักการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในงานเชื่อม โลหะเพื่อเปรียบเทียบถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่จะทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมาตามมาตรฐานและมีคุณภาพ

ระบบอัตโนมัติที่จะนำมาใช้ นอกจากมีระบบของ CAD/CAM, CNC และ CIM แล้วก็ยังมีระบบอัตโนมัติอีกประเภทหนึ่งคือ หุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ 6 แกน เป็นต้นแบบในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากมีความสามารถในการประยุกต์ใช้งาน ได้หลากหลาย ดังนั้นการออกแบบและสร้าง โปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 สามารถทำการแก้ไข คิวเมตริกส์ให้เหมาะสมกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม โลหะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเชื่อมโลหะ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อกำหนดค่าความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่เหมาะสมและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมในงานเชื่อม

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพของงานเชื่อมตามมาตรฐาน ในการปฏิบัติการเชื่อมโลหะถึงคุณภาพของชิ้นงานที่ทำการเชื่อม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

นำชิ้นงานมาทำการเดินแนวเชื่อมโดยวิธีการเชื่อมมิก โดยทำการออกแบบและสร้างโปรแกรมการเคลื่อนที่ควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA KRC 125/2 ให้เหมาะสมกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมโลหะ แรงดันไฟฟ้าและความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่

และแสดงผลการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานเชื่อม โลหะ ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายลง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้และสามารถเข้าใจลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ที่มีผลต่องานเชื่อมโลหะ

1.4.2 ได้แนวทางในการพัฒนาและประยุกต์การควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมในงานเชื่อมโลหะ

1.4.3 แนวทางการตัดสินใจถึงรูปแบบการประยุกต์เคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในอุตสาหกรรมงานเชื่อมโลหะ

1.4.4 สามารถเข้าใจลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์ในงานเชื่อมโลหะในรูปแบบต่างๆกัน พร้อมกับการพัฒนาการเชื่อมโลหะชิ้นงาน โลหะ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ

1.5.1 หาหัวข้อและเสนอหัวข้อ โครงการ

1.5.2 ศึกษาระบบเครื่องมือที่ใช้ในงานปฏิบัติงานเชื่อมของหุ่นยนต์

1.5.3 ศึกษาปัญหาในการปฏิบัติงานเชื่อมของหุ่นยนต์

1.5.4 ออกแบบและทดสอบการใช้โปรแกรม

1.5.5 ตรวจสอบและแก้ไขการใช้โปรแกรม

1.5.6 สรุปและประเมินผลการทดสอบ

1.5.7 จัดพิมพ์รูปเล่ม

1.6 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ได้ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมประสานโดยทำงานผ่านการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามที่กำหนด โดยนำชิ้นงานมาใช้ในการทดลองเชื่อม ตาม โปรแกรมที่กำหนดในการเคลื่อนที่ของแขนกลหุ่นยนต์ออกมา

1.7 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สามารถเข้าใจในกระบวนการและหลักการทำงานของการเชื่อมประสานโดยการประยุกต์ใช้กับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากการทดลองการเชื่อมด้วยแขนกลหุ่นยนต์จริง โดยชิ้นงานในการเชื่อมได้ตามมาตรฐานคุณภาพ

1.8 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	
1.	หาหัวข้อและเสนอ หัวข้อโครงการ	←→							
2.	ศึกษาระบบเครื่องมือ ที่ใช้ในงานปฏิบัติงาน เชื่อมของหุ่นยนต์		←→						
3.	ศึกษาปัญหาในการ ปฏิบัติงานเชื่อมของ หุ่นยนต์			←→					
4.	ออกแบบและทดสอบ การใช้โปรแกรม				←→				
5.	ตรวจสอบและแก้ไข การใช้โปรแกรม						←→		
6.	สรุปและประเมินผล การทดสอบ						←→		
7.	จัดพิมพ์รูปเล่ม							←→	

หมายเหตุ: สัญลักษณ์ ←→ แสดงระยะเวลาของแผนการดำเนินงานที่วางไว้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเบื้องต้นเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม

2.1.1 ระบบพิกัดของหุ่นยนต์

2.1.1.1 Joint Coordinate System

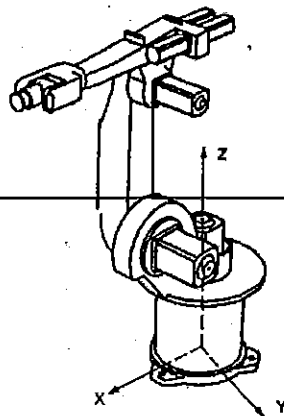
ในระบบ Joint Coordinate System นี้แต่ละแกนของหุ่นยนต์จะถูกกำหนดโดย Coordinate System ของมันเอง เราสามารถเคลื่อนที่แต่ละแกนได้อิสระและรวดเร็วโดยมีทิศทาง + และ - เมื่อกด Manual Traversing key ที่ Teach Pendant ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในทิศทาง + และ - ในระบบพิกัดแบบ Joint
ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.1.1.2 World Coordinate System

World Coordinate System มีการอ้างอิงพิกัดแบบคาร์ทีเซียนใน Work cell โดยจุดกำเนิดของระบบพิกัดจะอยู่ที่ฐานของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 2.2 โดยทิศทางแกน X จะพุ่งไปข้างหน้า และแกน Z จะมีทิศทางพุ่งขึ้นด้านบน ส่วนทิศทาง Y สามารถหาได้โดยใช้กฎมือขวา

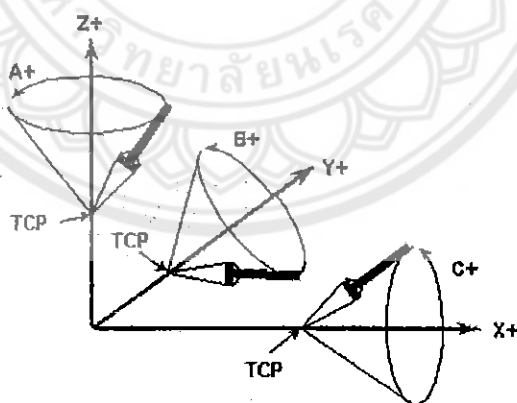


รูปที่ 2.2 แสดงจุดกำเนิดและทิศทางการวางตัวของแกนคาร์ทีเซียน XYZ
ในระบบพิกัด แบบ World

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.1.1.2 World Coordinate System

ลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน World Coordinate System จะเคลื่อนที่ช้า และมีขีดจำกัดของแกนในการเคลื่อนที่ของ End Effector จะมีทิศทางขนานกับแกน คาร์ทีเซียน XYZ และสามารถควบคุมทิศทางการวางตัวของ End Effector ได้ดังรูปที่ 2.3

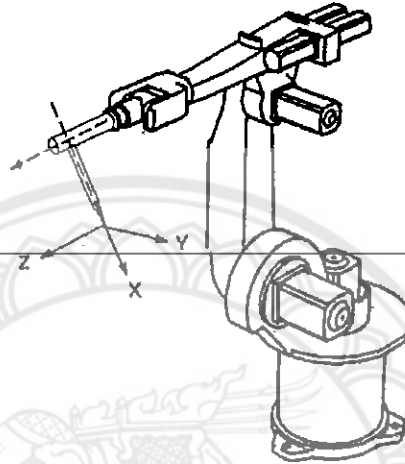


รูปที่ 2.3 แสดงการควบคุมทิศทางการวางตัวของ End Effector ตามแกนของคาร์ทีเซียน XYZ
A,B และ C คือการหมุนหรือ Orientation รอบแกน Z,Y และ X ตามลำดับ

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.1.1.3 Tool Coordinate System

ใน Tool Coordinate System จะมีจุด Origin อยู่ที่ปลายของ Tool (Tool center point : TCP) ถ้า Tool center point มีการเปลี่ยนแปลง Tool Coordinate ก็จะเปลี่ยนแปลงในหุ่นยนต์ที่เพิ่งซื้อมาใหม่จะมี Tool Center point อยู่ที่ปลายของ flange และเมื่อติดตั้ง Tool ใหม่ จะต้องมีการ calibrate ใหม่ หรือเรียกว่าการทำ Tool center point

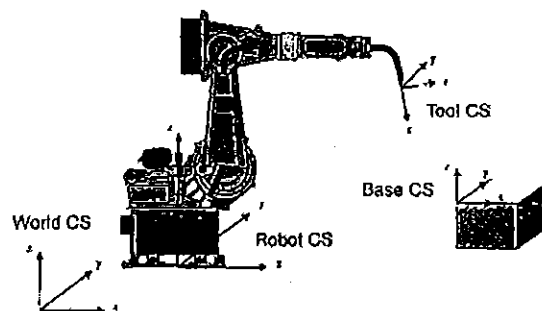


รูปที่ 2.4 แสดงระบบ Tool Coordinate System

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.1.1.4 Base Coordinate System

Base Coordinate System เป็น reference ให้กับ Workpiece ในการเขียน program โดยใช้ Base Coordinate System เราจะกำหนด origin ของ Base Coordinate System โดยอ้างอิงกับ World Coordinate System ในหุ่นยนต์ที่ ซื้อมาใหม่ๆจะมี Base Coordinate System ตำแหน่งเดียวกับ World Coordinate System



รูปที่ 2.5 แสดง Coordinate ต่างๆ

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.1.2 Motion Programming

2.1.2.1 Point-to-point (PTP) การเคลื่อนที่แบบนี้ tool จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่เร็วที่สุด หรือสะดวกที่สุด

2.1.2.2 Linear (LIN) การเคลื่อนที่แบบนี้ tool จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นตรง

2.1.2.3 Circular (CIRC) การเคลื่อนที่แบบนี้ tool จะเคลื่อนที่ไปตามส่วนโค้งของวงกลม

2.1.3 การระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่แก่หุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ Robot tool ไปยังเป้าหมายภายใต้การควบคุมโดยโปรแกรม Robot จะต้องถูกโปรแกรมด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ โดยคำสั่งนี้จะประกอบ ด้วยจุดเป้าหมายและค่า parameter อื่นๆ ขึ้นอยู่กับชนิดการเคลื่อนที่ที่ได้

2.1.3.1 Point-to-point (PTP) การเคลื่อนที่แบบนี้ tool จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่เร็วที่สุด หรือสะดวกที่สุด

การระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่แก่หุ่นยนต์สามารถทำได้ 2 วิธี คือ

2.1.3.2 การระบุตำแหน่งโดยใช้ Teach-pendant สามารถทำได้โดยเคลื่อนที่ปลาย Tool ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและให้ Controller เก็บตำแหน่งนั้นๆ ไว้ จากนั้นค่อยเรียกใช้ ดอนเขียนโปรแกรม

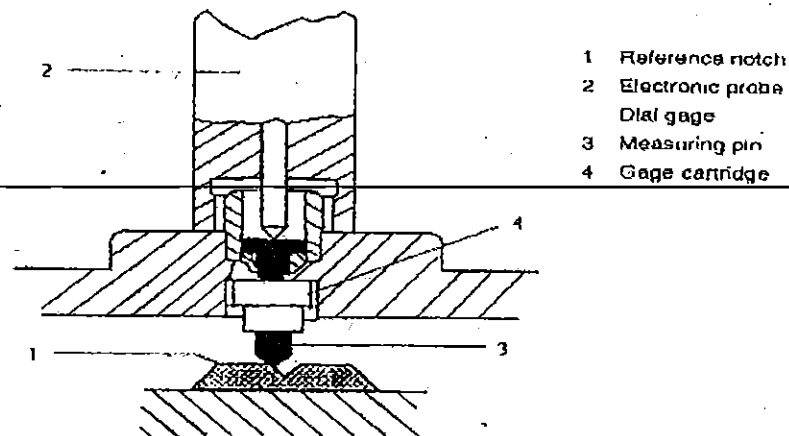
2.1.3.3 การระบุตำแหน่งโดยการระบุ parameter ต่างๆ ของการเคลื่อนที่ เช่นค่า X,Y,Z,A,B,C และค่าอื่น ๆ ที่จำเป็น

2.1.4 การมาสเตอร์ลิงหุ่นยนต์

เมื่อทำการ Mastering หุ่นยนต์ แกนของหุ่นยนต์จะถูกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งทางกลที่กำหนดเรียกว่าตำแหน่งทางกลศูนย์ (Mechanical Zero Position) ที่ตำแหน่งนี้จะเป็นตัวกำหนดมุมการขับเคลื่อนของแกนของหุ่นยนต์ และจะถูกนิยามโดย Reference Notch หรือ Mark และหุ่นยนต์จะต้องถูก Mastering ในกรณี

- หลังจากการซ่อมหุ่นยนต์ (เช่น การเปลี่ยนมอเตอร์หรือ Wrist)
- หลังจากการชน
- เมื่อหุ่นยนต์ถูกเคลื่อนย้ายโดยปราศจากอุปกรณ์ควบคุม (Hand Crank)

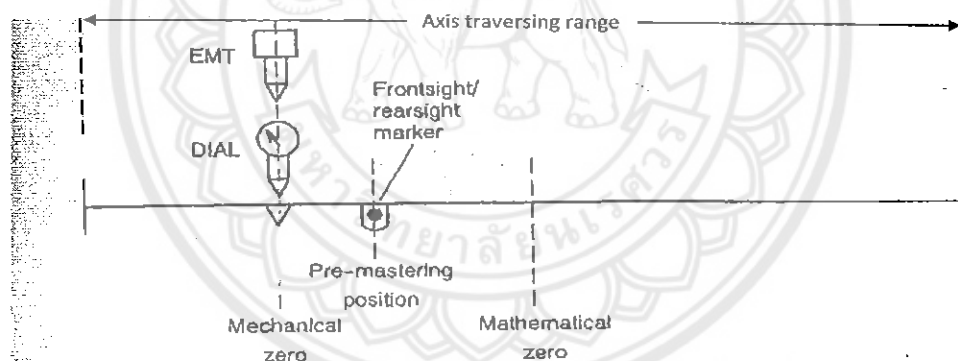
หุ่นยนต์นั้นอาจกล่าวได้ว่าถูก Unmastering ถ้าค่า Mastering ที่เก็บไว้สำหรับแกนแต่ละแกนถูกลบทิ้ง ไปเพื่อที่ได้ค่าความแม่นยำที่สูงสุด ทุกแกนจะต้องพอดีกับ pin ที่ใช้เพื่อจัดทิศทางของแกน Reference Notch เมื่อ gage pin ไปยังตำแหน่งจุดต่ำสุดของ Reference Notch จุดนั้น



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบและอุปกรณ์ในขณะ Mastering

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

หมายเหตุ: ในการ Mastering ทิศทางการเคลื่อนที่ของแต่ละแกนต้องเคลื่อนจากด้าน (+) ไปยังด้าน (-) และ เริ่มจากแกนที่น้อยที่สุด คือแกนที่ 1 ไปยังแกนที่มีค่ามากขึ้นตามลำดับ

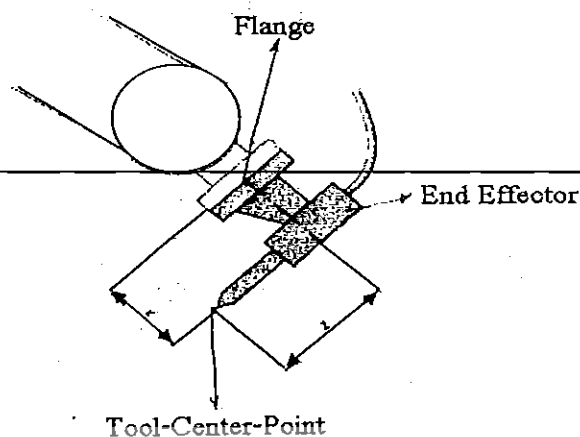


รูปที่ 2.7 แสดงตำแหน่งและทิศทางการอ้างอิงที่สำคัญในกระบวนการ Mastering

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.1.5 Tool setting

2.1.5.1 Tool-Center-Point คือจุดอ้างอิงที่สามารถที่กำหนดได้จากโปรแกรม เพื่อเป็นจุดกำเนิดของพิกัด Tool Coordinate เมื่อหุ่นยนต์ที่สั่งชื่อถูกส่งมาติดตั้งจะสังเกตเห็นว่า ไม่มีส่วนประกอบของ Tool กล่าวคือที่ปลายแขนของหุ่นยนต์ที่ติดตั้งจะมีส่วนที่เรียกว่า Flange และระบบ Tool Coordinate ที่ติดตั้งอยู่ที่จุดศูนย์กลางของ Flange ดังรูปที่ 2.8 หากเราติดตั้ง tool และนำไปใช้งานในกระบวนการ จะเห็นว่าหุ่นยนต์อาจเคลื่อนที่ในลักษณะผิดปกติ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการกำหนด tool-center point ให้แก่หุ่นยนต์



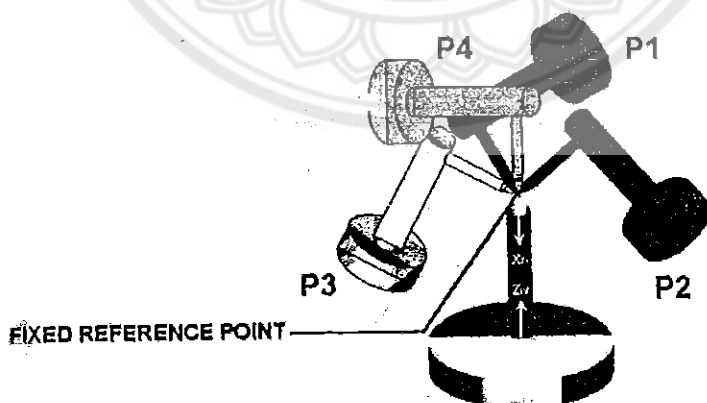
รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างตำแหน่งของ tool-center-point ที่กำหนดบน End Effector

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.1.5.2 Tool Definition ในการกำหนด TCP เราจำเป็นต้องกำหนดค่าพิกัดของ Tool เมื่อเทียบกับตำแหน่งพิกัดของ Flange และเราจะต้องกำหนดค่าพิกัดตำแหน่งของ Tool (X, Y, Z) โดยวิธี XYZ 4point และค่า Orientation ของ Tool โดยวิธี ABC World 5D และวิธี ABC World 6D

ก. YZ 4 point

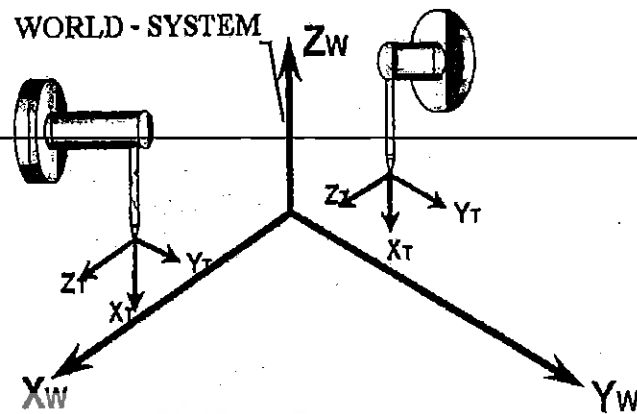
เคลื่อน Tool ไปยังจุดอ้างอิงที่กำหนดดังรูปที่ 2.9 เป็นจำนวน 4 จุด เพื่อให้ Controller คำนวณหาตำแหน่งพิกัดของจุดปลายของ Tool ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าพิกัดของ Tool ในวิธี XYZ 4 point

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

ข. ABC World 6D Method



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการกำหนด Orientation ของ Tool ในวิธี "ABC World" 6D

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

เคลื่อน Tool โดยมีเงื่อนไขตามข้อกำหนดดังนี้ คือ
 แกน +X ของ Tool อยู่ในทิศทางเดียวกับแกน -Z ของระบบ World Coordinate
 แกน +Y ของ Tool อยู่ในทิศทางเดียวกับแกน +Y ของระบบ World Coordinate
 แกน +Z ของ Tool อยู่ในทิศทางเดียวกับแกน +X ของระบบ World Coordinate

2.2 โปรแกรมการเคลื่อนที่ (Motion programming)

การเคลื่อนที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือคำสั่งสำหรับการเคลื่อนที่แบบ Point-to-point ซึ่งเป็นแบบง่ายๆ การเคลื่อนที่ไม่สามารถระบุเส้นทางได้ ขึ้นอยู่กับสรีระของหุ่นยนต์ (Robot kinematics) และคำสั่งการเคลื่อนที่แบบ continuous-path ซึ่ง end effector จะถูกกำหนดทิศทางไว้แน่นอน เช่น การเคลื่อนที่ใน Linear หรือ Arc (ส่วนของวงกลม)

สำหรับตำแหน่งต่างๆนั้นเราสามารถระบุค่าโดยตรงหรือ โดยการเคลื่อนหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งนั้นๆ เสร็จแล้วก็เก็บตำแหน่งไว้ (teaching) ระบบแกนต่างๆ นั้นจะขึ้นอยู่กับ coordinate system ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นๆ สรุปได้ดังนี้

2.2.1 Coordinate system

2.2.1.1 Joint Coordinate system คือ การเคลื่อนที่ของแกนแต่ละแกนอย่างอิสระ ไม่ว่าเป็นการ translation หรือจะเป็นการ rotation

2.2.1.2 World Coordinate system ใน World Coordinate system จะมีการอ้างตำแหน่งแบบ Cartesian นั่นคือเป็น Coordinate แบบ X, Y, Z นอกจากนี้ยังมี orientation รอบแกนต่างๆ

A คือ rotation รอบแกน Z

B คือ rotation รอบแกน Y

C คือ rotation รอบแกน X

Reference ใน World Coordinate system จะถูก fixed เราไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ reference ใน World Coordinate นี้จะเป็น reference ให้ทั้ง robot Cell และ peripheral equipment Cell

2.2.1.3 Robot Coordinate system การอ้างตำแหน่งเป็นแบบ Cartesian จุดอ้างอิง (reference) ของระบบนี้จะอยู่ที่ฐานของ หุ่นยนต์และจะใช้กับส่วนที่เป็น mechanical Coordinate นี้จะมาจาก World Coordinate ซึ่งระบบมาตั้งแต่ผู้ผลิตค่า offset ที่สัมพันธ์กับ World สามารถกำหนดได้โดยใช้ \$ROBROOT

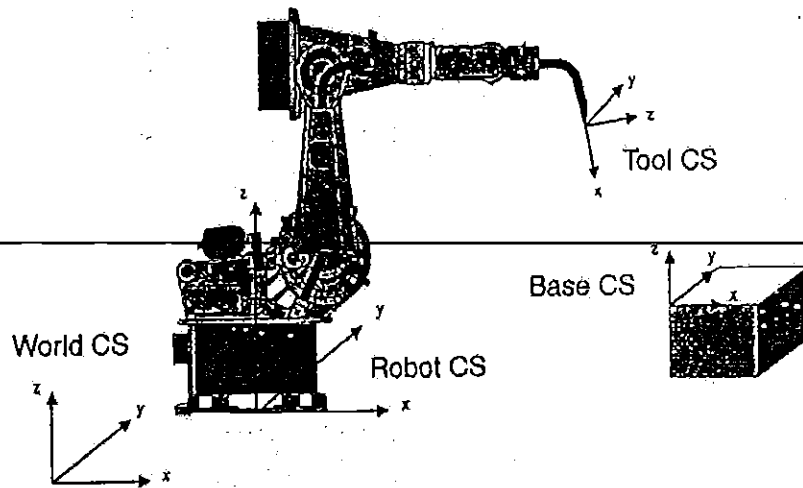
2.2.1.4 Tool Coordinate system มี origin อยู่ที่ปลายของ Tool (Tool center point - TCP) ถ้า TCP เปลี่ยนแปลง tool Coordinate ก็จะเปลี่ยนแปลงด้วยในหุ่นยนต์ที่ฟังก์ชันจะมี TCP อยู่ที่ flange แต่เราสามารถเปลี่ยนได้หลังการทำ tool Center Point

2.2.1.5 Base Coordinate system ใช้เป็น reference ให้กับชิ้นงาน ตอนซื้อหุ่นยนต์มาใหม่ๆ \$BASE = \$World

ตารางที่ 2.1 แสดง Cartesian Coordinate แบบต่างๆ

Coordinate system	System variable	Status
World Coordinate system	\$WORLD	Write - protected
Robot Coordinate system	\$ROBROOT	Write – protected (can be changed in R1/\$MASCHINE.DAT
Tool Coordinate system	\$TOOL	Writable
Base (work piece) Coordinate system	\$BASE	Writable

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

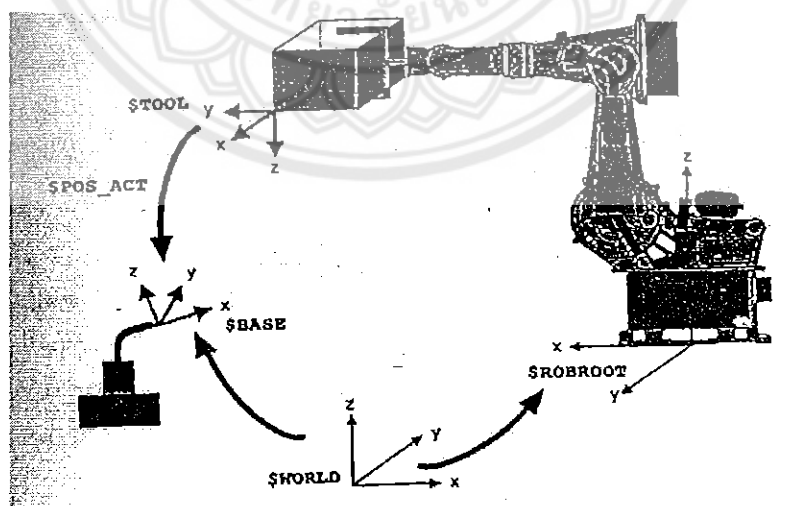


รูปที่ 2.11 Cartesian Coordinate System สำหรับหุ่นยนต์

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

การเคลื่อนที่ใน Coordinate ต่างๆ เส้นทางเคลื่อนที่ (Path) จะถูกคำนวณให้สัมพันธ์กับ Coordinate นั้นซึ่งชนิดของการเคลื่อนที่ (interpolation) สามารถระบุได้โดยตัวแปรระบบ SIP-MODE เช่น

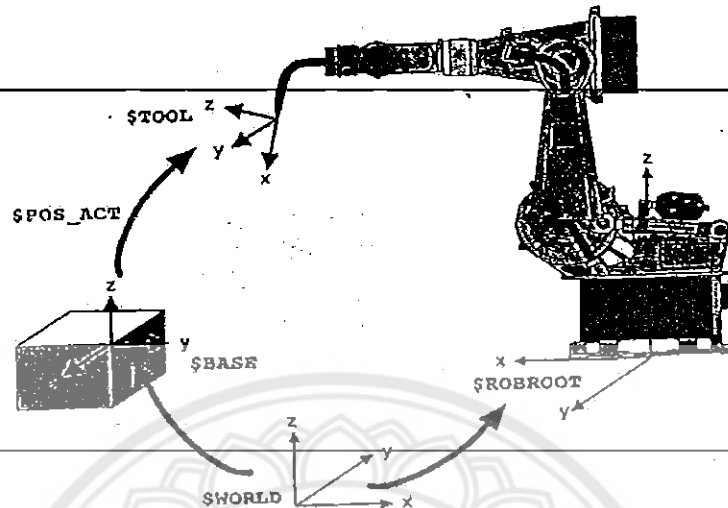
$SIP_MODE = \#TCP$ คือ การเคลื่อนที่ในระบบ Tool Coordinate system ค่าตำแหน่งปัจจุบันจะมีตัวแปรระบบที่เป็นตัวชี้ คือ $\$POS_ACT$ แสดงดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการเคลื่อนที่ใน Tool Coordinate system

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

และ $\$IP_MODE = \#BAS$ เป็นการเคลื่อนที่ในระบบ $\$Base$ Coordinate ซึ่งปกติก็จะ set เป็น default ขณะ Controller เริ่มทำงานแสดงดังรูป 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่ใน $\$BASE$ Coordinate system

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.2 P - T - P motion

2.2.2.1 ความเร็วและความเร่ง

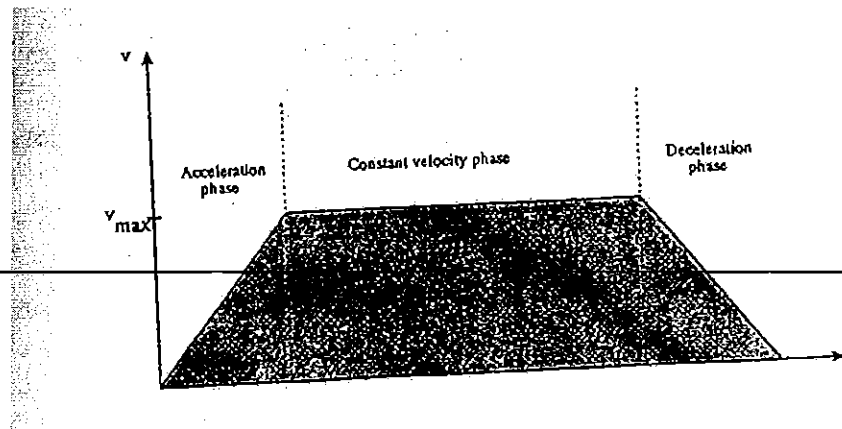
การเคลื่อนที่แบบ P - T - P ปลาย Tool จะเคลื่อนที่โดยไม่สามารถระบุเส้นทางการเคลื่อนที่ (Path) ได้แต่ปลาย Tool จะเลือกเส้นทางที่สามารถเคลื่อนที่ไปสู่จุดหมายได้เร็วที่สุด SYSTEM Variable ที่เกี่ยวข้องกับ PTP คือ

$\$VEL_AXIS$ [axis number] : คือ ความเร็วสูงสุดในการ โปรแกรมของแต่ละแกน

$\$ACC_AXIS$ [axis number] : คือ ความเร่งสูงสุดในการ โปรแกรม

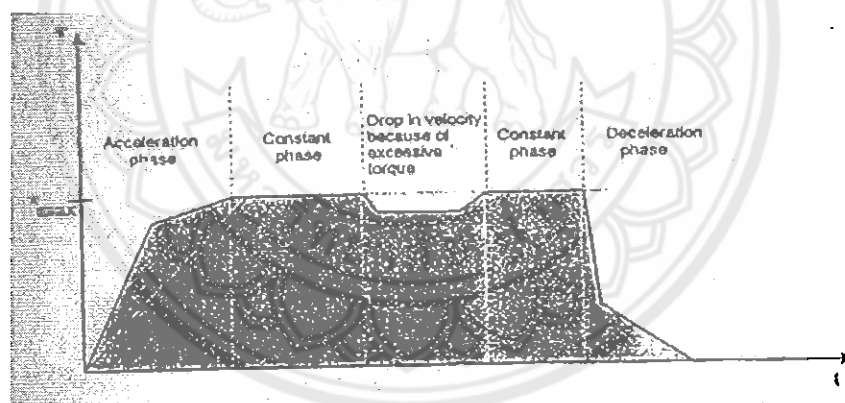
ทั้งสองค่าจะกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ machine data ถ้าขณะทำการ โปรแกรม เราไม่ได้กำหนดความเร็ว ความเร่งให้กับทุกๆแกน (axis) ของหุ่นยนต์จะทำให้เกิด error ขึ้น

2.2.2.2 การเคลื่อนที่แบบ Synchronous P - T - P คือ การเคลื่อนที่ของแกนทุกแกน เริ่มเคลื่อนที่และหยุดพร้อมกันนั้น คือ จะมีแกนใดแกนหนึ่งจะเคลื่อนที่ในระยะทางที่ยาวที่สุดเพียงแกนเดียวเรียกว่าแกนนำ (Leading axis) ส่วนแกนอื่นๆ ที่เหลือจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ทำให้สามารถเคลื่อนที่ถึงจุดมุ่งหมายในเวลาเดียวกัน โดยไม่คำนึงถึงความเร็วและความเร่งใน $\$VEL_AXIS$ [no], $\$ACC_AXIS$ [no]



รูปที่ 2.14 Velocity profile สำหรับการเคลื่อนที่แบบ Synchronous P - T - P
ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.2.3 Higher motion profile นี้จะใช้กับการเคลื่อนที่แบบ PTP กรณีนี้จะทำ time - optimized motion จากจุดเริ่มต้น ไปยังจุดปลายด้วยแต่ละคำสั่ง PTP นั่นคือ มันจะไม่เคลื่อนที่ไปยังปลายทางแบบเร็วที่สุดเพียงอย่างเดียวแต่จะมีการทำ torque optimally ทุกๆจุดบนเส้นทางการเคลื่อนที่ เช่น ถ้า torque เกินก็จะมีการลดความเร็วลง ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงความเร็วของ higher motion profile

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.3 Continuous – path motions

2.2.3.1 ความเร็วและความเร่ง

Continuous path motions นั้นจะมีการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ได้ระบุไว้แน่นอนแล้ว เช่น การเคลื่อนที่แบบ Linear (LIN) หรือ การเคลื่อนที่แบบ Circular (CIRC)

ความเร็ว และความเร่งที่ระบุให้แต่ละแกน (Axis) นั้นไม่ได้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่แบบนี้แต่จะมีการกำหนดความเร็วและความเร่งให้กับ TCP การกำหนดแสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 2.2 แสดง System Variable สำหรับความเร็วและอัตราเร่งของ CP

	Variable name	Data type	Unit	Function
Velocities	\$VEL.CP	REAL	m/s	Path velocity
	\$VEL.ORI1	REAL	%s	Swivel velocity
	\$VEL.ORI2	REAL	%s	Rotational velocity
Accelerations	\$ACC.CP	REAL	m/s ²	Path acceleration
	\$ACC.ORI1	REAL	%s ²	Swivel acceleration
	\$ACC.ORI2	REAL	%s ²	Rotational acceleration

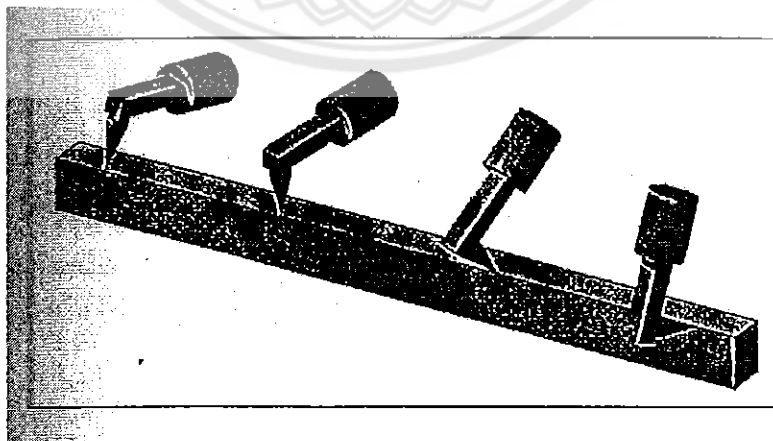
ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

เมื่อตอนเริ่มต้นโปรแกรม Basic package (file BAS.SRC) จะถูกเรียกขึ้นมาเพื่อกำหนดความเร็วและอัตราเร่งของ CP ซึ่งจะ set ที่ค่าสูงสุดที่ได้ระบุไว้ใน machine data หรือใน \$CONFIG.DAT

2.2.3.2 Orientation Control

Orientation สามารถ set ได้โดย system variable \$ORI_TYPE(แสดงในรูป 2.16) \$ORI_TYPE = #CONST ระหว่างการเคลื่อนที่ Orientation จะคงที่ถ้าใน program set ไว้ จะถูก set ให้โดย basic package (BAS) ในขณะ initialization

\$ORI_TYPE = #VAR ระหว่างการเคลื่อนที่ orientation จะเปลี่ยนอย่างต่อเนื่องจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง



รูปที่ 2.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ Orientation ใน linear motion

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

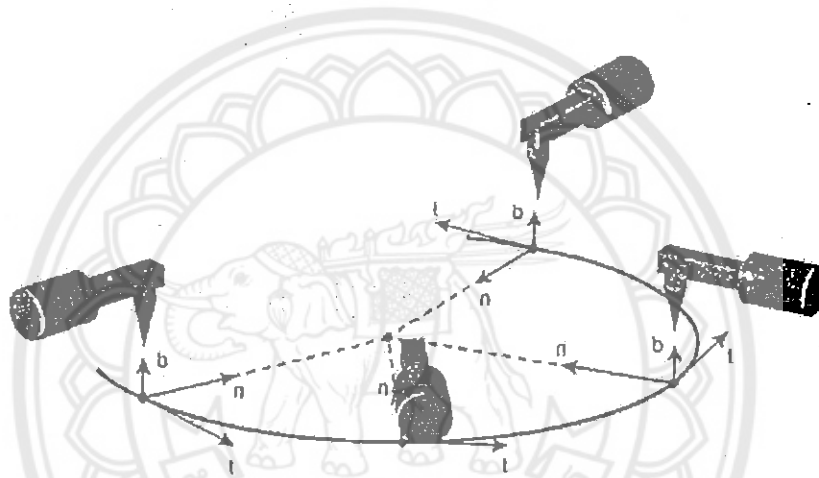
สำหรับการเคลื่อนที่แบบ Circular

\$ CIRC_TYPE = # BASE Space – related orientation control ระหว่างการเคลื่อนที่แบบ circular ค่านี้จะถูก Set ในขณะที่ initialization โดย BAS (# INITMOV , 0)

\$ CIRC_TYPE = # PATH Path – related orientation control ระหว่างการเคลื่อนที่แบบ circular

2.2.3.3 Constant + Path – related

การเคลื่อนที่ของ Tool จะสัมพันธ์กับระนาบและเส้นสัมผัสของวงกลมแสดงดังรูป 2.17 สำหรับการเคลื่อนที่แบบนี้บางทีเรียกว่า Tool – Base moving frame ซึ่งตำแหน่งของ tool จะเคลื่อนที่ไปโดยไม่เปลี่ยนแปลงการ Orientation ลักษณะเช่นนี้จะใช้ในงาน arc welding

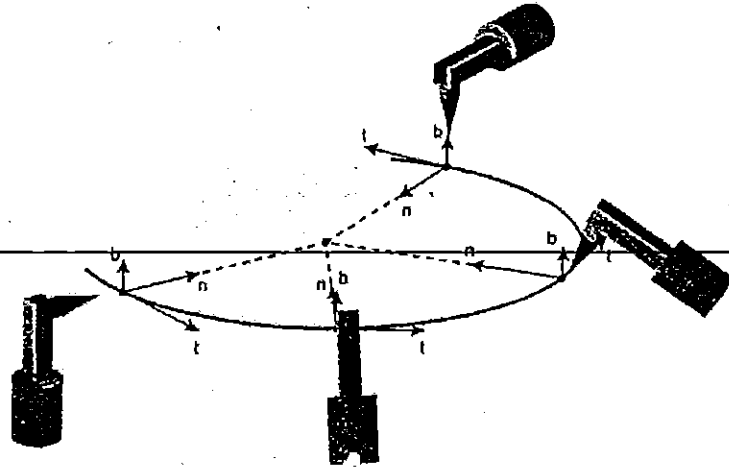


รูปที่ 2.17 Constant – path related Orientation Control

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.3.4 Variable + path – related

การเคลื่อนที่แบบ tool – based moving frame จะไม่เปลี่ยนแปลง orientation ระหว่างเคลื่อนที่ไป แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง Orientation ระหว่างจุดเริ่มต้นและปลายทาง (\$ORI_TYPE = # VAR) จะทำให้เกิดการหมุนซึ่งแสดงดังรูป 2.18

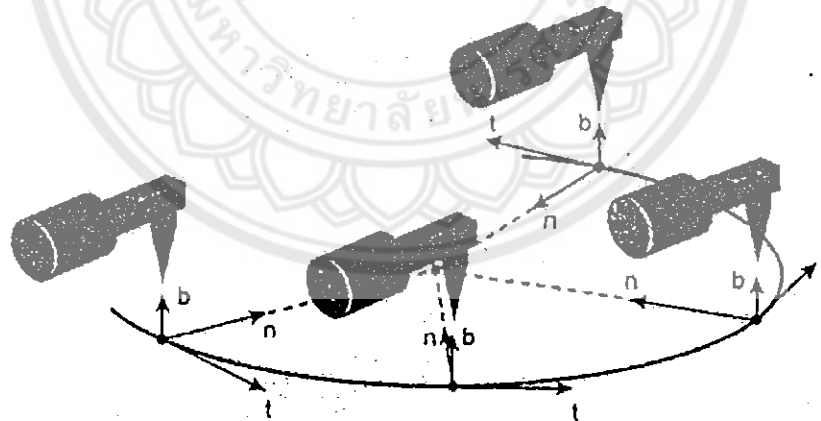


รูปที่ 2.18 Variable path – related Orientation Control

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.3.5 Constant + space – related

การ Orientation จะถูกควบคุมให้สัมพันธ์กับ base system (\$BASE) Space – related Orientation จะมีประโยชน์ในงานที่เป็น path motion เช่นการไถ่ TCP ไปตามเส้นทางวงกลมเป็นกรณีพิเศษที่มีการเปลี่ยนแปลงการ Orientation ระหว่างเริ่มต้นและจุดปลายทางเพียงเล็กน้อยแสดงดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 Constant space – related Orientation Control

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.3.6 Variable + space – related

มีการเปลี่ยนแปลง Orientation (\$ORI_TYPE # VAR) และมีการหมุนระหว่างการเคลื่อนจากเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางโดยสัมพันธ์กับ base Coordinate System แสดงดังรูป

สำหรับค่า default setting ของ system Variable แสดงดังรูป

ตารางที่ 2.3 Default Setting of \$ORI_TYPE and \$CIRC_TYPE

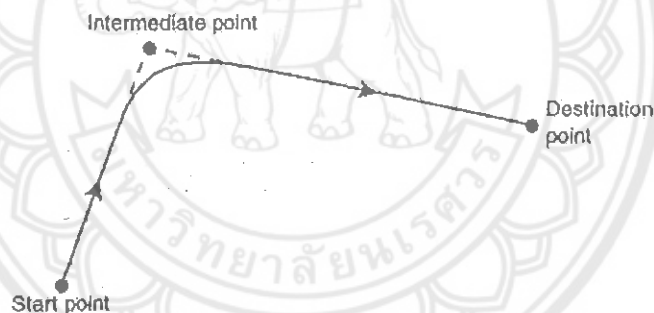
	In the system	By BAS (#INITMOV,O)
\$ORI_TYPE		#VAR
\$CIRC_TYPE	#PATH	#BASE

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.4 Motion with approximate positioning

ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะต้องหลีกเลี่ยงการชนกับสิ่งกีดขวางต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีและนี่ก็คือ วิธีหนึ่งที่สามารถช่วยได้

การเคลื่อนที่ไปในบางตำแหน่งไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเข้าไปยังจุดนั้นๆ โดยตรงและอย่างถูกต้องแม่นยำแต่สามารถผ่านเข้าไปในระยะที่ยอมรับได้ก็พอ ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของ Robot มีความรวดเร็วยิ่งขึ้น การ motion with approximate แสดงดังรูป 2.20



รูปที่ 2.20 Approximate positioning ที่จุดกึ่งกลาง

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.2.4.1 PTP – PTP Approximate positioning

การเคลื่อนที่แบบ PTP Approximate positioning Controller จะคำนวณระยะทางของแต่ละแกน (Axis) ที่จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง approximate และระบุความเร็วของแต่ละ axis เพื่อให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางได้

การ Approximate เริ่มต้นเมื่อแกนที่เป็นแกนนำ (Leading) เข้าภายในมุมที่กำหนดให้มีการ Approximate ซึ่งมุมของแต่ละแกนจะถูกกำหนดไว้ก่อนแล้ว คือ

\$ APO_DIS_PTP[1] = 90

To

\$ APO_DIS_PTP[6] = 9

ในโปรแกรม \$APO_DIS_PTP ที่จะให้มีการ Approximate จะถูกระบุเป็น
เปอร์เซ็นต์ของมุม maximum เช่น

\$ APO.CPTP[1] = 50

คือ การ Approximate จะเริ่มขึ้นเมื่อแกนแรกครอบคลุมตำแหน่งที่จะ
Approximate เป็นมุม 45 องศา (50 % - ของ 90 องศา)

C_PTP

การสั่ง approximate position ใน PTP จะใช้คำสั่ง C_PTP เช่น

PTP POIN4 C_PTP

การ Approximate ในการเคลื่อนที่แบบ PTP จะเป็นไปในเส้นทางที่ใช้เวลา
น้อยที่สุด

2.2.4.2 LIN – LIN Approximationing

ในการเคลื่อนที่ที่ต้องการให้เป็นไปแบบต่อเนื่องจำเป็นต้องใช้การ
Approximate ระหว่าง แต่ละ linear motion ตัว controller จะคำนวณเส้นทางสำหรับผ่านของการ
Approximate ซึ่งเป็นไปโดยให้ความเร่งมีความเหมาะสมที่สุด

การเริ่มทำ Approximate positioning มี 3 ตัวแปรที่ได้ประกาศไว้สำหรับการทำ
Approximate แสดงดังตาราง

ตารางที่ 2.4 System variable ที่ใช้ในการเริ่มต้นทำ Approximate

Variable	Data type	Unit	Meaning	Keyword in the command
\$APO.CDIS	REAL	Mm	Transnational distance criterion	C_DIS
\$APO.CORI	REAL	o	Orientation distance	C_ORI
\$APO.CVEL	REAL	%	Velocity criterion	C_VEL

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

Distance criterion คือระยะทางที่เปลี่ยนย้ายไปสามารถกำหนดได้ในตัวแปร
\$APO.CDIS ถ้าการ Approximate ถูก trigger ด้วยตัวแปรนี้ Controller จะสั่งให้หุ่นยนต์ออกจากจุด
ปลายทางจริงเมื่อเคลื่อนที่มาในระยะทางที่กำหนดในตัวแปร \$APO.CDIS

Orientation Criterion คือระยะของการหมุนสามารถกำหนดไว้ได้ในตัวแปร \$APO.CORI ในกรณีหุ่นยนต์จะออกจากจุดปลายทางจริงเมื่อมีการหมุนเข้าไปในระบุมุมที่กำหนด ใน \$APO.CORI

Velocity Criterion ค่าความเร็วที่กำหนดใน \$APO.CVEL จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าความเร็วใน program (\$VEL.CP) กระบวนการ Approximation จะเริ่มขึ้นเมื่อแต่ละ Component เคลื่อนที่จนความเร็วถึงช่วงที่กำหนด

2.2.4.3 CIRC – CIRC และ CIRC – LIN Approximate

สำหรับการ Approximate ระหว่าง CIRC กับ LIN หรือ CIRC นั้นคล้ายกับการ Approximate ระหว่าง LIN ไม่ว่าจะเป็นการหมุนหรือการเคลื่อนย้ายตำแหน่งที่จะทำให้การเคลื่อนที่ต่อเนื่องและราบเรียบขึ้นการเริ่ม Approximate ก็โดยการกำหนดค่าในตัวแปรกระดาน Approximate ก็ใช้คำสั่ง C_DIS, C_ORI, C_VEL เหมือนใน LIN

2.2.4.4 PTP – CP Approximate Positioning

สำหรับการ Approximate positioning ระหว่าง PTP และ Cartesian CP (LIN หรือ CIRC) นั้นน่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้ในงาน handling หรือ งาน assembly และงาน จำพวก joining palletizing, Clamping ซึ่งต้องการการเคลื่อนที่ในระยะที่สั้น

เริ่ม PTP – CP approximate positioning ด้วยการกำหนด PTP Criterion ใน \$APO.CPTP (เหมือนใน PTP – PTP) และกำหนด C_DIS, C_ORI, C_VEL ในส่วนของ CP (LIN หรือ CIRC)

ถ้าไม่มีการระบุการ approximate ใน PTP block จะต้องระบุใน CP block และ C_DIS จะ default ค่าให้กับ CP block ด้วย

CP – PTP approximate positioning

ค่าการ approximate positioning จะเป็นค่าสำหรับ CP block ขณะที่ System เปลี่ยนไปเป็น \$APO.CPTP สำหรับ PTP block ถ้าดับคำสั่งสามารถเขียนได้ดังตัวอย่างนี้

CIRC INTERM_POIT1 C_VEL

PTP POINT2.

2.2.5 การเคลื่อนที่แบบ Absolute และ Relative

เมื่อหุ่นยนต์ถูกเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละ AXIS ดังนี้

AXIS1 (A1) = 0°

AXIS2 (A2) = -90°

AXIS3 (A3) = 90°

AXIS4 (A4) = 0°

AXIS5 (A5) = 0°

AXIS6 (A6) = 0°

ตำแหน่งข้างบนนี้คือ Mechanical zero position ซึ่งจะถูกระบุไว้ขณะทำการ Master (Calibrate) การสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่สามารถสั่งให้เคลื่อนที่ทีละ Component ได้โดยที่ส่วนอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลง เช่น

PTP {A3 45}

เป็นการเคลื่อนที่เฉพาะแกนที่ 3 (AXIS3) ไป 45°

2.2.5.1 การเคลื่อนที่แบบ Absolute

การเคลื่อนที่แบบ Absolute จะอ้างอิง (reference) กับจุดเริ่มต้นของระบบ Coordinate นั้นๆ เช่นถ้าใน world Coordinate จะมีการอ้างอิงจุดเริ่มต้นจากฐานสองของหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ระบุ เช่น

PTP {X 100, Y -800}

หรือในระบบ Joint Coordinate System เช่น

PTP {A1 45} ; rotate Axis 1 45°

สำหรับคำสั่งการเคลื่อนที่แบบ Linear

LIN {X 100, Y 55}

เป็นการสั่งให้เคลื่อนที่แบบ Linear ไปยังตำแหน่ง X = 100, Y = 55 อ้างอิงกับจุดเริ่มต้นของ Coordinate System

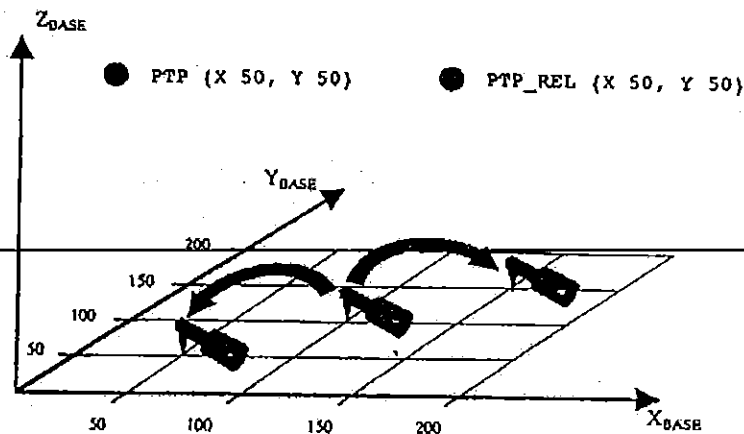
คำสั่งการเคลื่อนที่แบบ Circular เช่น

CIRC {X 876, Y 234}, {X 590, Y 550}, CA30

เป็นการสั่งให้เคลื่อนที่แบบ Circular โดยมีจุด midpoint ที่ X = 876, Y = 234 และจุด End point ที่ X = 590, Y = 550 โดยมุมของการเคลื่อนที่เท่ากับ 30°

2.2.5.2 การเคลื่อนที่แบบ Relative

การเคลื่อนที่แบบ Relative นี้จะอ้างอิง (reference) กับตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของ tool เช่น PTP_REL {A1 35, A4 35} คือการเคลื่อนที่แบบ relative PTP, A1 และ A4 หมุนไป 35° จากตำแหน่งปัจจุบัน



รูปที่ 2.21 แสดงการเคลื่อนที่ PTP แบบ Absolute และ Relative
 ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

สำหรับการเคลื่อนที่แบบ linear เช่น

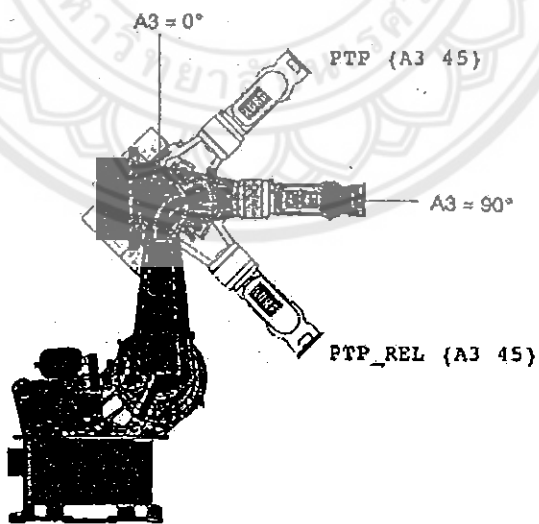
LIN_REL {X 100, Y 55}

เป็นการสั่งให้เคลื่อนที่แบบ Linear ไปตามแกน X 100 mm และแกน Y 55 mm

จากตำแหน่งปัจจุบัน

CIRC_REL {X 50, Y 20}, {X 200, Y 300}, CA 30

ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบ Relative CIRC



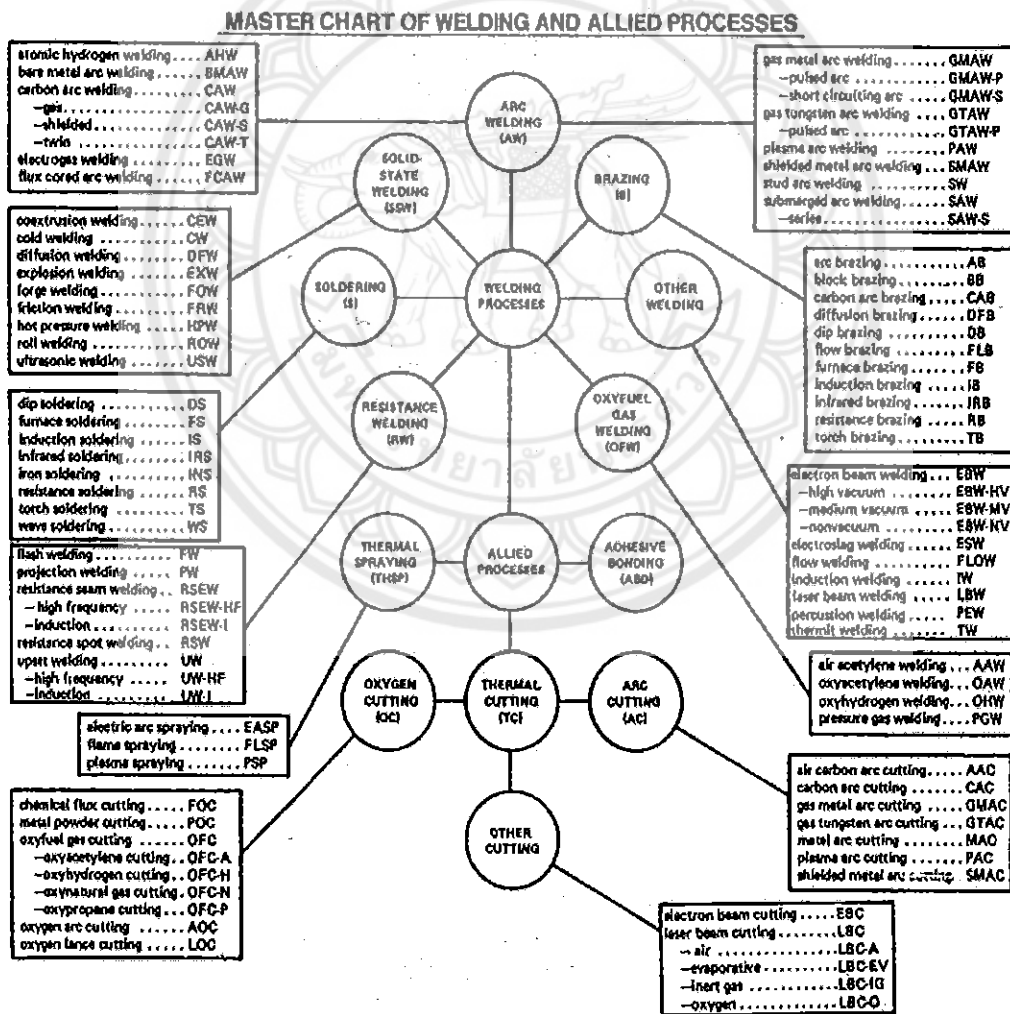
รูปที่ 2.22 แสดงความแตกต่างของการเคลื่อนที่แบบ Absolute และ Relative
 ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

2.3 ทฤษฎีกระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (Welding Processes)

กระบวนการเชื่อม เป็นกระบวนการต่อโลหะที่ทำให้โลหะนั้นมีการรวมตัวกันโดยการใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิจากการเชื่อม ซึ่งจะมีการใช้หรือไม่ใช้แรงดันก็ได้ และจะใช้หรือไม่ใช้ลวดเชื่อมก็ได้

กระบวนการเชื่อม ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.23

กระบวนการเชื่อมที่ได้รับความนิยมใช้งานมาก ก็คือ การเชื่อมด้วยก๊าซออกซิเจนซีทีลิน (Oxyacetylene Welding : OAW) การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Shielded Metal Arc Welding : SMAW) การเชื่อมด้วย TIG (Gas Tungsten Arc Welding : GTAW) การเชื่อมด้วย FCAW (Gas Metal Arc Welding : GMAW)

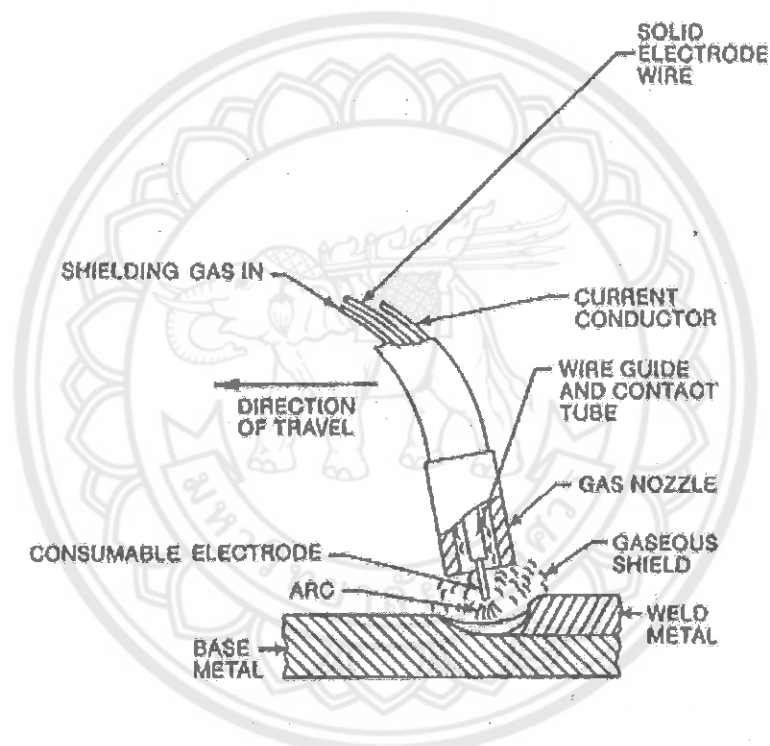


รูปที่ 2.23 แสดงการจัดกลุ่มกระบวนการเชื่อมของ American Welding Society

ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์, การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.1 กระบวนการเชื่อม GMAW

กระบวนการเชื่อม FCAW มีชื่อเรียกตามมาตรฐาน AWS (American Welding Society) คือ การเชื่อมด้วยก๊าซปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) เป็นกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ลวดเชื่อมสิ้นเปลืองน้อย (Consumable Electrode) ที่มีลักษณะเป็นลวด FLUX CORED WIRE ELECTRODES ลวดเชื่อมใส่ฟลักซ์ซึ่งมีลักษณะเป็นม้วน มาทำการอาร์คอย่างต่อเนื่องกับโลหะชิ้นงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์คจะทำให้การหลอมละลายลวดเชื่อมกับ โลหะชิ้นงานรวมตัวเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน และใช้ก๊าซปกคลุมบริเวณที่มีการหลอมละลายของการเชื่อม เพื่อป้องกันไม่ให้ ออกซิเจนจากบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยา ดังแสดงรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงหลักการเชื่อมของกระบวนการเชื่อม FCAW

ที่มา: คະเนย์ วรรณ โท. การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.2 การส่งถ่ายน้ำโลหะ (Metal Transfer)

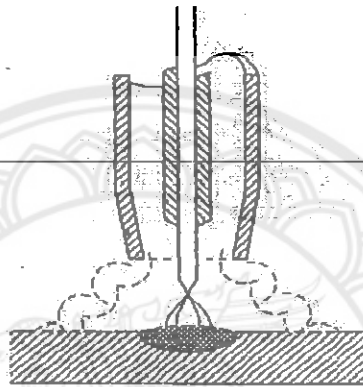
การส่งถ่ายน้ำโลหะ หมายถึง การที่ลวดเชื่อมได้รับความร้อนจนเกิดการหลอมตัวมีลักษณะคล้ายกับหยดน้ำ แล้วหลุดออกจากปลายลวดเชื่อมผ่านการอาร์คเข้าสู่บริเวณการหลอมละลายของโลหะชิ้นงาน ซึ่งการส่งถ่ายน้ำโลหะได้นั้นจะเกิดจากแรงกระทำต่อหยดโลหะที่ปลายลวดเชื่อมโดยมีปฏิกิริยารวมกันระหว่างแรงและส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม ชนิดของก๊าซปกคลุมกระแสไฟเชื่อม แรงดันเชื่อม ขนาดของลวดเชื่อม และแรงที่กระทำต่อหยดโลหะ

การส่งถ่ายน้ำโลหะ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

2.3.2.1 การส่งถ่ายน้ำโลหะ แบบลัดวงจร (Short Circuit)

การส่งถ่ายน้ำโลหะนี้ จะเกิดขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมและโลหะชิ้นงานถูกทำให้เกิดการอาร์คและมีอุณหภูมิสูงพอที่จะหลอมปลายลวดเชื่อมให้มีลักษณะเป็นหยดโลหะขนาดเล็ก ขณะเดียวกันลวดเชื่อมก็จะถูกป้อนเข้าสู่บริเวณที่มีการหลอมละลายด้วยอัตราเร็วสูง ทำให้หยดโลหะบนปลายลวดเชื่อมสัมผัสกับบริเวณที่มีการหลอมละลายก่อนจะแยกออกจากปลายลวดเชื่อม ดังแสดงรูปที่ 2.25

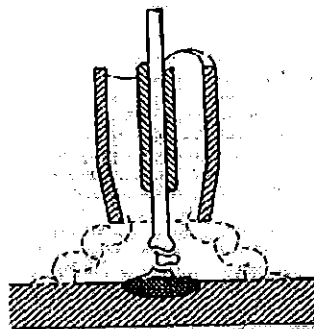
| ๕๐๖๗๕๘๓



รูปที่ 2.25 แสดงการส่งถ่ายน้ำโลหะแบบลัดวงจร
ที่มา: คະเนย์ วรรณ โท. การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.2.2 การส่งถ่ายน้ำโลหะ แบบหยด (Globular)

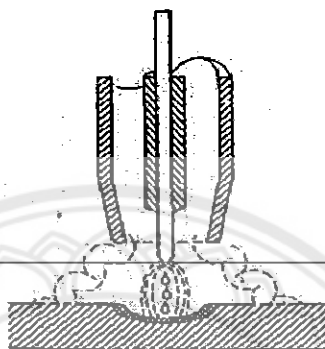
การส่งถ่ายน้ำโลหะนี้ จะเริ่มเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมเป็นหยดโลหะ และเกิดการก่อตัวเพิ่มขนาดใหญ่ขึ้นกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมประมาณ 1.5 หรือ 2 เท่า ก่อนจะหลุดจากปลายลวดเชื่อมแล้ว การส่งถ่ายน้ำโลหะผ่านการอาร์คเข้าสู่บริเวณที่มีการหลอมละลายด้วยแรงโน้มถ่วงและแรงตึงผิว ซึ่งจะทำให้อัตราการเติมเนื้อโลหะมากและมีความร้อนสูงกว่าการถ่ายโอนแบบลัดวงจร แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงการส่งถ่ายน้ำโลหะแบบหยด
ที่มา: คະเนย์ วรรณ โท. การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.2.3 การส่งถ่าน้ำโลหะ แบบละออง (Spray)

การส่งถ่าน้ำโลหะนี้ จะเริ่มขึ้นเมื่อปลายลวดเชื่อมถูกหลอมแล้วก่อตัวเป็นหยดโลหะขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดเชื่อม หยดโลหะจะรีวเล็กลงตรงส่วนที่ต่ออยู่ระหว่างปลายลวดเชื่อม และหยดโลหะนี้จะถูกแยกตัวหรือถูกบีบให้หลุดออกจากปลายลวดเชื่อมด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ดังแสดงรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงการส่งถ่าน้ำโลหะแบบละออง
ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์, การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.3 ก๊าซปกคลุม (Shielding Gas)

กระบวนการเชื่อมแบบ GMAW จะใช้ก๊าซเข้ามาปกคลุมบริเวณที่เกิดการอาร์ค เพื่อป้องกันมิให้ก๊าซไนโตรเจน (N) ก๊าซออกซิเจน (O₂) และความชื้นในอากาศเข้าไปรวมตัวกับโลหะในบริเวณที่มีการหลอมละลาย

ก๊าซปกคลุม จัดแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

2.3.3.1 ก๊าซเฉื่อย (Inert Gas) เป็นก๊าซปกคลุมที่ไม่เข้าทำปฏิกิริยารวมตัวกับสารอื่นได้แก่ ก๊าซอาร์กอน (Argon : Ar) ก๊าซฮีเลียม (Helium : He) และก๊าซผสมระหว่างก๊าซอาร์กอนกับก๊าซฮีเลียม

2.3.3.2 แอกทีฟก๊าซ (Active Gas) ก๊าซปกคลุมที่เข้าทำปฏิกิริยารวมตัวกับสารอื่นได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

องค์ประกอบในการพิจารณาเลือกใช้ชนิดก๊าซปกคลุมการเชื่อม มีข้อที่ควรพิจารณา คือ

- ชนิดของโลหะที่จะเชื่อม
- ความต้องการสมบัติทางกลและข้อกำหนดพิเศษ
- วิธีการเชื่อม เช่นการเชื่อมด้วยมือ หุ่นยนต์อัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ
- ชนิดของลวดเชื่อมและแก๊สที่แนะนำสำหรับลวดเชื่อมชนิดนั้น

- ความเรียบของแนวเชื่อมที่ต้องการ

2.3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ในกระบวนการเชื่อม GMAW

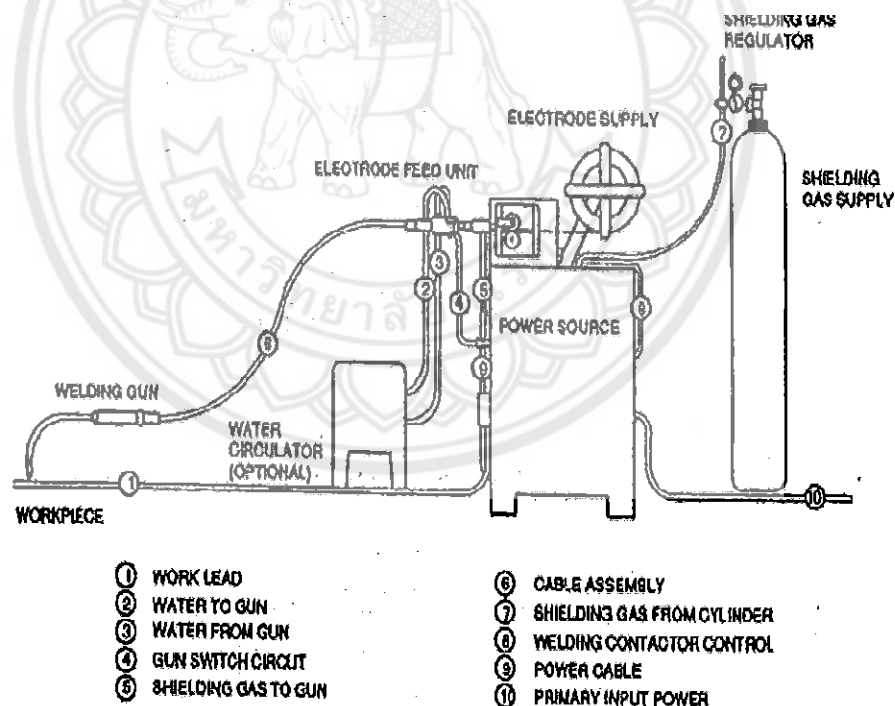
เครื่องมือและอุปกรณ์พื้นฐานของการเชื่อมของ GMAW มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.28

2.3.4.1 เครื่องเชื่อม (Welding Machine) จะเป็นเครื่องเชื่อมกระแสตรง ชนิดแรงเคลื่อนคงที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับการเชื่อม ซึ่งจะมีการต่อวงจรการเชื่อม โดยให้ลวดเชื่อมเป็นขั้วบวกและชิ้นงานเป็นขั้วลบ

2.3.4.2 ชุดป้อนลวดเชื่อม (Wire Feed Unit) จะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการป้อนลวดเชื่อมและส่งลวดเชื่อมยังหัวเชื่อม เพื่อใช้ในการเชื่อม

2.3.4.3 ชุดหัวเชื่อมและท่อนำลวด (Welding Gun and Cable) จะเป็นส่วนที่นำลวดเชื่อมก๊าซปกคลุมและกระแสไฟเชื่อมไปยังชิ้นงาน

2.3.4.4 ชุดควบคุมการไหลของแก๊ส (Shielding Gas Unit) จะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการไหลของก๊าซปกคลุมที่จะส่งไปยังการเชื่อม



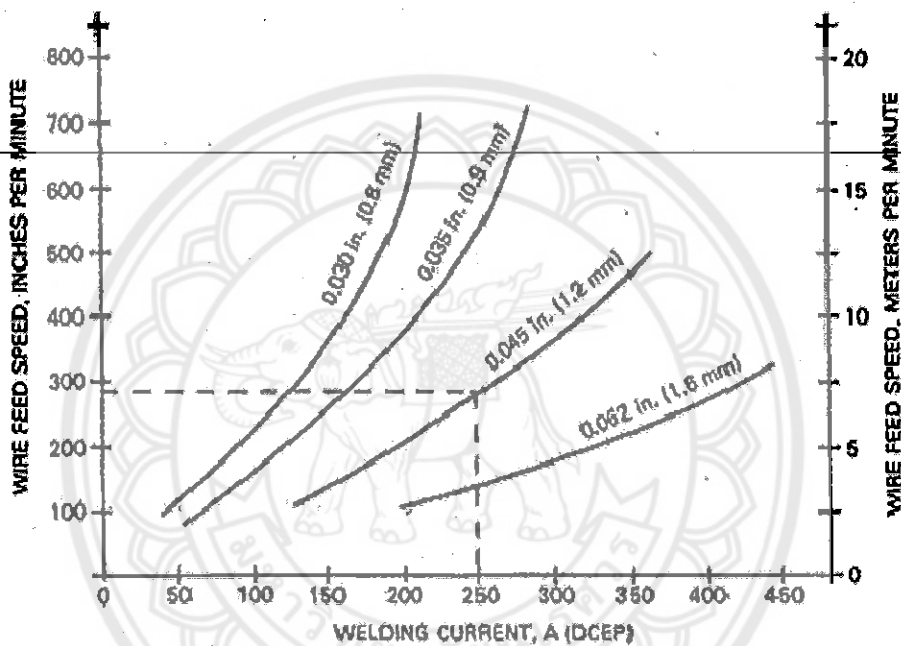
รูปที่ 2.28 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์พื้นฐานของกระบวนการเชื่อม FCAW

ที่มา: คະเนย์ วรณ โท. การเชื่อม โลหะในระบบ GMAW.

2.3.5 ตัวแปรของการเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW

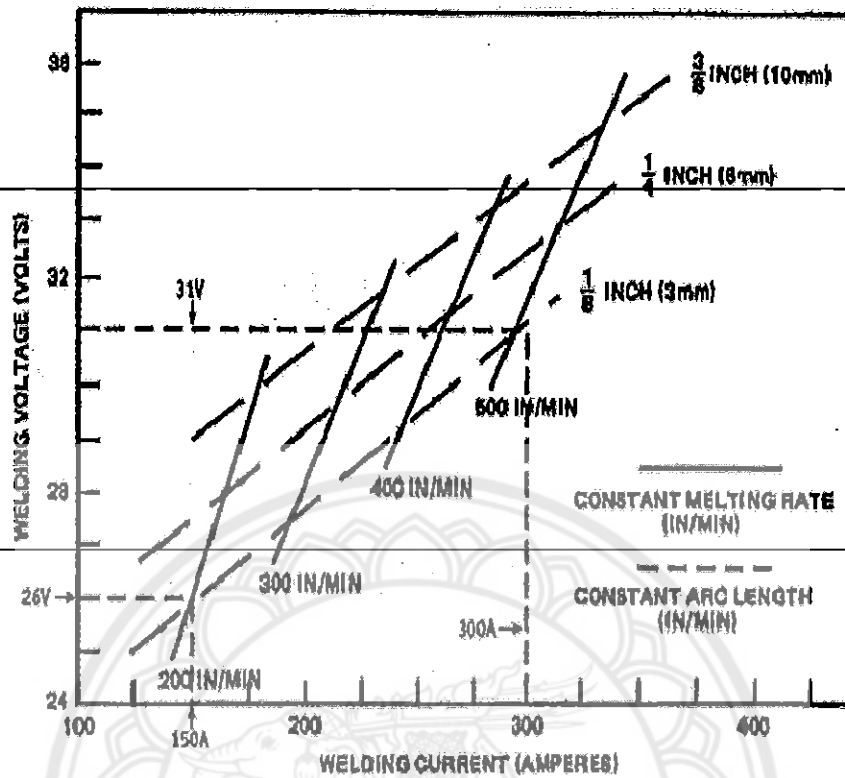
ตัวแปรของการเชื่อม ที่สำคัญและมีผลต่อการหลอมละลายลึก (Penetration) รูปร่างทางเรขาคณิตของแนวเชื่อม (Bead Geometry) และคุณภาพโดยรวมของแนวเชื่อม มีดังนี้

2.3.5.1 กระแสไฟเชื่อม (Welding Current) คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องเชื่อมผลิตออกมา และนำไปใช้ในการเชื่อม ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม กล่าวคือ ถ้าปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมให้สูงขึ้นกระแสไฟเชื่อมก็จะสูงขึ้นด้วย แต่ถ้าปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมให้ต่ำลงกระแสไฟเชื่อมก็จะต่ำลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.29



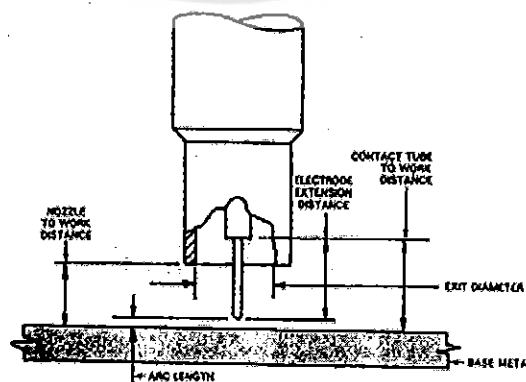
รูปที่ 2.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม
ที่มา: คณะวิศวกรรมศาสตร์, การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.5.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์ค (Arc Voltage) เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการอาร์คในขณะที่ทำการเชื่อม ถ้าระยะการอาร์ค (Arc Length) คงที่ แรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์คก็จะคงที่ด้วย แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์คจะมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟเชื่อม กล่าวคือถ้ากระแสไฟเชื่อมสูงขึ้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์คก็จะสูงขึ้นด้วย แต่ถ้ากระแสไฟเชื่อมต่ำลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์คก็จะต่ำลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟเชื่อมกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าในการอาร์ด
ที่มา: คะเนย์ วรรณ โท. การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.5.3 ความยาวของลวดเชื่อมที่ยื่นออกมาจากหัวเชื่อม (Electrode Extension) คือ ระยะความยาวของลวดเชื่อมที่วัดปลายของลวดเชื่อมไปยัง Contact Tip ซึ่งค่าที่เหมาะสมจะอยู่ระหว่าง 6-12 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 แสดงระยะของ Electrode Extension และระยะ Arc Length
ที่มา: คะเนย์ วรรณ โท. การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW.

2.3.5.4 โวลเตจเชื่อม (Welding Voltage) Welding Voltage นี้สามารถตั้งได้เพื่อควบคุมระยะอาร์คโดยตรง ซึ่ง Welding Voltage จะสัมพันธ์กับช่วงของกระแสเชื่อม

2.3.5.5 ความเร็วในการเชื่อม (Travel Speed) อัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมในขณะที่ทำการเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายที่ทำการเชื่อม

2.3.5.6 ขนาดของสวดเชื่อม (Electrode Size) จะมีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อม เนื่องจากลวดเชื่อมที่มีขนาดโต จะต้องใช้กระแสไฟเชื่อมขึ้นต่ำมากกว่าลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็กเพื่อใช้สำหรับการส่งถ่ายน้ำโลหะ

2.4 การตรวจสอบโดยไม่ทำลายในงานเชื่อม (Non Destructive Testing in Welding)

การตรวจสอบโดยไม่ทำลายมักจะถือปฏิบัติตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา สมาคมตรวจสอบโดยไม่ทำลาย มาตรฐาน ASTM A514/A514M-05: Standard Specification for High-Yield-Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding.(ASNT) ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบที่ใช้กันอย่างกว้างขวางคือ การตรวจสอบโดยการพินิจหรือการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Testing)ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบที่ใช้กันอย่างกว้างขวางเรียงลำดับการใช้งานดังนี้

การตรวจสอบโดยการพินิจหรือการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Testing) การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะใช้ตรวจสอบตำแหน่งที่สำคัญคือ

2.4.1 ตำแหน่งที่เกิดจากรูปร่าง ซึ่งได้แก่

- ก. ไม่ตรงแนว (Misalignment)
- ข. ความสูงของแนวเชื่อม (Height Of Reinforcement)
- ค. การกัดเซาะ (Undercut)
- ง. ความเรียบของผิว (Uneven Bead Surface)
- จ. การบิดเสียรูป (Angular Distortion)

2.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือวัดสำหรับตรวจสอบ

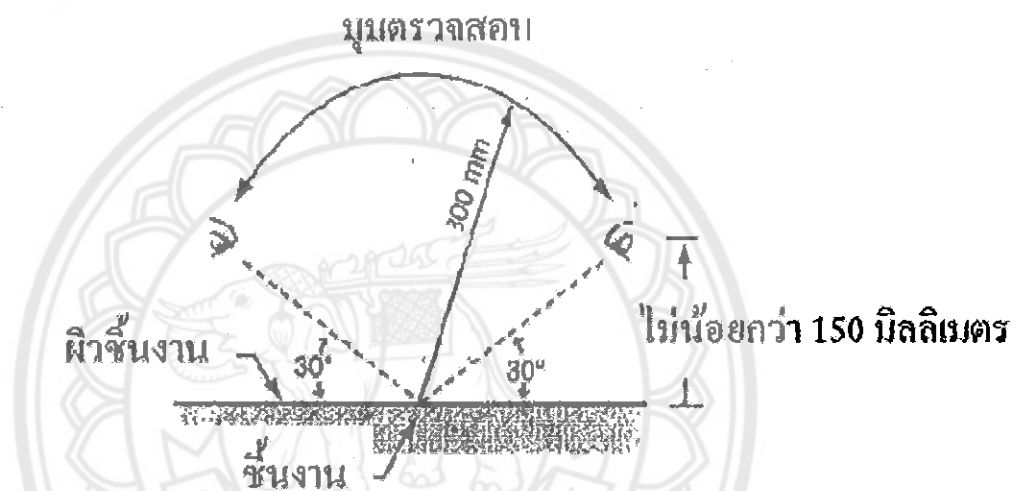
- ก. ไม้บรรทัดวัดมีความละเอียด 1 มิลลิเมตร
- ข. เวอร์เนียคาลิปเปอร์
- ค. แวนขยายกำลังขยาย 2-5 เท่า

เครื่องมือช่วยตรวจสอบ เช่น กระบอกเงา ไฟฉาย

2.4.3 รายละเอียดการตรวจสอบ

2.4.3.1 ทำความสะอาดรอยเชื่อมและบริเวณใกล้เคียงอย่างน้อย 25 มิลลิเมตร โดยบริเวณที่ทำการตรวจสอบจะต้องแห้งและปราศจากสิ่งสกปรก จารบี น้ำมัน คราบสเกล สแลกเชื่อม (Slag) เม็ดโลหะกระเด็น สี และสิ่งอื่น ๆ ที่ไม่พึงประสงค์ที่อาจบดรอยบดพร่องได้

2.4.3.2 ตรวจสอบด้วยสายตาห่างจากผิวชิ้นงานไม่เกิน 300 มิลลิเมตร และมุมต้องไม่น้อยกว่า 30 องศา (ตามรูปที่ 1) หรือ อาจจะใช้แว่นขยาย กล้องบอร์สโคป ไฟเบอร์ออปติก หรือ กล้องวิดีโอ



รูปที่ 2.32 แสดงมุมตรวจสอบด้วยสายตา

ที่มา: www.supradit.com/contents/metal/Data/5/3.html

2.4.3.3 ตรวจสอบด้วยสายตาภายใต้แสงสว่างอย่างน้อย 350 ลักซ์ แต่ที่แนะนำคือ 500 ลักซ์

2.4.3.4 การตรวจสอบด้วยสายตาในระยะที่ห่างไกลในกรณีชิ้นงานอยู่ไกลกับสายตาสามารถใช้เครื่องช่วยในการตรวจสอบ เช่น กระจกเงา แว่นขยาย กล้องขยาย บอร์สโคป เป็นต้น

2.4.3.5 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีพินิจสามารถกระทำได้ที่ทันทีหลังจากชิ้นงานเชื่อมเป็นตัวลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

การศึกษาค้นคว้าหาความเหมาะสมในกระบวนการเชื่อม GMAW โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA Robot - KR125 โดยผู้ศึกษาได้มีการจัดเตรียมการทดลอง ทำการทดลอง และจัดเก็บข้อมูล การทดลองเพื่อนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ และสรุปผลของการศึกษา และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการ เชื่อม ลดต้นทุนในการผลิตและรักษาคุณภาพของการเชื่อมให้มีคุณภาพที่ดีอย่างสม่ำเสมอ

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 การเลือกวัสดุ

วัสดุที่จะนำมาทำการศึกษา เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีจำหน่ายในท้องตลาดที่มีขนาด ความหนา 12 มิลลิเมตร มาใช้ในการทดลอง เนื่องจากเป็นความหนาที่ผู้ศึกษาพบในงานเชื่อม โครงสร้างอยู่เป็นประจำ และยังสามารถตรวจสอบคุณภาพของแนวเชื่อมให้เป็นไปตามข้อกำหนด ของมาตรฐาน เมื่อจัดหาวัสดุมาได้แล้วก็ทำการเลือกลวดเชื่อมต่อไป

3.1.2 การเลือกค่าตัวแปรในการทดลอง

การเลือกระยะการอาร์ค จากการศึกษาทฤษฎีระยะอาร์คที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 3 – 10 มิลลิเมตร ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกใช้ค่า คือ 3.0 มิลลิเมตร

ระยะของ Electrode Extension จากการศึกษาทฤษฎีระยะ Electrode Extension ที่ เหมาะสมสำหรับการเชื่อมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 15 – 25 มิลลิเมตร ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกใช้ค่า คือ 15.0 มิลลิเมตร

การเลือกความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม สำหรับลวดเชื่อมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ลวดเชื่อมขนาด 0.9 มิลลิเมตร โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 175 แอมแปร์ ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในการ อาร์ค 18 - 30 โวลต์ ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมอยู่ระหว่าง 2-10 เมตรต่อนาที เนื่องจากความเร็ว ในการป้อนลวดเชื่อมเป็นตัวแปรสำคัญในงานเชื่อม

ดังนั้นผู้ศึกษาจึงได้พิจารณาเลือกใช้ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมมาทำการทดลอง โดย เลือกใช้ค่า คือ 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาที

การเลือกก๊าซที่ใช้ในการปกคลุมบริเวณที่ทำการเชื่อม ผู้ศึกษาได้พิจารณาเลือกใช้ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาทฤษฎี พบว่าเป็นก๊าซที่เหมาะสมกับการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ต่ำคุณภาพของก๊าซใช้เกรดอุตสาหกรรม เนื่องจากจัดหาได้ง่ายและมีราคาไม่แพง สำหรับอัตราการ ไหลที่เหมาะสม ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้ค่า คือ 25 ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าตัวแปรการเชื่อม

ระยะการอาร์ค (มิลลิเมตร)	ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม (เมตรต่อนาที)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
3	2	25~28	175
3	4	25~28	175
3	6	25~28	175
3	8	25~28	175
3	10	25~28	175

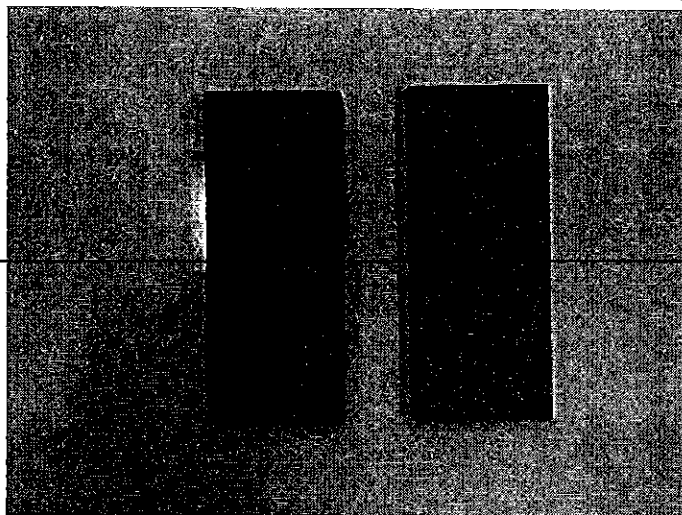
3.1.3 การเลือกการตรวจสอบเพื่อหาค่าที่ต้องการ

เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาค่าความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่ดีที่สุดกับแรงดันไฟฟ้าและเหมาะสมสำหรับชิ้นงาน ซึ่งจะทำงานเชื่อมออกมาได้ไม่ต้องแก้ไขงาน ซึ่งในการแก้ไขงานแต่ละครั้งจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตเพิ่ม ถ้าไรก็จะลดลง ผู้ศึกษาจึงเลือกใช้การทดลองนี้ เพื่อหาค่ามาตรฐานของงานเชื่อมเพื่อจะได้ลดการแก้ไขงานเชื่อมลงหรือไม่ให้เกิดข้อบกพร่องในงานเชื่อม ผู้ศึกษาทำงานเกี่ยวกับโครงสร้างเหล็กงานเชื่อมจึงเป็นหัวใจหลักของการทำงาน ถ้าลดข้อบกพร่องเกี่ยวกับงานเชื่อมลงได้ก็จะเป็นผลดีหลังจากได้ทดลองทำการเชื่อมมาหลายวิธีจึงได้ข้อสรุป และนำชิ้นงานไปทำการตรวจสอบคุณภาพของแนวเชื่อมโดยวิธีไม่ทำลาย (Non Destructive Testing) โดยเลือกวิธี ในการตรวจสอบ คือ การตรวจสอบโดยการพินิจหรือการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Testing) เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 วัสดุชิ้นงาน

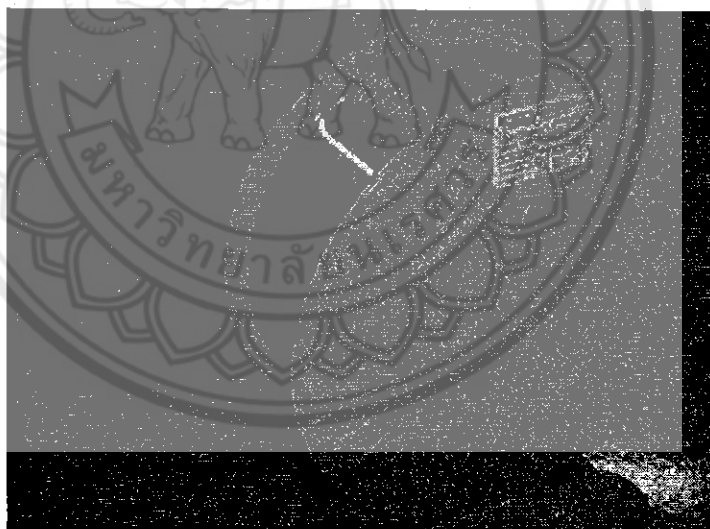
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ขนาดความหนา 12 มิลลิเมตร มาตัดเป็นชิ้นทดสอบขนาดความกว้าง 65 มิลลิเมตร ขนาดความยาว 200 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.1 แสดงชิ้นงานสำหรับการทดลอง

3.2.2 ลวดเชื่อม

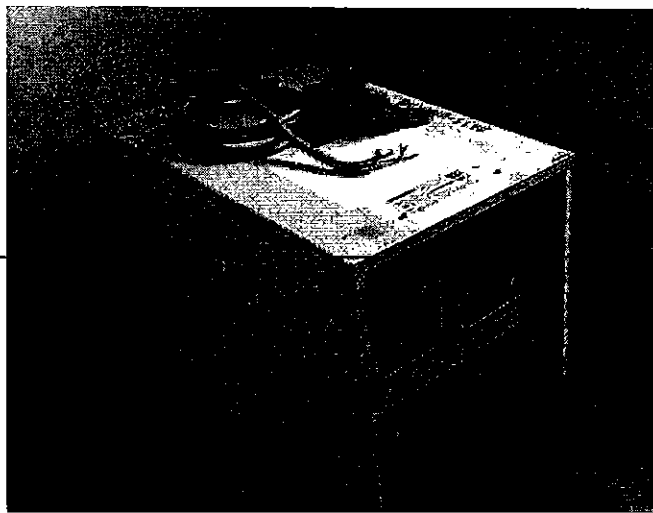
ลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบเป็นลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ตามมาตรฐาน AWS A5.1 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 แสดงลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

3.2.3 เครื่องเชื่อม

เครื่องเชื่อมเป็นระบบอินเวอร์เตอร์ ควบคุมตัวแปรการเชื่อมด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ เครื่องหมายการค้า HOBART รุ่น Excl-arc 8065 CC/CV ซึ่งเครื่องเชื่อมใช้ไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สลับขั้ว การใช้เครื่องเชื่อมไฟฟ้ากระแสตรงการเชื่อมจะมีความราบเรียบ



รูปที่3.3 แสดงเครื่องเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

3.2.4 เครื่องควบคุมการป้อนลวดเชื่อม

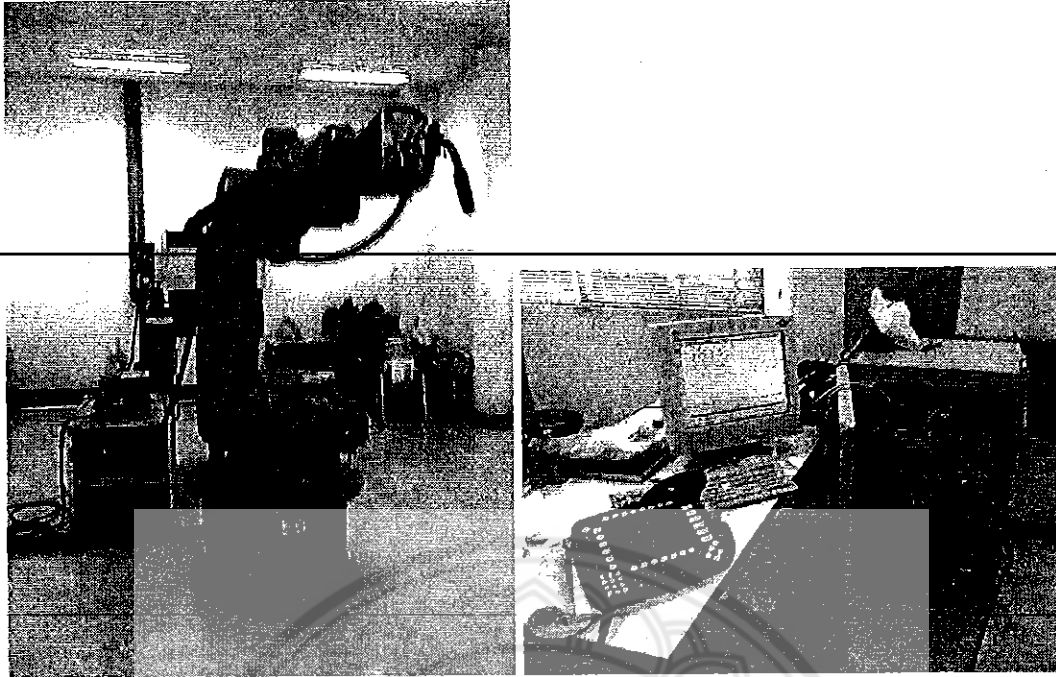
เครื่องหมายการค้า HOBART รุ่น 2410



รูปที่3.4 แสดงเครื่องควบคุมการป้อนลวดเชื่อมที่ใช้ในการทดลอง

3.2.5 แขนกลสำหรับงานเชื่อม

แขนกลงานเชื่อม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำการเชื่อมแทนผู้ปฏิบัติงานเชื่อม เพื่อให้สามารถทำการควบคุมความเร็วในการเชื่อม และระยะของการอาร์คให้คงที่ขณะที่ทำการเชื่อม โดยใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA Robot - KR125



รูปที่3.5 แสดงแขนกลที่ใช้ในการทดลอง

3.3 การใช้ระบบควบคุมและสั่งงานหุ่นยนต์อุตสาหกรรม KUKA Robot - KR125

3.3.1 การกำหนดจุดและการโปรแกรมการเคลื่อนที่ (Positioning and Motion Programming)

Motion Programming เพื่อที่จะเคลื่อน robot tool ไปยังเป้าหมาย ภายใต้การควบคุมโดยโปรแกรม หุ่นยนต์ต้องถูกโปรแกรม ด้วยคำสั่งการเคลื่อนที่ โดยคำสั่งการเคลื่อนที่นี้ประกอบด้วยจุดเป้าหมายและค่า setting อื่นๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของการเคลื่อนที่ ชนิดของการเคลื่อนที่เหล่านี้ได้แก่

3.3.1.1 Point-to-point (PTP) การเคลื่อนที่ชนิดนี้ tool จะเคลื่อนที่ไปยังเส้นทางที่เร็วที่สุด

3.3.1.2 Linear (LIN) การเคลื่อนที่ชนิดนี้ tool จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นตรง

3.3.1.3 Circular (CIRC) การเคลื่อนที่ชนิดนี้ tool จะเคลื่อนที่ไปตามส่วนโค้งของวงกลม

Point-to-point Motions (PTP)

การเคลื่อนที่แบบ PTP จะทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วที่สุดไปยังเป้าหมาย มันเป็นชนิดการเคลื่อนที่ที่รวดเร็วและมี time-optimization ขึ้นอยู่กับจุดเริ่มต้น tool จะถูกเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นไปยังเป้าหมายตามเส้นทางที่ไม่สามารถกำหนดได้อย่างแน่นอน โดยเส้นทางการเคลื่อนที่นี้เป็นผลมาจาก phase synchronization ของแต่ละแกน

การเคลื่อนที่แบบ PTP จะถูกใช้เมื่อหุ่นยนต์ไม่มีความจำเป็นในการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่เจาะจงในการเคลื่อนที่ระหว่างจุดสองจุดในโปรแกรม

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของคำสั่ง PTP

Field name	Function	Range of values
PTP	Type of motion	PTP, LIN, CIRC
P3	Frames	Tool/base coordinate system (range of values 1 to 16), Base/TCP
	When this field is selected, an additional inline form is opened	
CONT	Approximate positioning	No entry=approx. positioning off CONT=approx. positioning on
Vel	Path velocity	1 to 100% (default value 100%) of the maximum value
PDAT1	Motion data When this field is selected, an additional inline form is opened	Acceleration 1 to 100% (default value 100%) of the maximum value Approximation Distance=approximate Positioning range 0 to 100% (default value 0%=no approximate positioning) of half the block length (displayed only if approximate positioning is on)

ที่มา: NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics.

3.3.2 การควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรมโดยการป้อนคำสั่งผ่านทางโปรแกรม KRC1

3.3.2.1 ทำการวัดพิกัดจากตำแหน่งฐานของ Robot โดยการบังคับด้วย Tech Pendant และขณะเดียวกันทำการ Monitor ในระบบ บังคับไปที่จุดต่างๆของชิ้นงานที่นำมาใช้ประกอบการทดลอง

3.3.2.2 นำพิกัดที่ได้มาเขียนลงในโปรแกรม KR C1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

DEF ALP001 ;กำหนดชื่อ file

DECL AXIS HOME ;ประกาศตัวแปร

BAS (#INIMOV,0)

HOME = {AXIS:A1 0,A2 0,A3 0,A4 0,A5 0,A6 0} ;กำหนดตำแหน่งเริ่มต้น

(Home)

PTP HOME ;เคลื่อนที่ไปตำแหน่ง Home

PTP P1 Vel = 30% PDAT1

WAIT Time= 3 sec

PTP P2 Vel= 10% PDAT2

WAIT Time= 3 sec

PTP P3 Vel= 1% PDAT3

WAIT Time= 3 sec

PTP P4 Vel= 10% PDAT4

PTP HOME ;เคลื่อนที่ไปตำแหน่ง Home

END ;จบการทำงาน



รูปที่ 3.6 แสดงหน้าจอของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

3.4 วิธีการเชื่อม

ในการทดลองการเชื่อมชิ้นงาน การเชื่อมแบบเดินแนวบนชิ้นงาน ในตำแหน่งการเชื่อมทำราบ มีวิธีดังต่อไปนี้ คือ

3.4.1 ทำการปรับตัวแปรของการเชื่อมให้คงที่ สำหรับการเชื่อมเดินแนวบนชิ้นงาน แสดงในตารางที่ 3.3

3.4.2 ทำการเชื่อมชิ้นงานตามกระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ คือ 175 แอมแปร์

3.4.3 ความเร็วในการเชื่อม (Travel Speed) อัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมในขณะที่ทำการเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายที่ทำการเชื่อม กำหนดไว้คือ 0.8 เมตรต่อนาที

3.4.4 ทำการปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่กำหนดไว้ คือ 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาที ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 แสดงการปรับค่าตัวแปรการเชื่อม

ตัวแปรการเชื่อม	ค่าตัวแปรคงที่
วัสดุงาน	เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ หนา 12 มิลลิเมตร
วัสดุลวดเชื่อม	AWS A5.20 : E71T-1 ขนาด 0.9 มิลลิเมตร
ก๊าซปกคลุม/อัตราการใช้	CO ₂ / 25,30 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
ระยะของปลายท่อนำลวดถึงปลายลวดเชื่อม	15 มิลลิเมตร
ระยะของการอาร์ค	3 มิลลิเมตร
ลักษณะของแนวเชื่อม	แบบเดินแนวบนชิ้นงานตำแหน่งการเชื่อมทำราบ ไม่บากชิ้นงาน
มุมของปืนเชื่อม	90 องศา

3.5 วิธีการศึกษาคุณภาพแนวเชื่อม

นำชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อม มาตรวจสอบคุณภาพของแนวเชื่อมโดยวิธีไม่ทำลาย (Non Destructive Testing) ใช้ในการตรวจสอบ คือ ตรวจสอบโดยการพินิจหรือการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Testing) ในการดำเนินการ ผู้ศึกษาได้ทำการทดลองทำการเชื่อมชิ้นงาน และเก็บข้อมูลของการศึกษาผลของ ระยะความกว้าง ระยะความสูงของแนวเชื่อม เพื่อหาค่าสิ่งที่เกิดขึ้นจากการใช้แขนกลหุ่นยนต์โดยการเชื่อมแบบเดินแนวบนชิ้นงาน ที่มีความหนา 12 มิลลิเมตร

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

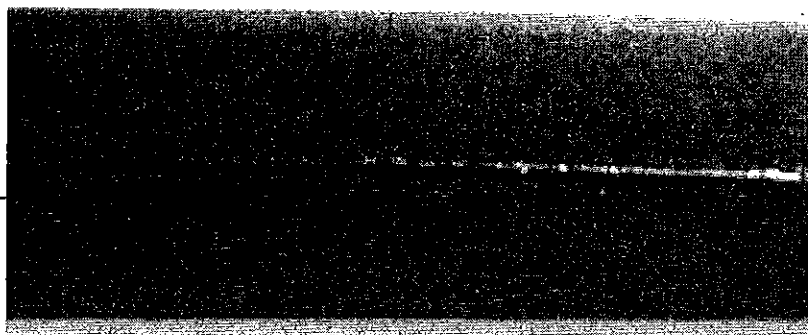
ในการดำเนินการ ผู้ศึกษาได้ทำการทดลองทำการเชื่อมชิ้นงาน และเก็บข้อมูลของการศึกษาผลของระยะการหลอมละลายลึก ระยะความกว้าง ระยะความสูงของแนวเชื่อม ที่เกิดขึ้นจากการปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมในกระบวนการเชื่อม GMAW ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โดยการเชื่อมแบบเดินแนวบนชิ้นงานตำแหน่งการเชื่อมทำราบไม่บากงาน ที่มีความหนา 12 มิลลิเมตร ด้วยการใช้แขนกลการเชื่อม(Welding Robotic) ในตำแหน่งการเชื่อมทำราบแบบเดินแนวบนชิ้นงาน มุมของปืนเชื่อม 90 องศาลวดเชื่อมที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตามมาตรฐาน AWS A5.20 : E71T-1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซปกคลุมบริเวณที่ทำการเชื่อม ค่าตัวแปรของการเชื่อมที่มีค่าคงที่ คือ กระแสไฟฟ้าที่กำหนดไว้ คือ 175 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 25 โวลต์ ระยะของปลายท่อนำลวดถึงปลายลวดเชื่อม 15 มิลลิเมตร ระยะอาร์ค 3 มิลลิเมตร ก๊าซปกคลุมอัตราการไหล 25 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และความเร็วในการเชื่อม (Travel Speed) กำหนดไว้คือ 0.8 เมตรต่อนาที ค่าตัวแปรของการเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง คือ ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่ 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาที ตามลำดับ

4.1 ผลการดำเนินงาน

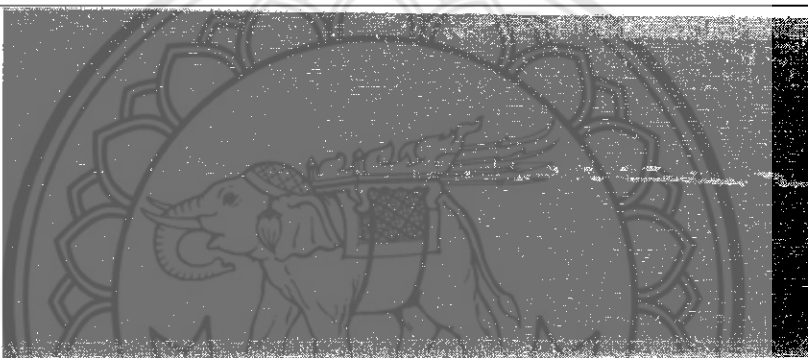
หลังจากที่ได้ทำการออกแบบการทดลองแล้ว ผู้ศึกษาได้ทำการปรับค่าตัวแปรการเชื่อมครั้งนี้ ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่ 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาที ตามลำดับ โดยทำการเชื่อมชิ้นงานหาความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่เหมาะสม แล้วนำชิ้นงานไปตรวจสอบคุณภาพของแนวเชื่อม โดยวิธีไม่ทำลาย (Non Destructive Testing) โดยใช้วิธี ในการตรวจสอบ คือ ตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Testing) ซึ่งสามารถแสดงผล ระยะความกว้าง และระยะความสูงของแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นจากการการเชื่อม

ตารางที่ 4.1 แสดงผลระยะความกว้าง และระยะความสูงของแนวเชื่อมที่เกิดจากการเปลี่ยนค่า
ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม

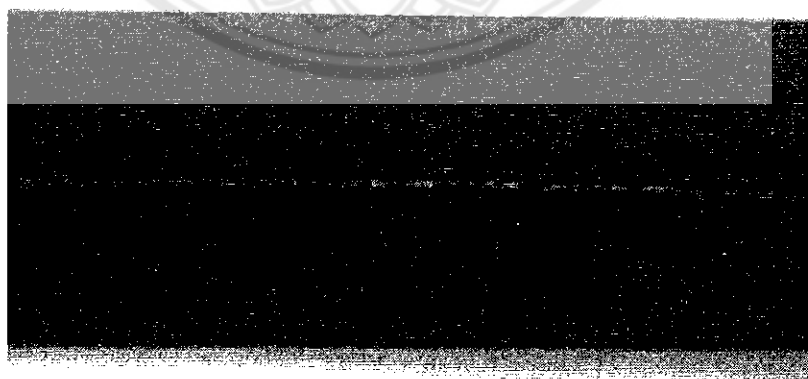
ชั้นงาน	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ความเร็วการป้อนลวดเชื่อม (เมตรต่อนาที)	ความกว้าง (มิลลิเมตร)	ความกว้างเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	ความสูง (มิลลิเมตร)	ความสูงเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
A1	25	2	3.9	4.1	2.4	2.53
A2	25	2	4.1		2.5	
A3	25	2	4.2		2.7	
A4	25	2	4.1		2.5	
B1	25	4	5.1	5.18	3.3	3.25
B2	25	4	5.2		3.5	
B3	25	4	5.1		3.2	
B4	25	4	5.3		3.0	
C1	25	6	5.6	5.7	3.7	3.78
C2	25	6	5.9		3.5	
C3	25	6	5.5		4.2	
C4	25	6	5.7		3.7	
D1	25	8	6.1	6.15	4.3	4.38
D2	25	8	6.5		4.4	
D3	25	8	5.7		4.5	
D4	25	8	6.3		4.4	
E1	25	10	6.4	6.3	4.6	4.65
E2	25	10	6.1		4.9	
E3	25	10	6.4		4.6	
E4	25	10	6.2		4.5	



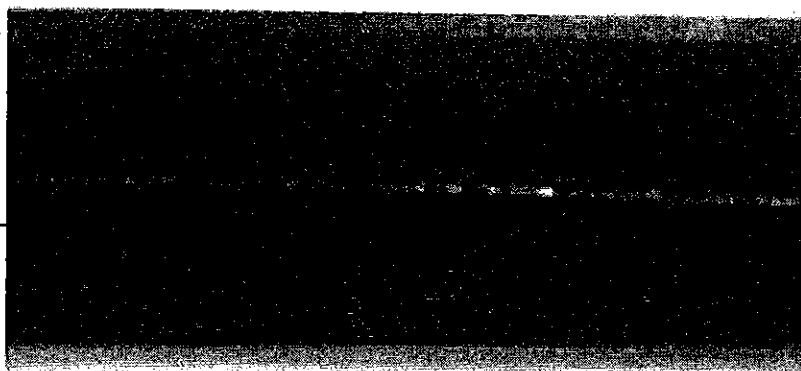
รูปที่ 4.1 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2 เมตรต่อนาที
โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์



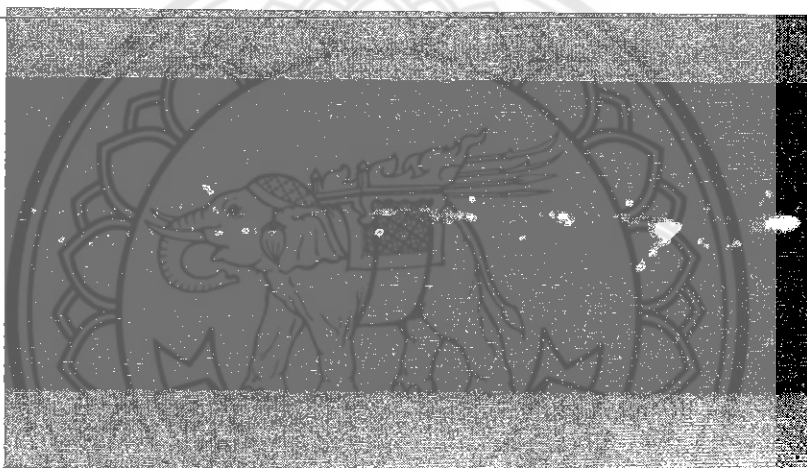
รูปที่ 4.2 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 4 เมตรต่อนาที
โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์



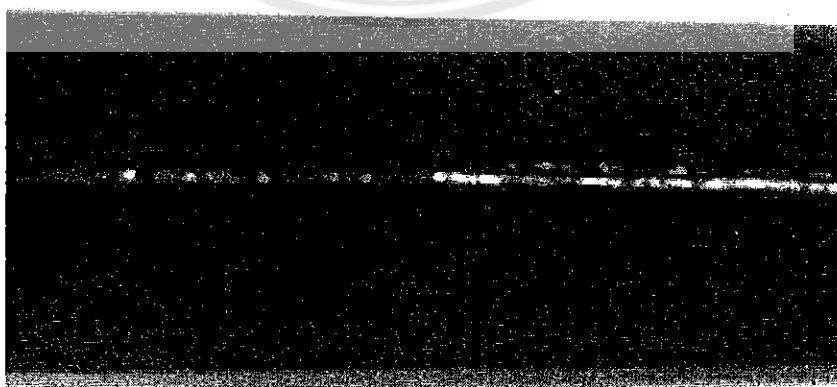
รูปที่ 4.3 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 6 เมตรต่อนาที
โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์



รูปที่ 4.4 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 8 เมตรต่อนาที
โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์



รูปที่ 4.5 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 10 เมตรต่อนาที
โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์

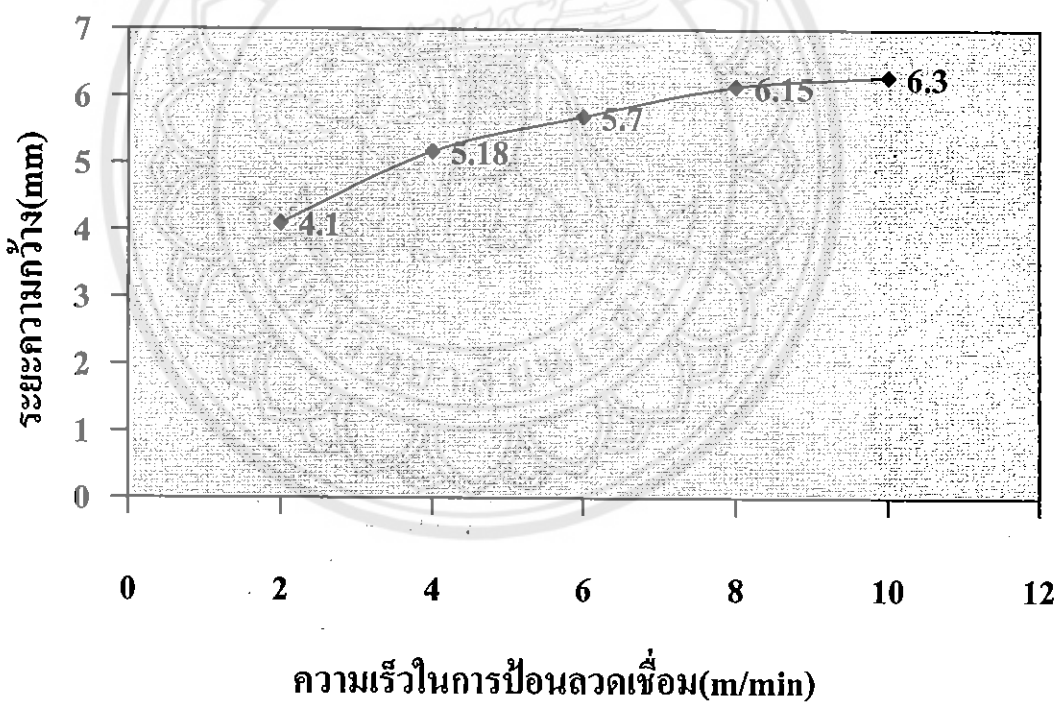


รูปที่ 4.6 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 10 เมตรต่อนาที
โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์

4.1.1 ผลของการปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมที่มีต่อความกว้างของแนวเชื่อม

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยระยะความกว้างของแนวเชื่อม(ข้อมูลอ้างอิงจากตารางที่4.1)

	ความเร็วการป้อนลวดเชื่อม (เมตร/นาที)				
	2	4	6	8	10
ระยะความกว้างของแนวเชื่อมเฉลี่ย(มิลลิเมตร)	4.1	5.18	5.7	6.15	6.3
วิธีการคำนวณอัตราการเพิ่มระยะความกว้างของแนวเชื่อมเป็นเปอร์เซ็นต์	-	(100/4.1)* (5.18-4.17)	(100/5.18)* (5.7-5.18)	(100/5.7)* (6.15-5.7)	(100/6.15)* (6.3-6.15)
อัตราการเพิ่ม (%)	-	24.63	10.04	7.89	2.44



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะความกว้างกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม

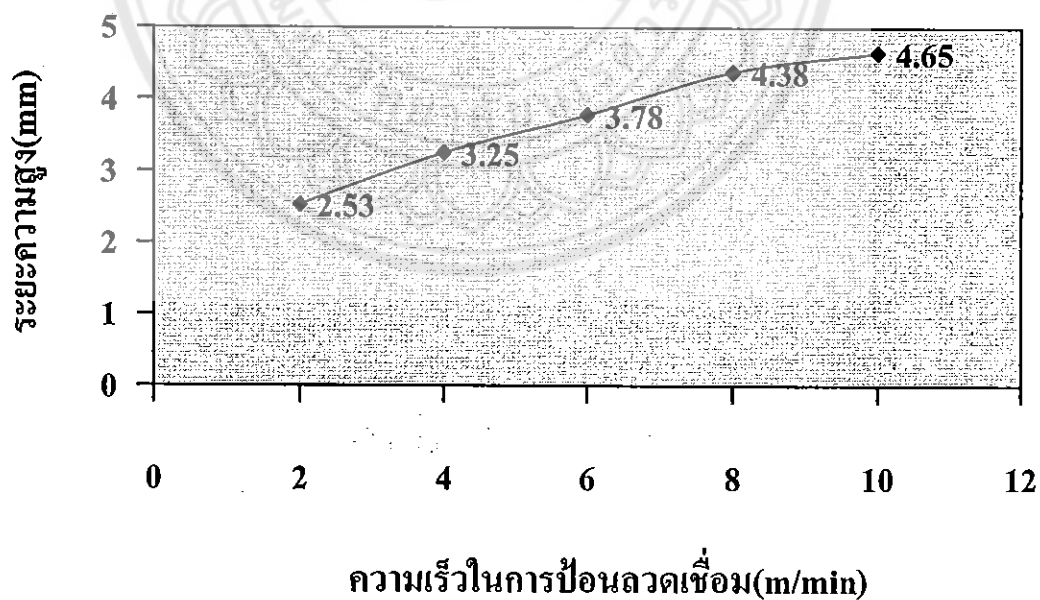
จากตารางที่ 4.2 พบว่า การปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมที่ 2 เมตรต่อนาทีจะมีระยะความกว้างของแนวเข็มน้อยที่สุด และปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมที่ 10 เมตรต่อนาทีจะมีระยะความกว้างของแนวเชื่อมมากที่สุด เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมจาก 2 เมตรต่อนาทีเป็น 4 เมตรต่อนาทีระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 26.34 % เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อม

จาก 4 เมตรต่อนาทีที่เป็น 6 เมตรต่อนาทีระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 10.04 % เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมจาก 6 เมตรต่อนาทีเป็น 8 เมตรต่อนาทีระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 7.89 % เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมจาก 8 เมตรต่อนาทีเป็น 10 เมตรต่อนาทีระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 2.44 %

4.1.2 ผลของการปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมที่มีต่อความสูงของแนวเชื่อม

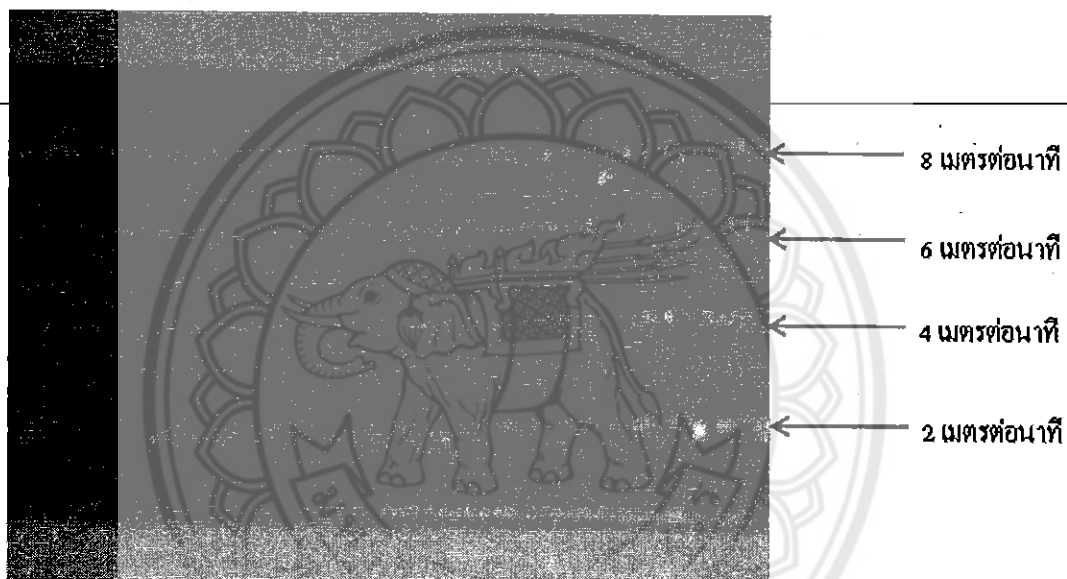
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยระยะความสูงของแนวเชื่อม(ข้อมูลอ้างอิงจากตารางที่4.1)

	ความเร็วการป้อนลวดเชื่อม (เมตร/นาที)				
	2	4	6	8	10
ระยะความสูงของแนวเชื่อมเฉลี่ย(มิลลิเมตร)	2.53	3.25	3.78	4.38	4.65
วิธีการคำนวณอัตราการเพิ่มระยะความสูงของแนวเชื่อมเป็นเปอร์เซ็นต์	-	$(100/2.53)^*$ (3.25-2.53)	$(100/3.25)^*$ (3.78-3.25)	$(100/3.78)^*$ (4.38-3.78)	$(100/4.38)^*$ (4.65-4.38)
อัตราการเพิ่ม (%)	-	28.46	16.31	15.87	6.16



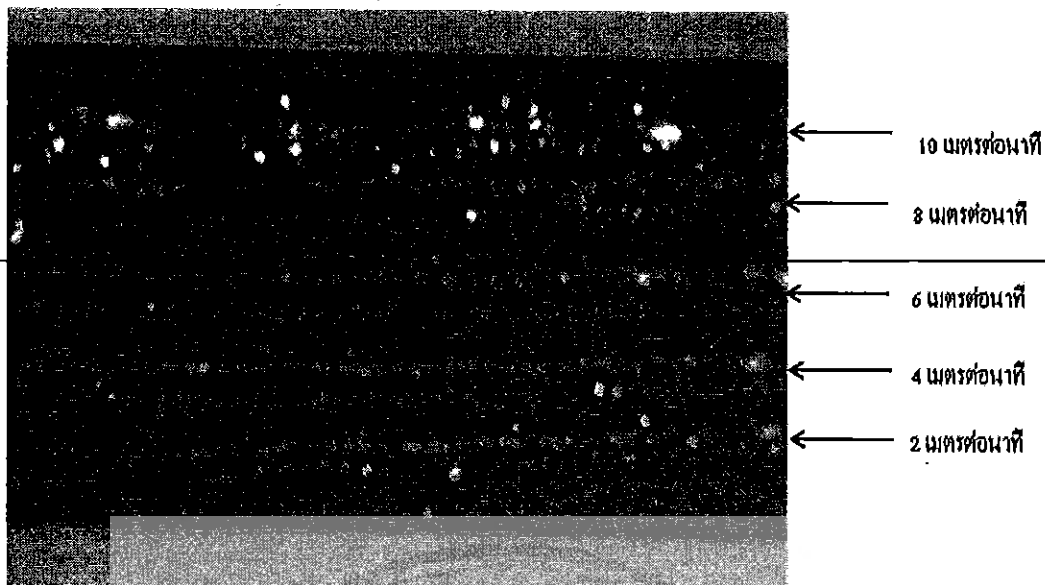
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะความสูงกับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม

จากตารางที่ 4.3 พบว่า การปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมที่ 2 เมตรต่อนาทีจะมีระยะความสูงของแนวเชื่อมน้อยที่สุด และปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมที่ 10 เมตรต่อนาทีจะมีระยะความสูงของแนวเชื่อมมากที่สุด เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมจาก 2 เมตรต่อนาทีเป็น 4 เมตรต่อนาทีที่ระยะความสูงของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 28.46 % เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมจาก 4 เมตรต่อนาทีเป็น 6 เมตรต่อนาทีที่ระยะความสูงของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 16.31 % เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมจาก 6 เมตรต่อนาทีเป็น 8 เมตรต่อนาทีที่ระยะความสูงของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 15.87 % เมื่อปรับความเร็วการป้อนลวดเชื่อมจาก 8 เมตรต่อนาทีเป็น 10 เมตรต่อนาทีที่ระยะความสูงของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 6.16 %



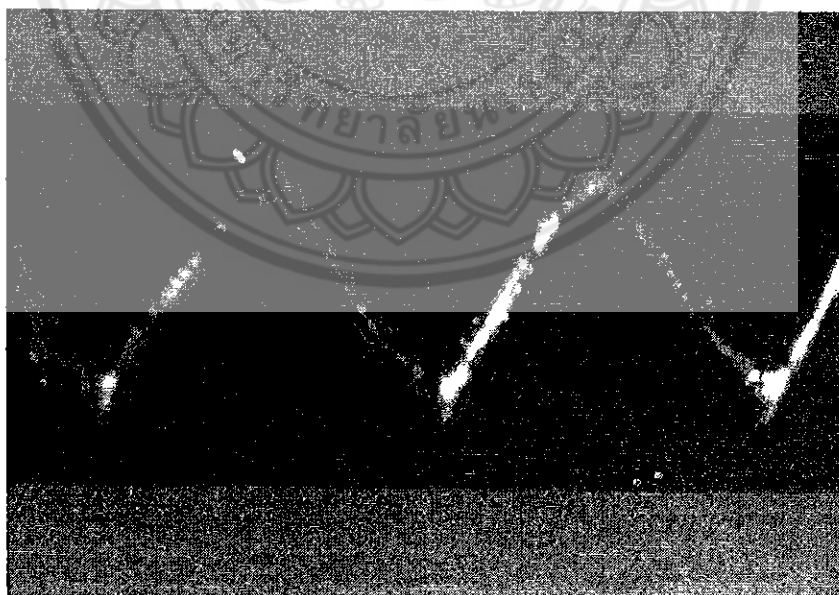
รูปที่ 4.9 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2, 4, 6, 8 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่ารอยเชื่อมเดินแนวที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2, 4, 6, 8 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์ สังเกตได้ว่ารอยเชื่อมที่ 2 เมตรต่อนาที มีลักษณะที่บางรอยเชื่อมไม่เป็นแนวเดียวกันเนื่องจากการใช้แรงดันไฟฟ้าที่มากเกินไป



รูปที่ 4.10 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 30 โวลต์

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่ารอยเชื่อมดินแนวที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดเชื่อมเป็น 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาที โดยปรับแรงดันไฟฟ้าเป็น 25 โวลต์ สังเกตได้ว่ารอยเชื่อมที่ 10 เมตรต่อ นาที มีลักษณะรอยเชื่อมที่ไม่เป็นแนวเดียวกันเนื่องจากการใช้แรงดันไฟฟ้าที่ต่ำเกินไป



รูปที่ 4.11 แสดงแนวเชื่อมที่ปรับค่าความเร็วการป้อนลวดที่เหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้า

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรของการเชื่อมในแต่ละครั้งของผู้ปฏิบัติงานเชื่อมนั้น จะมีผลต่อคุณภาพและลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อม ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานเชื่อมควรจะต้องมีความรู้และความเข้าใจจะมีแนวโน้มของผลที่เกิดขึ้นกับคุณภาพและลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อมส่วนการการเชื่อมในแต่ละครั้ง แต่ในส่วนของแขนกลหุ่นยนต์ KUKA Robot - KR125 แสดงให้เห็นถึงความมีคุณภาพและลักษณะรูปร่างของแนวเชื่อม ที่ความคงที่เหมือนกันทุกชิ้น

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง ในกระบวนการเชื่อม GMAW ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำโดยการเชื่อมแบบเดินแนวบนชิ้นงานที่มีความหนา 12 มิลลิเมตร ด้วยแขนกลหุ่นยนต์เครื่องหมายการค้า KUKA Robot - KR125 ลวดเชื่อมที่ใช้เป็นลวดเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ตามมาตรฐาน AWS A5.20 : E71T-1 ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร ใช้ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์เป็นก๊าซปกคลุมบริเวณที่ทำการเชื่อมด้วยอัตราการไหล 25 ลูกบาศก์ฟุตต่อชั่วโมง ค่าตัวแปรของการเชื่อมที่มีค่าคงที่ คือ ระยะอาร์ค 3 มิลลิเมตร และความเร็วในการเชื่อม 0.8 เมตรต่อนาที ค่าตัวแปรของการเชื่อมที่เปลี่ยนแปลง คือ ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมมาทำการทดลอง โดยเลือกใช้ค่า คือ 2, 4, 6, 8, 10 เมตรต่อนาทีนั้น ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.1 และสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่สูงขึ้นตามลำดับ จะมีผลทำให้ระยะความกว้างของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น เมื่อปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจาก 2 เป็น 4 เมตรต่อนาที ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 26.34 % และเมื่อความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจาก 4 เป็น 6 เมตรต่อนาที ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 10.04 % และเมื่อความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจาก 6 เป็น 8 เมตรต่อนาที ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 7.89 % และความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจาก 8 เป็น 10 เมตรต่อนาที ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 2.44 % ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมสูงขึ้นตามลำดับ อัตราส่วนการเพิ่มระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะมีแนวโน้มที่ลดลง

5.1.2 ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมที่สูงขึ้นตามลำดับ จะมีผลทำให้ระยะความสูงของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น เมื่อปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจาก 2 เป็น 4 เมตรต่อนาที ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 28.46 % และเมื่อความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจาก 4 เป็น 6 เมตรต่อนาที ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 16.31 % และเมื่อความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจาก 6 เป็น 8 เมตรต่อนาที ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 15.87 % และความเร็วในการป้อน

ลวดเชื่อมจาก 8 เป็น 10 เมตรต่อนาที ระยะเวลากว้างของแนวเชื่อมจะเพิ่มขึ้น 6.16 % ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมสูงขึ้นตามลำดับ อัตราส่วนการเพิ่มระยะความสูงของแนวเชื่อมจะมีแนวโน้มที่ลดลง

5.13 ตัวแปรในการเชื่อมที่เหมาะสมอยู่ที่การปรับ 2 ตัวแปร คือ แรงดันไฟฟ้าและความเร็วในการป้อนลวดเชื่อม กระแสเชื่อมที่เหมาะสมจะให้เสียงอาร์คที่สม่ำเสมอ

5.14 ถ้าปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมให้สูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าในการเชื่อมก็จะสูงขึ้นด้วย แต่ถ้าปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมให้ต่ำลงแรงดันไฟฟ้าในการเชื่อมก็จะต่ำลงด้วย

5.15 ถ้าปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมให้สูงขึ้นกระแสไฟเชื่อมก็จะสูงขึ้นด้วย แต่ถ้าปรับความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมให้ต่ำลงกระแสไฟเชื่อมก็จะต่ำลงด้วย

5.16 ยิ่งกระแสสูงขึ้นเท่าไรยิ่งมีผลทำให้ความกว้างของรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้นแต่ความสูงของรอยเชื่อมจะลดลง

5.17 การใช้คนเชื่อมจะมีผลทำให้ระยะความกว้างของแนวเชื่อมแตกต่างกันจะมีผลทำให้ระยะความกว้างของแนวเชื่อมจะไม่ค่อยคงที่ การใช้คนเชื่อมจึงมีผลทำให้ระยะความสูงของแนวเชื่อมแตกต่างกัน เมื่อนำผลที่ทำการวัด ไปทำการตรวจสอบความเชื่อมั่นของจำนวนชิ้นทดสอบ พบว่าให้ค่าความเชื่อมั่นที่ได้ในผลงานที่ออกมา น้อยกว่าการเชื่อมด้วยแขนกลหุ่นยนต์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ นี้ เป็นผลจากการทดลองตามรายละเอียดข้างต้นเท่านั้น แต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดไปก็จะต้องทำการทดลองใหม่

5.18 จากการทดลองการเชื่อมด้วยแขนกลหุ่นยนต์จริง โดยชิ้นงานในการเชื่อมได้เป็นตามมาตรฐานคุณภาพ เนื่องจากรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นมีขนาดที่มีความราบเรียบของผิวรอยเชื่อม ไม่เกิดรอยแตก(Crack) ไม่มีรูพรุนหรือฟองอากาศ(Porosity) ไม่มีสารมลทินฝังใน(Slag Inclusion) แนวเชื่อมไม่แห้ว(Undercut) และแนวเชื่อมเป็นแนวเดียวกันไม่ขาดตอน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรจะทำการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของการเชื่อมตัวอื่นๆ เช่น การปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นในการเชื่อม เป็นต้นว่าจะเกิดผลต่อระยะเวลาการหลอมละลายลึกลับ ระยะความกว้างและระยะความสูงของแนวเชื่อมอย่างไร

5.2.2 ควรจะทำการศึกษาโดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของการเชื่อมอื่นๆว่าจะเกิดผลอย่างไรต่อคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อม

เอกสารอ้างอิง

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อม โครงเหล็กรูปพรรณด้วย

วิธีการ ทดสอบแบบไม่ทำลาย. กรุงเทพฯ: กรมโยธาธิการและผังเมือง.

คณะวิศวกรรมโท. (2539). การเชื่อมโลหะในระบบ GMAW. กรุงเทพมหานคร : สวัสดิการสถาบัน
พัฒนาเครื่องจักรกลและโลหะการ.

พฤทธิกร สมิตไมตรี. (2551). วิทยาการหุ่นยนต์และเทคโนโลยี (Robotics and Technology).

สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมศักดิ์ ว่องวิญญกร. (2550). หุ่นยนต์งานเชื่อมกระบวนการเชื่อมอัตโนมัติ. Cited 8 September
2008, from

Gordon Cheng. (2008). Vision-based Mobile Robot Navigation. Cited 28 August 2008, from

http://infoeng.rsise.anu.edu.au/files/gordon_cheng_thesis.pdf

Industrial Robotics. (September 8, 2008) from http://www.9engineer.com/au_main/Rob/FrameSet.

nhtml

NC Advance Technology. (2001). Fundamental of Robotics. Bangkok: NCAT Factory.

NC Advance Technology Co., Ltd. Fundamental of Robotics. (1995). 59/76 หมู่ 9 ถนนราม

อินทรา เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220



ตารางที่ ก.1 แสดงลวดเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานและแก๊สที่เหมาะสม

	ลวดเชื่อมชนิด เป็นสายยาว ต่อเนื่องสำหรับ เชื่อมเหล็กกล้า	ลวดเชื่อมชนิด มีฟลักซ์เป็นได้ กลางสำหรับเชื่อม โลหะผสมและ	อะลูมิเนียม	ทองแดง	เหล็กกล้า	บรอนซ์
	ละมุน (Mild still solid wire)	เหล็กกล้าละมุน (Mild still & alloy cored wire)			ไร้สนิม	
คาร์บอนไดออกไซด์	X	X			X	X
อาร์กอน 75%+ คาร์บอนไดออกไซด์ 25%	X				X	X
อาร์กอน 100%			X	X		
อาร์กอน 95-98% + ออกซิเจน 5-2%	X				X	X
ฮีเลียม 100%			X	X		
ฮีเลียม 75% + อาร์กอน 25%			X	X		

ตารางที่ ก.2 แสดงแก๊สแต่ละชนิดและแก๊สผสมที่ใช้ปกป้องรอยเชื่อม
สำหรับการเชื่อมแบบ GMAW

ลำดับที่	แก๊สที่ใช้	พฤติกรรมทางเคมี	การใช้ประโยชน์และข้อสังเกตเกี่ยวกับการใช้
1	อาร์กอน	เฉื่อย	เชื่อมโลหะได้ทุกชนิด ยกเว้นเหล็กกล้า
2	ฮีเลียม	เฉื่อย	เชื่อมโลหะผสมของอะลูมิเนียม, โลหะผสมของทองแดง เพื่อให้ได้ความร้อนมากกว่าและลดการเกิดรูพรุนในรอยเชื่อม
3	อาร์กอนผสมฮีเลียม (อัตราส่วนผสม 20 กับ 80% จนถึง 50 กับ 50%)	เฉื่อย	เชื่อมโลหะผสมของอะลูมิเนียม, โลหะผสมของทองแดง, เพื่อให้ได้ความร้อนมากกว่า, และให้มีรูพรุนในรอยเข้มน้อยที่สุดโดยควบคุมเปลวไฟเชื่อมได้และเปลวไฟมีเสียงดังน้อยกว่า
4	อาร์กอนผสมกับ คลอรีน (คลอรีนเพียง เล็กน้อย)	เฉื่อย	เชื่อมโลหะผสมของอะลูมิเนียม, เพื่อให้เกิดรูพรุนในรอยเข้มน้อยที่สุด
5	ไนโตรเจน	เป็นตัวลดออกซิเจน	เชื่อมทองแดง, มีเปลวไฟเชื่อมดีมาก
6	อาร์กอนผสมกับไน โตรเจน (ใช้ในโตรเจน 25-30%)	เป็นตัวลดออกซิเจน	เชื่อมทองแดง, ให้ผลการปฏิบัติงานดีมาก, ควบคุมเปลวไฟเชื่อมได้ดีกว่า เมื่อใช้ในโตรเจนบริสุทธิ์
7	อาร์กอนผสมกับ ออกซิเจน 1-2%	เป็นตัวเติมออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าผสม, และใช้ได้กับการเชื่อมโลหะผสมของทองแดงซึ่งถูกกำจัดออกซิเจน (DEOXIDIZED COPPER ALLOY) บางชนิด
8	อาร์กอนผสมกับ ออกซิเจน 3-5%	เป็นตัวเติมออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้าพลาคาร์บอน (PLAIN CARBON STEEL), เหล็กกล้าผสมและเหล็กกล้าไร้สนิม โดยทั่วๆ ไปต้องใช้ลวดเชื่อมที่ไม่เป็นสนิม
9	อาร์กอนผสมกับ ออกซิเจน 5-10%	เป็นตัวเติมออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้าหลายชนิด, โดยใช้ลวดเชื่อมที่ไม่เป็นสนิม
10	อาร์กอนผสมกับ คาร์บอนไดออกไซด์ 20-30%	เป็นตัวเติมออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้าหลายชนิด, ไข่มากกับการเชื่อมที่ได้เปลวไฟเชื่อมจากการช็อตเซอร์คิท (SHORT-CIRCUITING ARC)

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) แสดงแก๊สแต่ละชนิดและแก๊สผสมที่ใช้ปกป้องรอยเชื่อม
สำหรับการเชื่อมแบบ GMAW

ลำดับที่	แก๊สที่ใช้	พฤติกรรมทางเคมี	การใช้ประโยชน์และข้อสังเกตเกี่ยวกับการใช้
11	อาร์กอนผสมกับออกซิเจน 5% และคาร์บอนไดออกไซด์ 15%	เป็นตัวจ่ายออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้าหลายชนิด, โดยใช้ลวดเชื่อมที่ไม่เป็นสนิมใช้มากในยุโรป
12	คาร์บอนไดออกไซด์	เป็นตัวจ่ายออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้าเพนคาร์บอน (PLAIN CARBON STEELS) และเหล็กกล้าผสมต่ำ (LOW ALLOY STEEL), จำเป็นต้องใช้ลวดเชื่อมที่ไม่เป็นสนิม
13	คาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับออกซิเจน 3-10%	เป็นตัวจ่ายออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้าหลายชนิด, ใช้ลวดเชื่อมที่ไม่เป็นสนิม, ใช้กันมากในยุโรป
14	คาร์บอนไดออกไซด์ผสมกับออกซิเจน 20%	เป็นตัวจ่ายออกซิเจน	เชื่อมเหล็กกล้า, นิยมใช้กันมากในประเทศญี่ปุ่น

ตารางที่ ก.3 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อมแบบ GMAW

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม	ช่วงปริมาณกระแสที่ใช้ในการเชื่อม
0.003"	50 – 140 แอมแปร์
0.035"	65 – 160 แอมแปร์
0.045"	100 -220 แอมแปร์
1/16"	165 – 375 แอมแปร์
3/32"	210 – 550 แอมแปร์
1/8"	375 – 600 แอมแปร์

ตารางที่ ก.4 ผลของความยาวของ stickout ที่มีต่อลักษณะของการเชื่อม

เมื่อเพิ่มความยาวของ stickout	อัตราการเกิดเนื้อโลหะที่รอยเชื่อม (deposition) มีค่าเพิ่มขึ้น ความนูนรอยเชื่อมมีมากขึ้น
	ค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมลดลง การซึมลึกของรอยเชื่อมลดลง ความกว้างของรอยเชื่อมลดลง
เมื่อลดความยาวของ stickout	อัตราการเกิดเนื้อโลหะที่รอยเชื่อม (deposition) มีค่าลดลง ความนูนของรอยเชื่อมน้อยลง ค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมเพิ่มขึ้น การซึมลึกของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น ความกว้างของรอยเชื่อมมากขึ้น



ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายสันติ วิริยะสุมน
ภูมิลำเนา 91 ถ.จอมพล ต.หนองหลวง อ.เมือง จ.ตาก 63000
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนตากพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: santi_engineer@hotmail.com



ชื่อ นายวรัชชัย โพรสิทธิศักดิ์
ภูมิลำเนา 428/14 หมู่.1 ต.บึงพระ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: pants_not@htmail.com