

# การออกแบบและสร้างระบบควบคุมมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรดของเตาหลอมแบบอาร์คโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

## Design and Implementation of Motor Control System for Electrodes Drive in an Arc Furnace by using a Microcontroller

นิกร จิตวิฆาม<sup>1)</sup> วัชร บัวเพ็ง<sup>1)</sup> ประชา คำภักดี<sup>1)</sup> วรการ วงศ์สายเชื้อ<sup>1)</sup> สุรียา โชคสวัสดิ์<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถ.สถลมารค ต. เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 045-353328 E-mail\*: [pracha29@yahoo.com](mailto:pracha29@yahoo.com)

<sup>2)</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถ.สถลมารค ต. เมืองศรีโค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 045-353371 E-mail: [suriyathai@gmail.com](mailto:suriyathai@gmail.com)

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนแท่งคาร์บอนอิเล็กโทรดของเตาหลอมโลหะไฟฟ้าแบบอาร์คให้สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ ระบบควบคุมการทำงานเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM7-TDMI เป็นส่วนประมวลผล เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ผ่านทางวงจรกำลัง magnetic contactor โดยมีเป็นกดเป็นตัวที่ติดตั้งกระแสที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับค่ากระแสที่รับเข้ามาจากหม้อแปลงกระแส ซึ่งวัดจากแท่งอิเล็กโทรดของแต่ละเฟสที่ใช้ในการอาร์คและมีจอ LCD เพื่อแสดงค่ากระแสที่เปรียบเทียบกัน และทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน ผลจากการออกแบบ พร้อมทั้งจำลองการทำงานเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการและการทดลองเบื้องต้นในโรงงานพบว่าระบบที่สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ: มอเตอร์, การควบคุมมอเตอร์, อิเล็กโทรด, เตาหลอมแบบอาร์ค, ไมโครคอนโทรลเลอร์

### 1. บทนำ

การหลอมโลหะแบบอาร์คด้วยไฟฟ้า (Arc Furnace) โดยส่วนใหญ่ถูกใช้ในอุตสาหกรรมหลอมเหล็กหล่อ (Cast Iron) และเหล็กกล้า (Steel) ซึ่งมีหลักการในการหลอมโดยอาศัยความร้อนจากประกายไฟที่เกิดจากการอาร์คของอิเล็กโทรดเมื่อสัมผัสกับเศษโลหะที่ต้องการหลอมทำให้เกิดประกายไฟแบบพลาสมา ซึ่งทำให้เกิดอุณหภูมิระหว่าง 3,600-10,500 °C [1] แท่งอิเล็กโทรดส่วนใหญ่ทำมาจากแท่งคาร์บอน ถ้าเป็นระบบ 3 เฟส จะมีหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังแท่งอิเล็กโทรด 3 แท่ง อัตราการหลอมโลหะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในเตาซึ่งแปรผันโดยตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ถูกปล่อยออกมาจากแท่งอิเล็กโทรดใน

ระบบ 3 เฟสที่มีกระแสไฟฟ้าสูง ซึ่งปริมาณของกระแสแปรผันกับระยะห่างระหว่างแท่งอิเล็กโทรดกับโลหะที่ถูกหลอม โดยเรียกระยะดังกล่าวว่า “ระยะอาร์ค” กล่าวคือ ถ้าระยะอาร์คแคบ ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะมีค่ามาก ทำให้เกิดความร้อนสูง ในทางตรงข้าม ถ้าระยะอาร์คห่าง ปริมาณกระแสไฟฟ้าก็จะมีค่าน้อย ทำให้ความร้อนลดลง โดยทั่วไป ขั้นตอนของการหลอมโลหะเริ่มต้นจาก นำวัตถุดิบซึ่งเป็นเศษโลหะที่มีขนาดต่างๆ กันใส่ลงไปในเตาหลอม โดยระยะอาร์คถูกกำหนดไว้ว่าหนึ่งเพื่อให้ปริมาณกระแสเหมาะสม ในขณะที่เกิดการหลอมนั้นแท่งอิเล็กโทรดทั้ง 3 แท่งนั้นจะสีกหรือแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระยะอาร์คระหว่างแท่งอิเล็กโทรดแต่ละแท่งกับผิวโลหะที่อาจมีระดับความไม่สม่ำเสมอกันอยู่ จึงจำเป็นต้องควบคุมอิเล็กโทรดให้เคลื่อนที่เข้าใกล้ผิวโลหะเพื่อลดระยะอาร์คดังกล่าว การควบคุมแท่งอิเล็กโทรดนั้นใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนผ่านระบบสายพานเพื่อรักษาระยะอาร์คให้คงที่

ปัจจุบันโรงหล่อโลหะแห่งหนึ่งได้ใช้เตาหลอมแบบอาร์คมีความจุของเตาที่สามารถหลอมโลหะได้ประมาณ 500 kg โดยให้พนักงานคอยควบคุมมอเตอร์ด้วยการกดสวิทช์ไฟฟ้าผ่านวงจร Magnetic Contactor เพื่อปรับระยะอาร์คจากการสังเกตทางตา ผ่านมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า ผลจากการควบคุมแท่งอิเล็กโทรดด้วยพนักงานนั้น ในบางครั้งมีความผิดพลาดอันเนื่องมาจากขาดความชำนาญ ประมาณเดือนละ รวมถึงความเมื่อยล้าจากการทำงาน ทำให้เกิดความเสียหายกับระบบ ตัวอย่างเช่น ปรับระยะอาร์คใกล้เกินไปทำให้แท่งอิเล็กโทรดซึ่งเป็นคาร์บอนแตกหักเสียหาย หรือในบางครั้งปรับระยะอาร์คห่างเกินไปทำให้ความร้อนลดลงเป็นต้น เพื่อทำให้การทำงานสะดวกขึ้น จึงต้องมีระบบควบคุมอัตโนมัติมาควบคุม เพื่อเพิ่มประสิทธิผลในการทำงานและเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้

## 2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อปรับปรุงระบบควบคุมมอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรดของเตาหลอมโลหะไฟฟ้าแบบอาร์คให้สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ

## 3. อุปกรณ์และวิธีการ

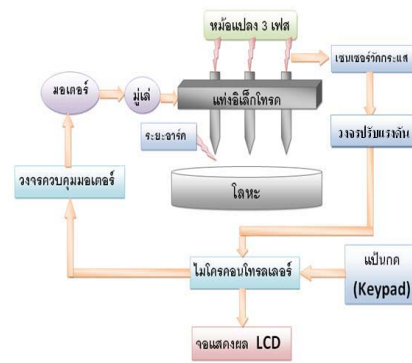
### 3.1 ภาพรวมของระบบควบคุมมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรด

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นระบบขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรดแบบอัตโนมัติ ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานของแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

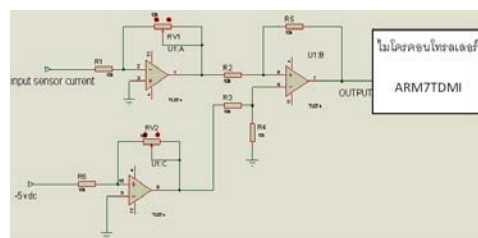
1. หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทำหน้าที่แปลงแรงดัน 380 V ให้เป็น 220 V (Star-Delta Connection) ส่งกำลังไฟฟ้าเข้าสู่เตาหลอมผ่านไปยังอิเล็กโทรดทั้ง 3 แท่ง
2. แท่งอิเล็กโทรด เป็นแท่งคาร์บอนที่ใช้ในการอาร์ค โดยมีฐานยึดทั้ง 3 แท่งเป็นอิสระต่อกัน สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงด้วยระบบไฮดรอลิกใช้สำหรับปรับระยะอย่างหยาบ และมีมอเตอร์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ขึ้น-ลงอีกทีเพื่อใช้สำหรับปรับระยะอย่างละเอียด
3. เซ็นเซอร์วัดกระแส ทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอาร์คเพื่อหลอมโลหะ แล้วแปลงเป็นแรงดันไปยังวงจรปรับระดับแรงดัน ในที่นี้เลือกใช้ หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) โดยต้องใช้สามตัวในการตรวจจับกระแสไฟฟ้าทั้งสามเฟส
4. วงจรปรับระดับแรงดัน ทำหน้าที่ปรับแรงดันให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-3.3 V ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รับได้ โดยค่าของสัญญาณแรงดันที่ได้จะแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสอาร์ค ดังรูปที่ 2
5. ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่รับสัญญาณแรงดันมาจากวงจรปรับแรงดัน ซึ่งถูกแปลงสัญญาณมาจากกระแสอาร์คอีกที และใช้เป็นกดเพื่อตั้งค่ากระแสตามต้องการ โดยเรียกว่า “กระแสอ้างอิง” ซึ่งแสดงค่าออกทางจอแสดงผล (LCD) แล้วนำมาประมวลผลสัญญาณ สั่งให้มอเตอร์เคลื่อนที่ขึ้น-ลง แสดงวงจรดังรูปที่ 3 ในโครงการนี้เลือกใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ ARM7TDMI โดยใช้บอร์ดรุ่น LPC2148 ของบริษัท Philips [2]
6. วงจรควบคุมสวิตช์รีเลย์ ทำหน้าที่รับสัญญาณคำสั่งจาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปสั่งให้รีเลย์ไปตัดต่อ Magnetic Contactor เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางที่ต้องการ ดังรูปที่ 3 ส่วนรายละเอียดของวงจรควบคุมมอเตอร์จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.2
7. มอเตอร์ เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) แบบ 3 เฟสที่ต่อกับสายพานผ่านเพลาแบบเกลียวหมุน เพื่อปรับระยะขึ้นลงของอิเล็กโทรด มีมอเตอร์ 3 ตัวคอยควบคุมแท่งอิเล็กโทรด ทั้ง 3 แท่ง แต่ละตัวทำงานอิสระต่อกัน โดยที่เพลาของมอเตอร์มีรัศมีเท่ากับ 1.25 นิ้ว
8. มุ่ลและเพลา ทำหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์ ไปขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรด โดยที่รัศมีของมุ่ลเท่ากับ 6 นิ้ว มีจำนวน 3 ชุด เช่นเดียวกันกับมอเตอร์

### 3.2 วงจรควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรด

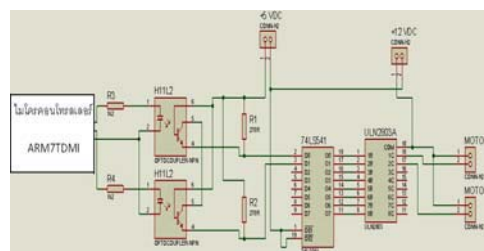
ในที่นี้ได้เลือกการควบคุมอย่างง่ายโดยใช้วงจร Magnetic Contactor เป็นตัวหลักในการควบคุม ซึ่งประกอบด้วยวงจรควบคุมและวงจรถักตั้งรูปที่ 4 ก) และ ข) ตามลำดับ ในรูปที่ 4 ก) นั้น เมื่อเรากดปุ่ม SW\_1 จะทำให้ Timer (K4T) ทำการหน่วงเวลาสักครู่หนึ่งแล้วไปสั่งให้ Magnetic Contactor (K1,K1A) ทำงาน และมอเตอร์ก็จะหมุนตามเข็มนาฬิกา ในทางตรงกันข้ามเมื่อเรากดปุ่ม SW\_2 จะทำให้ Timer (K3T) ทำการหน่วงเวลาสักครู่หนึ่งแล้วไปสั่งให้ Magnetic Contactor (K2,K2A) ทำงาน และมอเตอร์ก็จะหมุนตามเข็มนาฬิกา พร้อมทั้งมีหลอดไฟแสดงสถานะการทำงานของ Magnetic Contactor แต่ละตัวด้วย โดยระบบนี้มีข้อดีคือการอินเทอร์ล็อกซึ่งกันและกันกล่าวคือ Magnetic Contactor ทั้งสองชุดไม่มีโอกาสทำงานพร้อมกันได้ ในกรณีที่ต้องการหยุดการทำงานของมอเตอร์ก็สามารถกดปุ่ม stop มอเตอร์ก็จะหยุดทำงาน



รูปที่ 1 แผนผังโดยรวมของระบบที่ออกแบบ



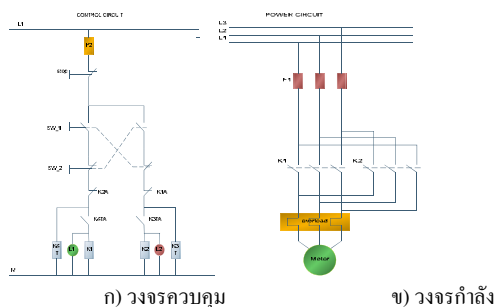
รูปที่ 2 วงจรแปลงระดับแรงดันเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์



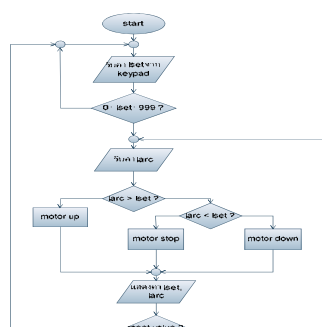
รูปที่ 3 วงจรขับสวิตช์รีเลย์ควบคุมมอเตอร์

### 3.3 การทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

จากแผนภาพการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 5 ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มทำงานโดยรอรับค่ากระแสอ้างอิง หรือกระแสที่ต้องการใช้อาร์ค โดยการกด keypad ซึ่งสามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 0-999 A ถ้าหากไม่มีกระแสอ้างอิงโปรแกรมจะไม่ทำงานโดยจะวนรอรับค่ากระแสอ้างอิงอยู่เรื่อยๆ แต่ถ้าหากมีการกด โปรแกรมจะรับค่ากระแสที่ใช้ในการอาร์คขณะนั้นๆ จากวงจรเซ็นเซอร์วัดกระแส และทำการเปรียบเทียบกับค่ากระแสอ้างอิง โดยการทำงานถูกแบ่งเป็นสามกรณีด้วยกัน คือ กรณีที่(1) ถ้ากระแสอาร์คมีค่ามากกว่า กระแสอ้างอิง ( $I_{arc} > I_{set}$ ) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไปสั่งชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เลื่อนแท่งอิเล็กโทรดขึ้น (motor up) เพื่อเพิ่มระยะอาร์คทำให้กระแสอาร์คลดลงอีก กรณีที่(2) ถ้ากระแสอาร์คมีค่าน้อยกว่า กระแสอ้างอิง ( $I_{arc} < I_{set}$ ) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์เลื่อนแท่งอิเล็กโทรดลง (motor down) เพื่อลดระยะอาร์คทำให้กระแสอาร์คเพิ่มขึ้นอีก และกรณีที่(3) กระแสอ้างอิงมีค่าเท่ากับกระแสอาร์ค ( $I_{arc} = I_{set}$ ) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ให้หยุดเคลื่อนที่ ซึ่งกล่าวได้ว่า การทำงานทั้งสามกรณีเป็นไปเพื่อให้กระแสอาร์คเข้าสู่ค่ากระแสอ้างอิงที่ต้องการนั่นเอง โดยที่ค่ากระแสอ้างอิงและกระแสอาร์คถูกแสดงผลผ่านจอ LCD ณ เวลาจริง กรณีที่ไม่มีกระแสขาเข้าโปรแกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการวนรับค่ากระแสอาร์คและเปรียบเทียบกับกระแสอ้างอิงไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อใช้ในการยกแท่งอิเล็กโทรด [3]



รูปที่ 5 แผนภาพการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

### 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในการทดลองควบคุมแท่งอิเล็กโทรดนี้ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบที่โรงหล่อ ซึ่งระบบอาร์คโลหะนั้นอยู่ในระหว่างดำเนินการปรับปรุงยังไม่สามารถเดินเครื่องได้ในขณะนี้ เพื่อเป็นการทดลองระบบโดยรวมก่อน จึงได้ทำการทดสอบเบื้องต้น โดยการสร้างกระแสอาร์คสมมติ ( $I_{sim}$ ) รูปคลื่นไซน์ 50 Hz ขนาด 1 A- 3 A จากวงจรสร้างสัญญาณ (signal generator) ขึ้นมาทดแทนป้อนให้กับชุดทดลอง แล้วทำการเขียนโปรแกรมสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มขนาดของกระแสสมมติให้มีค่าใกล้เคียงกับกระแสอาร์คจริง ( $I_{arc}$ ) ที่ใช้เกิดจากการหลอมโลหะขนาดประมาณ 300 A- 900 A แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดลองควบคุมแท่งอิเล็กโทรดที่กระแสอาร์คต่างกัน

กระแสสมมติ $I_{sim}$ (A)	ค่ากระแสจากการประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์		มอเตอร์		ยู่อผลและขนาด	
	ค่าจริง $I_{arc}$ (A)	ค่าที่สั่งไว้ $I_{set}$ (A)	ทิศทางจรทวน (อิมพัลส์บวก)	ความเร็ว (rpm)	ระยะ(ขึ้น+)(ลง-) $D_x$ (cm)	เวลาค่อยที่ $t$ (s)
1	302	600	ทวนเข็ม	1400	-6	2
1.5	455	600	ทวนเข็ม	1400	-3	1
2	602	600	หยุด	0	0	0
2.5	743	600	ตามเข็ม	1400	+3	1
3	901	600	ตามเข็ม	1400	+6	2

#### 4.1 การทดลองหาความสัมพันธ์ของกระแสสมมติ กับ กระแสอาร์คจริง

จากการทดลองดังตารางที่ 1 ผลการทดลองหาความสัมพันธ์ของกระแสจำลองสมมติที่สร้างขึ้น กับ กระแสอาร์คจริง ได้กราฟดังรูปที่ 6 โดยมีสัดส่วน  $I_{arc} : I_{sim}$  เท่ากับ 300: 1 กล่าวคือ ถ้าต้องการ  $I_{arc} = 300$  A ก็ใช้วงจรสร้างสัญญาณกระแส  $I_{sim} = 1$  A จากการทดลองเห็นได้ว่าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าค่อนข้างคงที่ จึงสามารถนำค่ากระแสสมมติที่สร้างขึ้นไปทดสอบเสมือนว่าได้ทำการหลอมโลหะที่พิกัดจริงๆ

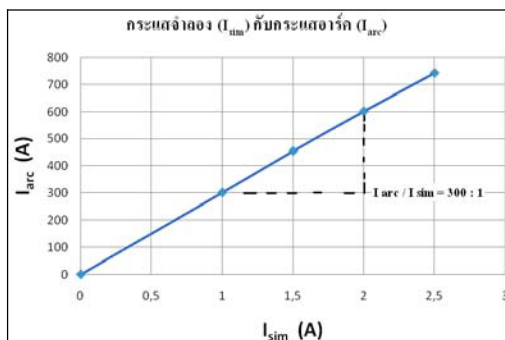
#### 4.2 การทดลองหาความสัมพันธ์ของกระแสอาร์ค กับ ระยะการเคลื่อนที่ขึ้น และ ลง ของแท่งอิเล็กโทรด

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระแสอาร์ค ( $I_{arc}$ ) ว่ามีความสัมพันธ์อย่างไรกับ เคลื่อนที่ขึ้น-ลง( $D_x$ ) ของเพลแบบอัตโนมัติตามโปรแกรมที่เขียนไว้ดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 3.3 โดยมีเงื่อนไขในการทดลอง คือ ทำการแปรค่ากระแสอาร์คจริง ( $I_{arc}$ ) ที่ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้กระแสอาร์คที่ต้องการ คือ  $I_{set} = 600$  A ผลการทดลอง พบว่ามอเตอร์ได้ขับเคลื่อนมอเตอร์ขึ้นหรือลง ด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 1,400 รอบต่อนาที (rpm) เพื่อทำให้กระแสอาร์คเพิ่มขึ้นหรือลดลง เข้าสู่ค่ากระแส  $I_{set} = 600$  A และหยุดหมุนที่ค่านี้ ความสัมพันธ์

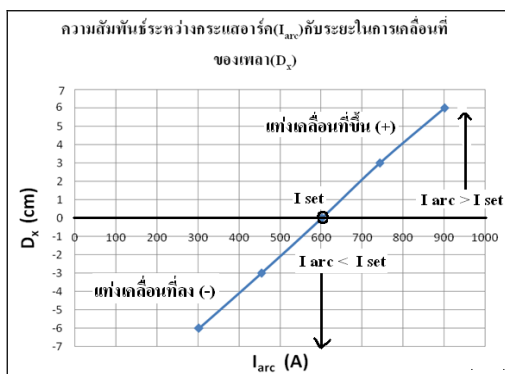
ของกระแสอาร์ค ( $I_{arc}$ ) กับ ระยะการเคลื่อนที่ขึ้น และ ลง ของแท่งอิเล็กโทรด ( $D_x$ ) แสดงดังรูปที่ 7 พิจารณาจากค่าของ  $I_{arc}$  กับ  $D_x$  มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกัน กล่าวคือ ถ้าผลต่างของกระแส  $I_{arc}$  กับ  $I_{set}$  ประมาณ 150 A จะส่งผลให้เพลเคลื่อนขึ้นหรือลง ที่ระยะประมาณ 3 cm ซึ่งค่าระยะ  $D_x$  ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการอาร์คจริง ดังที่กล่าวแล้วในหัวข้อที่ 1 บนหน้า

#### 4.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ กับ ระยะขึ้น-ลงของแท่งอิเล็กโทรด

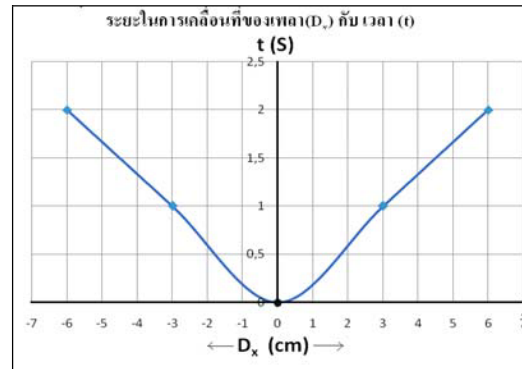
การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเวลาที่มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรดที่มีความสัมพันธ์กันอย่างไรกับระยะเคลื่อนที่ของแท่งอิเล็กโทรด โดยมีเงื่อนไขในการปรับเปลี่ยนค่ากระแส  $I_{arc}$  เปลี่ยนแปลงทีละ 150 A ทุกๆ 1 วินาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่า ระยะ  $D_x$  จะเป็นบวก (แท่งอิเล็กโทรดเคลื่อนที่ขึ้น) หรือว่าระยะ  $D_x$  จะเป็น ลบ (แท่งอิเล็กโทรดเคลื่อนที่ลง) มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้น กับ เวลา โดยระบบได้ทำการการปรับเปลี่ยนระยะ  $D_x$  เท่ากับ 3 cm ในทุกๆ 1 วินาทีที่มีการเปลี่ยนแปลงกระแสอาร์ค จึงกล่าวได้ว่าระบบทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ได้คาดหวังไว้



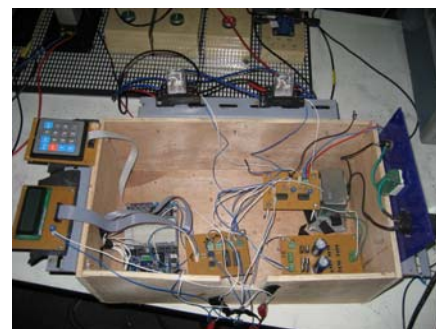
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของกระแสจำลอง ( $I_{sim}$ ) กับ กระแสอาร์ค ( $I_{arc}$ )



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของกระแสอาร์ค ( $I_{arc}$ ) กับ ระยะการเคลื่อนที่ขึ้น และ ลง ของแท่งอิเล็กโทรด ( $D_x$ )



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ( $t$ ) ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ กับ ระยะขึ้น-ลง ( $D_x$ ) ของแท่งอิเล็กโทรดจากจุดอ้างอิง  $D_x = 0$  cm



รูปที่ 9 วงจรต้นแบบที่ใช้ในการทดลอง

## 5. สรุปผล

ระบบควบคุมมอเตอร์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นมา สามารถขับเคลื่อนแท่งอิเล็กโทรดได้โดยอัตโนมัติและสอดคล้องกับกระแสสมมุติที่เปลี่ยนไปเมื่อเทียบกับค่ากระแสอ้างอิงที่ตั้งไว้ ในเบื้องต้นระบบที่สร้างขึ้นนั้นทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนต่อไป เมื่อโรงหล่อโลหะได้ถูกปรับปรุงระบบอื่นๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีการทดสอบกับกระแสจริงที่เกิดจากการอาร์ค เพื่อให้แน่ใจได้ว่าระบบที่ได้นำเสนอนี้สามารถใช้งานได้จริง สะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการหลอมโลหะ

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียน ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานโครงการ IRPUS ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] [www.thaidetail.com/Webpage/01\\_Envi/a02a/a02a5\\_04t02.html](http://www.thaidetail.com/Webpage/01_Envi/a02a/a02a5_04t02.html).
- [2] Philips semiconductor, "LPC2148 User Manual", 15 August 2005.
- [3] อำนาจ ทองผาสุกและคณะ, "การควบคุมมอเตอร์", สำนักพิมพ์พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กทม.