

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลอง

การทดลองนี้เริ่มหาตัวแปรการเชื่อมทิกพัลส์เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา เพื่อใช้เป็นตัวแปรเบื้องต้นสำหรับการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา

#### 4.1 กระแสไฟฟ้าเบสที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมทิกพัลส์เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา

G.Huisman และH.Hoffmeister<sup>(19)</sup> ได้สรุปไว้ว่า ในการเชื่อมทิกพัลส์ต่อเหล็กกล้าไร้สนิม คุณสมบัติที่ขั้วแรกทีเตรียมรอยต่อชนหนา 5 มิลลิเมตร ที่ตำแหน่ง 6 ถึง 12 นาฬิกา กระแสไฟฟ้าเบสที่ใช้ในการเชื่อมควรจะต้องรักษาการอาร์ค การหลอมละลายของบ่อน้ำโลหะโดยปราศจากการอาร์คที่แรงจนเกินไป และไม่ต่ำไปจนอาร์คดับในระหว่างการเชื่อมทำให้เกิดการหลอมละลายไม่สมบูรณ์(Lack of Fusion)และอาร์คส่าย(Arc Wandering) การทดลองแรกในที่นี่จึงทดลองหากระแสไฟฟ้าเบสที่เหมาะสมสำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนนิติก เกรด 316L ใช้ความเร็วเชื่อม 3 มิลลิเมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าพัลส์ 170 แอมแปร์ ความถี่พัลส์ 1 เฮิร์ตซ ที่ 55% On Time เชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ทดลองกระแสไฟฟ้าเบส 3 ค่า คือ 44, 52 และ 61 แอมแปร์ และสังเกตลักษณะเปลวอาร์คที่เกิดขึ้น ผลการทดลอง แสดงในตารางที่ 4.1

#### ตารางที่ 4.1 ระดับค่ากระแสไฟฟ้าเบสต่อลักษณะการอาร์คที่เกิดขึ้น

ระดับกระแสไฟฟ้าเบส (แอมแปร์)	ลักษณะการอาร์ค
44	เปลวอาร์คดับ
52	เปลวอาร์คไม่ดับ มีการอาร์คส่ายเล็กน้อย
61	เปลวอาร์คไม่ดับ มีการอาร์คที่สม่ำเสมอ

จากการทดลอง พบว่าที่กระแสไฟฟ้าเบส 44 แอมแปร์ เปลวอาร์คดับในช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าเบส และเมื่อปรับกระแสไฟฟ้าเบสสูงขึ้นเป็น 52 และ 61 แอมแปร์ เปลวอาร์คไม่ดับในช่วงกระแสไฟฟ้าเบส โดยที่กระแสไฟฟ้าเบส 61 แอมแปร์เกิดการอาร์ครุนแรงและสม่ำเสมอกว่า

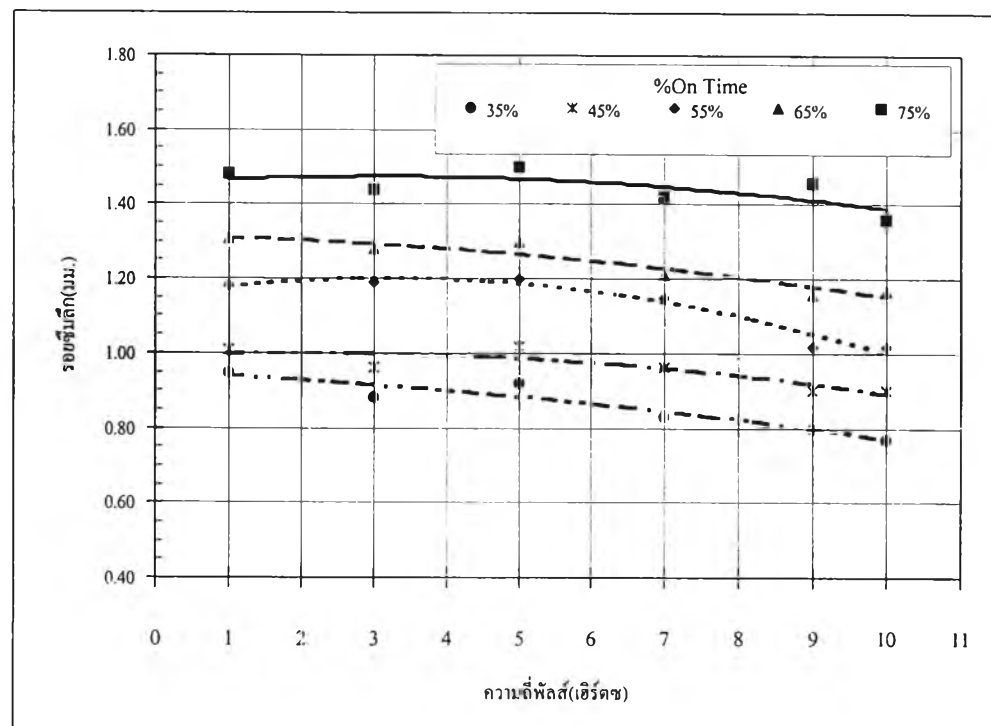
ที่ระดับกระแสไฟฟ้าเบส 52 แอมแปร์ ในที่นี้จึงเลือกใช้กระแสไฟฟ้าเบสที่ 61 แอมแปร์ เป็นตัวแปรเบื้องต้นในการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์การเชื่อมทิกพัลส์ตัวอื่นต่อไป เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการเชื่อมทิกพัลส์ที่ความถี่ต่ำ(1 ถึง 10 เฮิร์ตซ) การเลือกใช้กระแสไฟฟ้าเบสที่ต่ำเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหารอยซึมลึกไม่ต่อเนื่อง<sup>(39)</sup> และจากการศึกษาของ A.A.OMAR และ C.D.LUNDIN<sup>(18)</sup> พบว่า เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าเบสสูงขึ้นและลดกระแสไฟฟ้าพัลส์ลงเพื่อรักษาระดับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเลขคณิตให้คงที่พบว่า กระแสไฟฟารากของค่าเฉลี่ยกำลังสองลดลง แต่ความลึกของรอยซึมลึกยังเท่าเดิม

#### 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่พัลส์ และ ค่า %On Time ของการเชื่อมทิกพัลส์ ที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา

ค่า %On Time คือค่าอัตราส่วนของช่วงเวลากระแสไฟฟ้าพัลส์ต่อช่วงเวลาระหว่างกระแสไฟฟ้าพัลส์ ความถี่พัลส์ คือ ความถี่ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนคลื่นพัลส์ในหนึ่งหน่วยเวลา พารามิเตอร์ทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ทำให้เกิด การเปลี่ยนแปลงช่วงเวลากระแสไฟฟ้าพัลส์(จากสมการที่ 2.11 และ 2.12) กล่าวคือ เมื่อความถี่พัลส์เพิ่มขึ้นทำให้ช่วงเวลากระแสไฟฟ้าพัลส์ลดลง และการเพิ่มค่า %On Time ก็เป็นการเพิ่มช่วงเวลากระแสไฟฟ้าพัลส์ขึ้นนั่นเอง การทดลองในที่นี้หาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่พัลส์และค่า %On Time ต่อรอยซึมลึก ความกว้างและอัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L เชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 150 แอมแปร์ ความเร็วเชื่อม 4 มิลลิเมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าเบส 61 แอมแปร์ เปลี่ยนแปลงความถี่พัลส์และ %On Time โดยทดลองที่ความถี่พัลส์ 1, 3, 5, 7, 9 และ 10 เฮิร์ตซ ที่ค่า %On Time 35, 45, 55, 65 และ 75 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.1 สำหรับรอยซึมลึกของรอยเชื่อม ในตารางที่ 4.3และรูปที่ 4.2 สำหรับความกว้างของรอยเชื่อม และในตารางที่ 4.4และรูปที่ 4.3 สำหรับอัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อม

ตารางที่ 4.2 ผลของความถี่พัลส์ กับค่า %On Time ต่อรอยซึมลึกของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้า  
ไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา

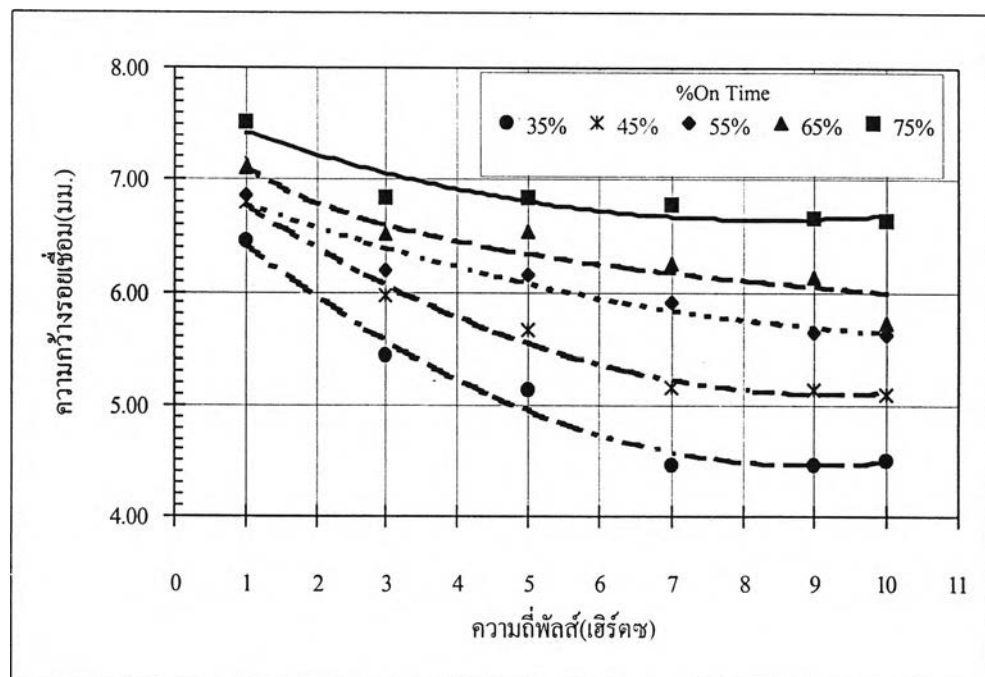
ความถี่พัลส์ (เฮิรตซ์)	รอยซึมลึกของรอยเชื่อม(มม.) ที่ค่า % On Time				
	35	45	55	65	75
1	0.95	1.01	1.18	1.31	1.48
3	0.88	0.96	1.19	1.28	1.44
5	0.92	1.02	1.20	1.30	1.50
7	0.83	0.96	1.15	1.21	1.42
9	0.80	0.90	1.02	1.16	1.46
10	0.77	0.90	1.02	1.17	1.36



รูปที่ 4.1 ผลของความถี่พัลส์ กับค่า %On Time ต่อรอยซึมลึกของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้า  
ไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา

ตารางที่ 4.3 ผลของความถี่พัลส์กับค่า %On Time ต่อความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา

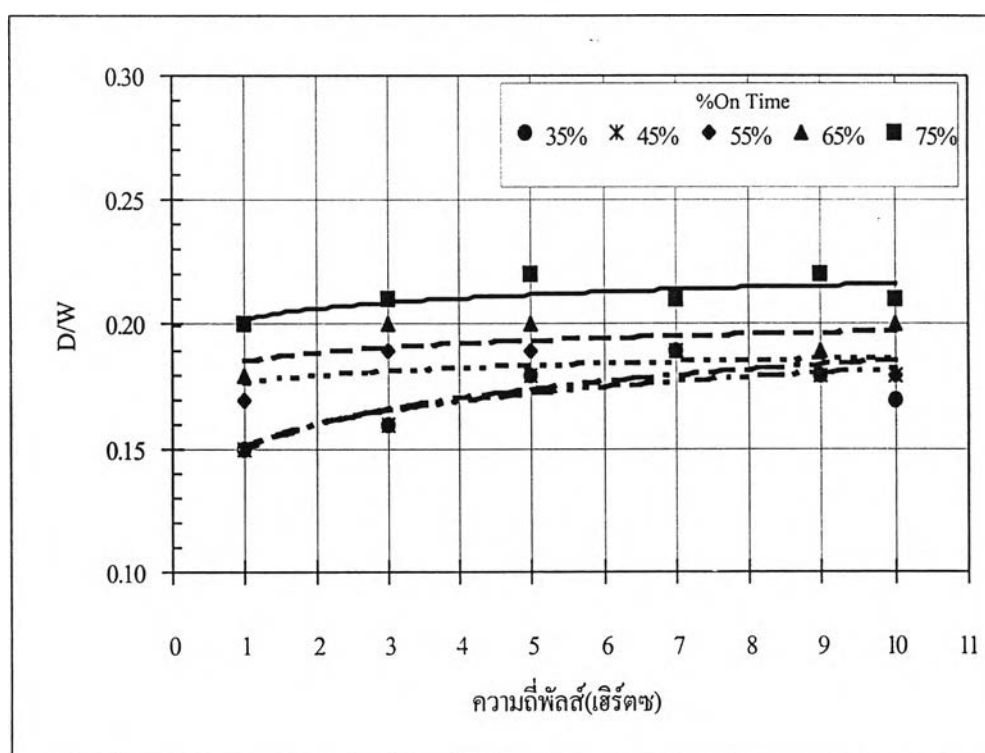
ความถี่พัลส์ (เฮิร์ตซ)	ความกว้างของรอยเชื่อม(มม.) ที่ค่า%On Time				
	35	45	55	65	75
1	6.45	6.80	6.86	7.10	7.52
3	5.45	5.97	6.20	6.52	6.85
5	5.14	5.66	6.16	6.53	6.85
7	4.46	5.15	5.90	6.26	6.78
9	4.46	5.13	5.65	6.13	6.65
10	4.51	5.10	5.63	5.73	6.63



รูปที่ 4.2 ผลของความถี่พัลส์กับค่า %On Time ต่อความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา

ตารางที่ 4.4 ผลของความถี่พัลส์กับค่า %On Time ต่ออัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา

ความถี่พัลส์ (เฮิรตซ์)	อัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อม ที่ค่า %On Time				
	35	45	55	65	75
1	0.15	0.15	0.17	0.18	0.20
3	0.16	0.16	0.19	0.20	0.21
5	0.18	0.18	0.19	0.20	0.22
7	0.19	0.19	0.19	0.19	0.21
9	0.18	0.18	0.18	0.19	0.22
10	0.17	0.18	0.18	0.20	0.21



รูปที่ 4.3 ผลของความถี่พัลส์กับค่า %On Time ต่ออัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L ที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1 พบว่า การเพิ่มค่า %On Time ทำให้รอยซึมลึกของเนื้อโลหะ รอยเชื่อมเพิ่มขึ้นและเมื่อเชื่อมด้วยความถี่พัลส์ต่ำได้รอยซึมลึกมากกว่าเมื่อเชื่อมด้วยความถี่พัลส์สูง กล่าวคือ เมื่อใช้ค่า % On Time เท่ากับ 35 เชื่อมที่ความถี่พัลส์ 1 ถึง 10 เฮิร์ตซ พบว่า รอยซึมลึกของเนื้อโลหะรอยเชื่อมลดลงจาก 0.95 มิลลิเมตรเหลือ 0.77 มิลลิเมตร และเมื่อใช้ค่า %On Time เท่ากับ 75 เปอร์เซนต์ เชื่อมที่ความถี่พัลส์ 1 ถึง 10 เฮิร์ตซ พบว่ารอยซึมลึกของเนื้อโลหะรอยเชื่อมลดลง จาก 1.48 มิลลิเมตรเหลือ 1.36 มิลลิเมตร เมื่อใช้ความถี่พัลส์ 5 เฮิร์ตซเชื่อมที่ระดับ 35 %On Time กับ 75 %On Time พบว่า รอยซึมลึกของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มจาก 0.92 มิลลิเมตรเป็น 1.50 มิลลิเมตร ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ A.A.OMAR และC.D.LUNDIN<sup>(18)</sup> ที่เชื่อมทิกพัลส์วัสดุอิน โคนเนล600 ใช้กระแสไฟฟ้าเบส 20 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าพัลส์ 100 แอมแปร์ ความถี่พัลส์ 1 เฮิร์ตซ ที่ 50 % On Time พบว่าเมื่อความถี่พัลส์เพิ่มขึ้นจาก 1 เฮิร์ตซ เป็น 10 เฮิร์ตซ รอยซึมลึกของเนื้อโลหะรอยเชื่อมลดลงจาก 1.06 มิลลิเมตรเป็น 0.99 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองดังในรูปที่ 4.2 พบว่าการเพิ่มความถี่พัลส์ของการเชื่อมทิกพัลส์ทำให้ ความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมมีขนาดเล็กลง ขณะที่การเพิ่มค่า %On Time ทำให้ความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมมีขนาดเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เมื่อเชื่อมที่ค่า 75 %On Time เพิ่มความถี่พัลส์จาก 1 เป็น 10 เฮิร์ตซ พบว่า ความกว้างของรอยเชื่อมจะลดลงจาก 7.52 มิลลิเมตรเหลือ 6.63 มิลลิเมตร เมื่อเชื่อมที่ค่า 35 %On Time โดยเพิ่มความถี่พัลส์จาก 1 เป็น 10 เฮิร์ตซ พบว่า ความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมลดลงจาก 6.45 มิลลิเมตรเหลือ 4.51 มิลลิเมตร และเมื่อเชื่อมที่ความถี่พัลส์ 5 เฮิร์ตซ โดยเพิ่มค่า %On Time จาก 35 เปอร์เซนต์ถึง 75 เปอร์เซนต์ พบว่า ความกว้างของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น จาก 5.14 มิลลิเมตรเป็น 6.85 มิลลิเมตร ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ A.A.OMAR และC.D.LUNDIN<sup>(18)</sup> ที่เชื่อมทิกพัลส์วัสดุอิน โคนเนล 600 ใช้กระแสไฟฟ้าเบส 20 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าพัลส์ 100 แอมแปร์ ที่ 50 % On Time พบว่า เมื่อความถี่พัลส์เพิ่มจาก 1 เป็น 10 เฮิร์ตซ ความกว้างของเนื้อโลหะรอยเชื่อมมีค่าลดลงจากประมาณ 4.67 มิลลิเมตรเหลือ 4.06 มิลลิเมตร

อัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อความกว้างของรอยเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความถี่พัลส์ เพิ่มขึ้นดังผลการทดลองในรูปที่ 4.3 และเมื่อค่า %On Time เพิ่มขึ้น อัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อ ความกว้างรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น กล่าวคือ เมื่อเชื่อมที่ค่า 75 %On Time เพิ่มความถี่พัลส์จาก 1 เป็น 10 เฮิร์ตซ พบว่า อัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.20 เป็น 0.21 เมื่อเชื่อมที่ค่า 35 % On Time เพิ่มความถี่พัลส์จาก 1 เป็น 10 เฮิร์ตซ อัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความ กว้างรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.15 เป็น 0.17 และเมื่อเชื่อมที่ความถี่พัลส์ 5 เฮิร์ตซ โดยเพิ่มค่า %On Time จาก 35 เป็น 75 เปอร์เซนต์ พบว่าอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.18 เป็น 0.22 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมี

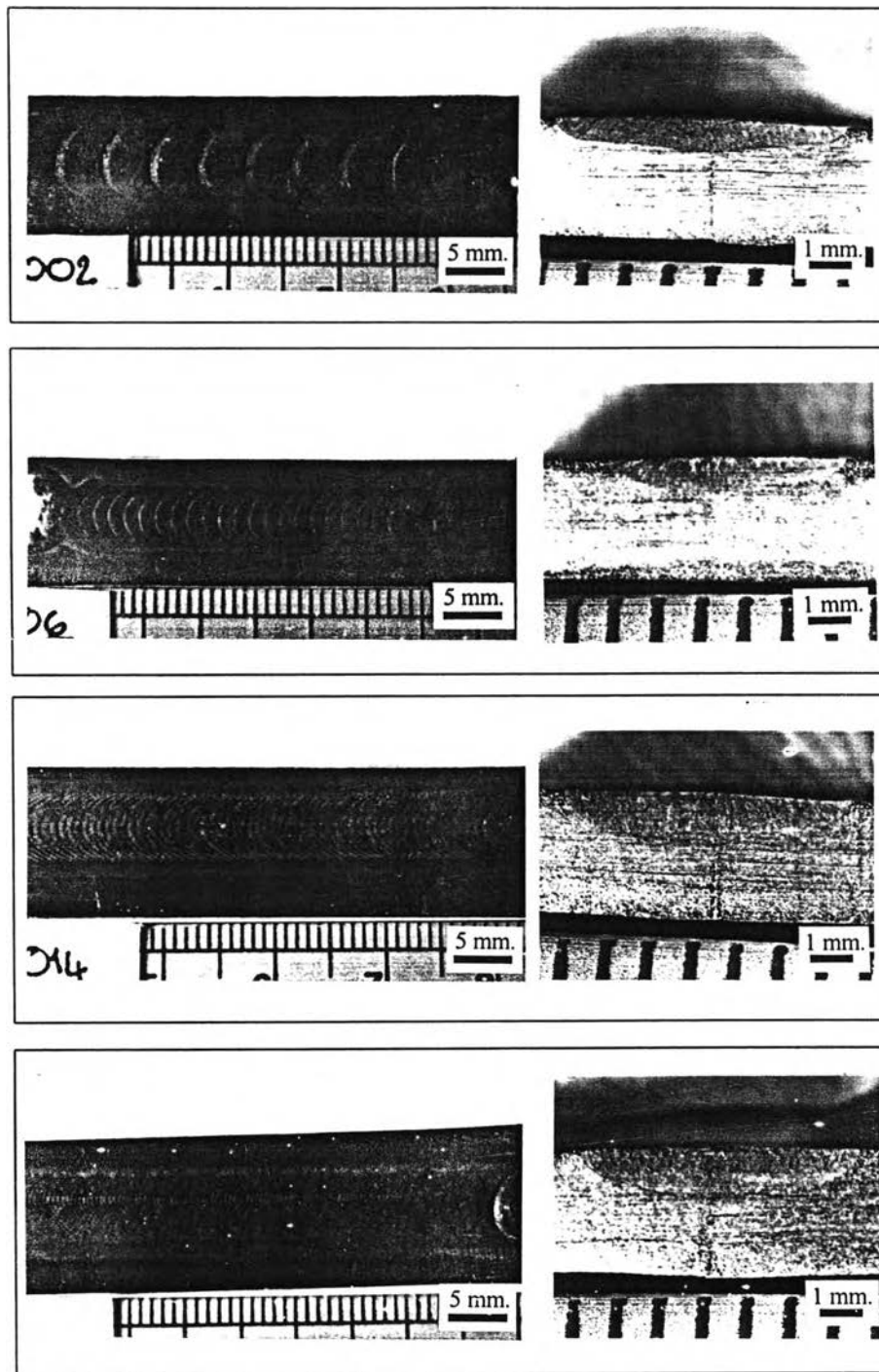
ค่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มความถี่พัลส์ให้สูงขึ้นที่ทุกๆค่า %On Time จากการศึกษาของ H.R.SAEBI และ W.UNKEL<sup>(16)</sup> เกี่ยวกับการเชื่อมทิกพัลส์ที่ความถี่ 10 ถึง 3000 เฮิร์ตซ ให้ผลสอดคล้องกันคือ การเพิ่มความถี่พัลส์สูงขึ้นไปให้อัตราส่วนของรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่ความถี่พัลส์ต่ำ(1 เฮิร์ตซ) มีค่าอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมต่ำกว่าเมื่อใช้ความถี่พัลส์ในช่วง 5 ถึง 10 เฮิร์ตซ ซึ่งจะมีค่าอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมที่ใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าตัวแปรทั้งสองตัวนี้มีความสัมพันธ์กัน(ดังสมการที่ 2.11 และ 2.12) กล่าวคือ การลดความถี่พัลส์ทำให้ช่วงเวลากระแสไฟฟ้าพัลส์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มค่า %On Time ฉะนั้นการเพิ่มช่วงเวลากระแสไฟฟ้าพัลส์จึงส่งผลต่อการเพิ่มขนาดของบ่อน้ำโลหะนั่นเอง จากรูปที่ 4.3 เห็นได้ว่าในช่วงความถี่พัลส์ 5 ถึง 7 เฮิร์ตซ มีค่าอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมที่ดี เพราะว่า ช่วงความถี่พัลส์นี้บ่อน้ำโลหะที่เกิดขึ้นมีความลึกที่ดีในขณะที่ความกว้างของบ่อโลหะมีขนาดใกล้เคียงกับช่วงความถี่พัลส์ที่มากกว่า และการเพิ่มความถี่พัลส์ทำให้ได้รอยเชื่อมที่สม่ำเสมอ และต่อเนื่องกว่าการเชื่อมที่ความถี่พัลส์ต่ำดังรอยเชื่อมที่แสดงในรูปที่ 4.4 การตั้งค่า %On Time สำหรับการเชื่อมทิกพัลส์นั้นควรให้อยู่ในช่วง 30 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของโลหะที่เชื่อม โดยโลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำควรตั้งค่า %On Time ให้มากกว่าโลหะที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูง<sup>(40)</sup> ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ค่าความถี่พัลส์ 5 เฮิร์ตซ และค่า % On Time ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นพารามิเตอร์เบื้องต้นสำหรับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ต่อไป

#### 4.3 ผลของตำแหน่งเชื่อม ความเร็วเชื่อม กระแสไฟฟ้าพัลส์ และส่วนผสมของแก๊สไนโตรเจนใน

แก๊สปกคลุมอาร์กอน ต่อการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L หนา 3 มิลลิเมตร

จากผลการทดลองในข้อ 4.1 และ 4.2 ได้ตัวแปรการเชื่อมเบื้องต้น ได้แก่ กระแสไฟฟ้าเบส 61 แอมแปร์ ความถี่พัลส์ 5 เฮิร์ตซ และค่า %On Time ที่ 65 เปอร์เซ็นต์ เป็นตัวแปรเชื่อมเริ่มต้นสำหรับเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L หนา 3 มิลลิเมตร ที่ความเร็วเชื่อม 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 มิลลิเมตรต่อวินาที รอยเชื่อมที่ได้จะถูกตรวจสอบคุณภาพโดยอ้างอิงมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS การเชื่อมในแต่ละความเร็วเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ให้เหมาะสม ซึ่งเป็นระดับกระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่ได้รอยซึมลึกเต็มความหนาของแผ่นเหล็กชิ้นงานทดลองซึ่งถือว่าเป็นรอยซึมลึกที่สมบูรณ์ ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนที่ผสมแก๊สไนโตรเจน 0 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างรอยเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L เชื่อมด้วยทิกพัลส์

( $I_B = 60$  แอมแปร์  $I_p = 150$  แอมแปร์  $V_s = 4$  มิลลิเมตรต่อวินาที)

ก)  $F_p = 1$  เฮิร์ตซที่ 45 % On Time ข)  $F_p = 3$  เฮิร์ตซที่ 35 % On Time

ค)  $F_p = 5$  เฮิร์ตซที่ 65 % On Time ง)  $F_p = 10$  เฮิร์ตซที่ 65 % On Time



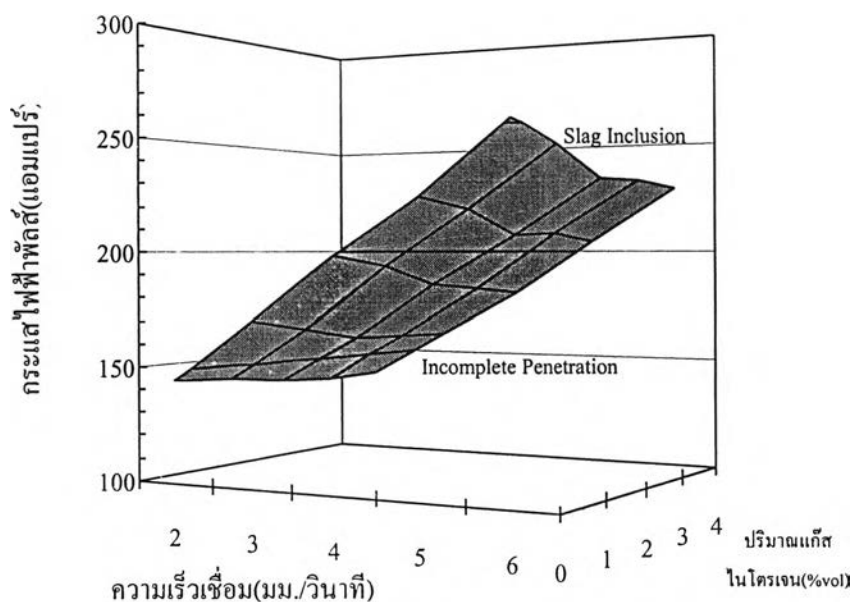
#### 4.3.1 การเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา

การทดลองเริ่มจากการเชื่อมใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ ที่ความเร็วเชื่อม 8 มิลลิเมตรต่อวินาที หากกระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ต่ำสุดที่ให้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ และลดความเร็วลงครึ่งละ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที จนกระทั่งถึงความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยรอยเชื่อมยังคงมีรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ จากนั้นเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สในโตรเจนที่ผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนจาก 1 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรและทำการทดลองซ้ำนำชิ้นงานทดลองที่มีรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ที่แต่ละความเร็วเชื่อม ไปวิเคราะห์หารอบบัพร่องที่เกิดขึ้นโดยอ้างอิงจาก มาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ตัวอย่างที่ให้อรอยเชื่อมผ่านมาตรฐานแสดงในตารางที่ 4.5 และในรูปที่ 4.5 ตัวอย่างของรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับ BS แสดงในรูปที่ 4.6 และตัวอย่างของรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐานดังกล่าวแสดงในรูปที่ 4.7

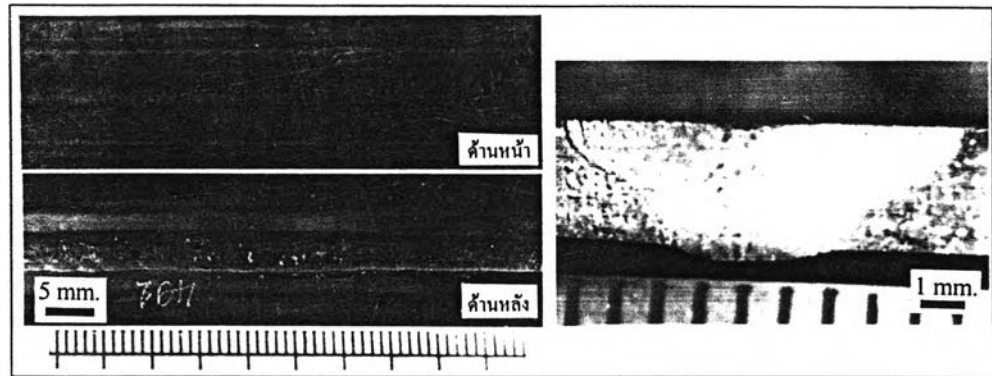
จากผลการทดลองตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่า เมื่อผสมแก๊สในโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ทำให้สามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ลงได้ โดยที่รอยเชื่อมปราศจาก Slag Inclusion รอยเชื่อมที่สมบูรณ์และไม่มีข้อบกพร่องอื่นๆ การเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 4 มิลลิเมตรต่อวินาที เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ จะใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 198 แอมแปร์ แต่เมื่อผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในแก๊สปกคลุมอาร์กอนจะใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 180 แอมแปร์ สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชื่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าพัลส์ค่อนข้างมาก คือเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ที่ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 144 แอมแปร์ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วเชื่อมเป็น 6 มิลลิเมตรต่อวินาที กระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้เพิ่มเป็น 252 แอมแปร์ การเพิ่มความเร็วเชื่อมจาก 2 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็น 6 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าพัลส์ประมาณ 90 ถึง 100 แอมแปร์ แต่ช่วงความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าพัลส์นี้มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อความเร็วเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นช่วงความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าพัลส์จะมีค่าสูงขึ้น กล่าวคือที่ความเร็วเชื่อม 6 มิลลิเมตรต่อวินาที มีช่วงความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าพัลส์เมื่อผสมแก๊สในโตรเจน 0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรกับ 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเท่ากับ 22 แอมแปร์ ในขณะที่ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ช่วงความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าพัลส์เมื่อผสมแก๊สในโตรเจน 0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรกับ 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเท่ากับ 6 แอมแปร์

ตารางที่ 4.5 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่แต่ละความเร็วเชื่อม ได้รอยเชื่อมผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา

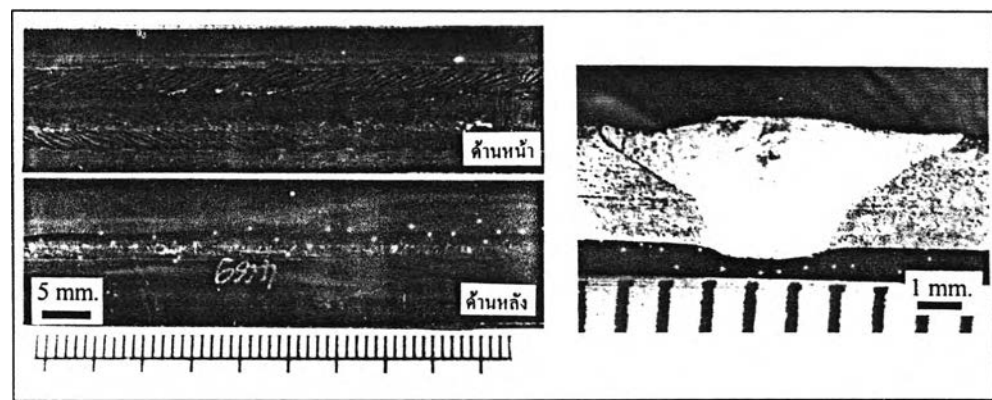
ความเร็วเชื่อม (มม./วินาที)	กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด(แอมแปร์)				
	แก๊สปกคลุม Ar + N <sub>2</sub> (%vol)				
	0	1	2	3	4
2	144	143	139	138	138
3	171	166	160	160	159
4	198	194	185	183	180
5	222	218	207	208	205
6	252	244	231	232	230



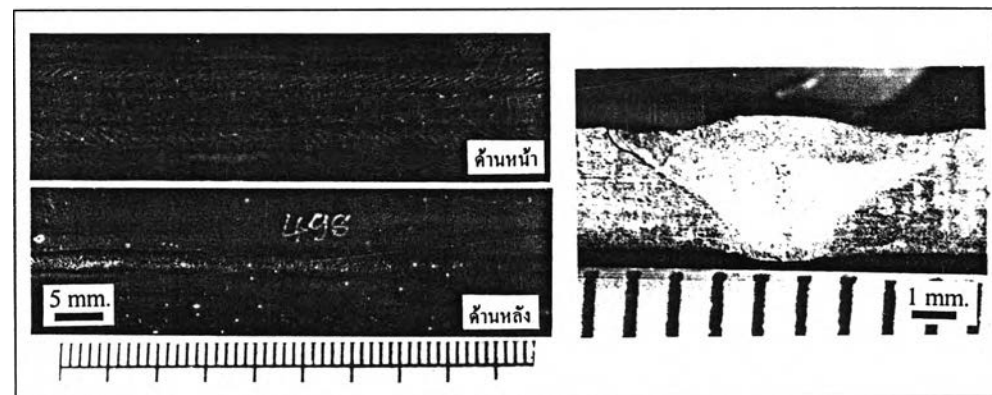
รูปที่ 4.5 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด ที่ได้รอยเชื่อมสมบูรณ์ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชื่อม และปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา



ก.



ข.



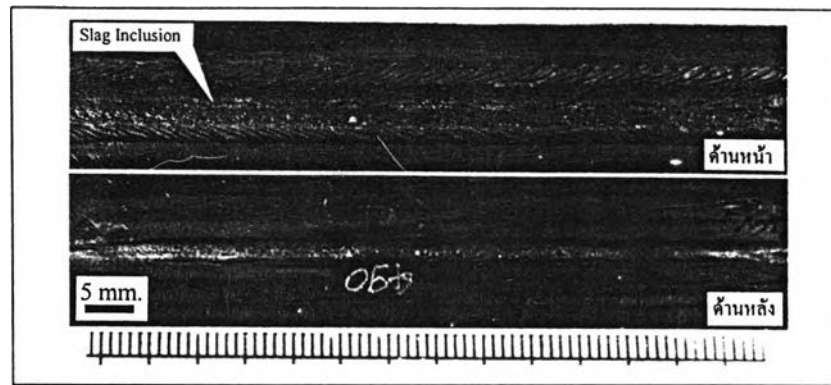
ค.

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา

ก.  $V_S = 2$  มม./วินาที  $I_p = 171$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar

ข.  $V_S = 6$  มม./วินาที  $I_p = 252$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar

ค.  $V_S = 6$  มม./วินาที  $I_p = 230$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar +N<sub>2</sub>(4%vol)



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา  
 $V_s = 7 \text{ มม./วินาที}$   $I_p = 280 \text{ แอมแปร์}$  แก๊สปกคลุม Ar

รอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS คือรอยเชื่อมที่เชื่อมโดยใช้ความเร็วเชื่อม 7 มิลลิเมตรต่อวินาที เนื่องจากเกิดSlag Inclusionsแบบเส้นตรงในบริเวณตรงกลางของรอยเชื่อมในมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ไม่ยอมให้เกิดรอยบกพร่องชนิดนี้ การเกิดรอยบกพร่องชนิดนี้เกิดจากมีแก๊สออกซิเจนเข้าไปในบ่อน้ำโลหะขณะหลอมเหลว ซึ่งสาเหตุอาจเกิดขึ้นจากปริมาณแก๊สปกคลุมไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สังเกตได้จากผลการเชื่อมที่ความเร็ว 7 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 280 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 255 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรรอยบกพร่องชนิดนี้จะเกิดน้อยลง จึงสรุปได้ว่าการเชื่อมเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมสูงขึ้น ควรปรับอัตราการไหลของแก๊สปกคลุมให้เพียงพอสำหรับป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ในที่นี้จึงกล่าวได้ว่าการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมอสเตนนิติกเรด 316L ที่ตำแหน่งการเชื่อม 6 นาฬิกา ตามเงื่อนไขการทดลองนี้ สามารถใช้ความเร็วเชื่อมสูงสุด 6 มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อให้ได้รอยเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS

#### 4.3.2 การเชื่อมที่ตำแหน่ง 8, 9 และ 10 นาฬิกา

ที่แต่ละตำแหน่งจะเริ่มการทดลองเหมือนการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา คือเริ่มการเชื่อมโดยใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ความเร็วเชื่อม 8 มิลลิเมตรต่อวินาที หากกระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่ทำให้รอยเชื่อมตีสมบูรณ์ และลดความเร็วเชื่อมลงครึ่งละ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที จนถึงความเร็ว 2 มิลลิเมตรต่อวินาที แล้วจึงเปลี่ยนไปใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปฏิบัติการเชื่อมเหมือนกับการเชื่อมด้วยแก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และเปลี่ยนแปลง

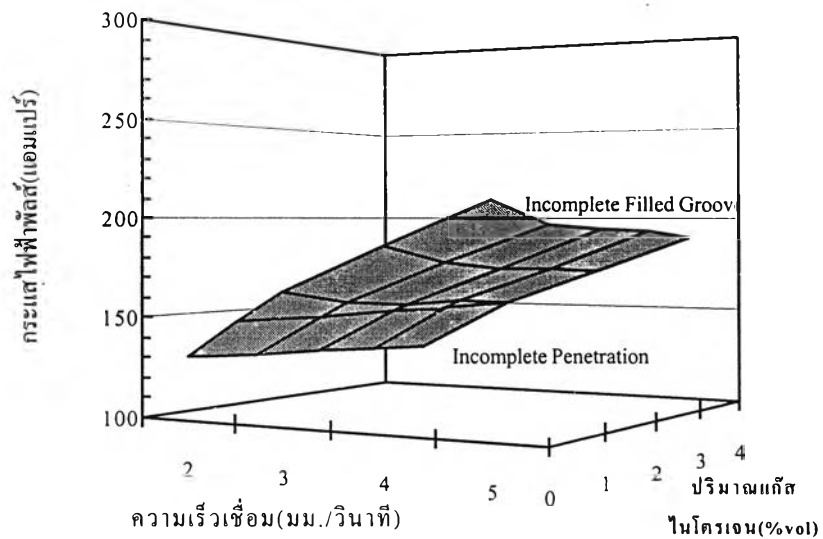
แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจนจาก 3 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะได้ค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่แต่ละความเร็วเชื่อม นำชิ้นงานทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์และวัดขนาดรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นอ้างอิงจากมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ข้อมูลการเชื่อมที่ให้รอยเชื่อมได้มาตรฐานแสดงในตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับตัวอย่างรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS แสดงในรูปที่ 4.11 และตัวอย่างรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับ BS แสดงในรูปที่ 4.12

จากผลการทดลองพบว่า รอยเชื่อมที่ซึมลึกสมบูรณ์ที่ตำแหน่งเชื่อม 8, 9 และ 10 นาฬิกา ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา เพราะว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8, 9 และ 10 นาฬิกา มีแรงโน้มถ่วงกระทำต่อน้ำโลหะระหว่างการเชื่อม ทำให้ระยะอาร์คเพิ่มขึ้นและปริมาณความร้อนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดระดับกระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำกว่าที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ดังตัวอย่างการเชื่อมเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การเชื่อมที่ตำแหน่ง 8 นาฬิกาที่ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 127 แอมแปร์ และที่ความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 195 แอมแปร์ การเชื่อมที่ตำแหน่ง 9 นาฬิกาที่ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 125 แอมแปร์ และที่ความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 193 แอมแปร์ และการเชื่อมที่ตำแหน่ง 10 นาฬิกาที่ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 123 แอมแปร์ และที่ความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 197 แอมแปร์

เมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ใช้ในการเชื่อมเพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่ซึมลึกสมบูรณ์จะมีค่าต่ำลง ดังตัวอย่าง การเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 4 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกาใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 187 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 170 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร การเชื่อมที่ตำแหน่ง 9 นาฬิกาใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 183 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 167 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และการเชื่อมที่ตำแหน่ง 10 นาฬิกาใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 183 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 172 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร นอกจากนี้ยังพบว่า การเชื่อมที่ตำแหน่ง 10 นาฬิกา ที่ความเร็วเชื่อมต่ำมีโอกาสเกิด Root Concavity ได้มากกว่าการเชื่อมในตำแหน่ง 8 และ 9 นาฬิกา ตัวอย่างของรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563 แสดงในรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.6 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่แต่ละความเร็วเชื่อม ได้รอยเชื่อมผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกา

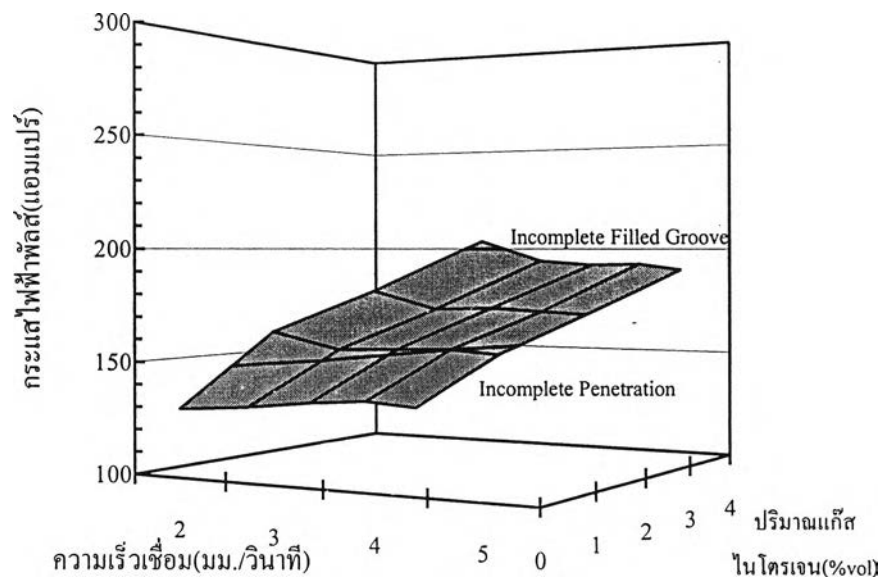
ความเร็วเชื่อม (มม./วินาที)	กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด(แอมแปร์)				
	แก๊สปกคลุม Ar+N <sub>2</sub> (%vol)				
	0	1	2	3	4
2	132	129	127	125	122
3	165	158	154	154	150
4	187	178	174	173	170
5	208	197	195	193	190



รูปที่ 4.8 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด ที่ได้รอยเชื่อมสมบูรณ์ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชื่อม และปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกา

ตารางที่ 4.7 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่แต่ละความเร็วเชื่อม ได้รอยเชื่อมผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกา

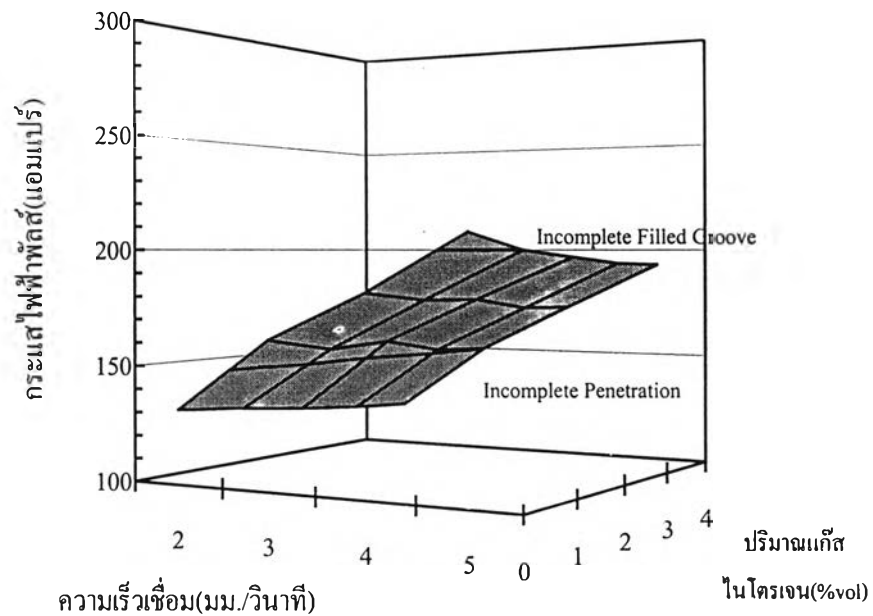
ความเร็วเชื่อม (มม./วินาที)	กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด(แอมแปร์)				
	แก๊สปกคลุม Ar+N <sub>2</sub> (%vol)				
	0	1	2	3	4
2	130	127	125	122	115
3	165	155	153	150	145
4	183	174	173	170	167
5	203	195	193	193	190



รูปที่ 4.9 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด ที่ได้รอยเชื่อมสมบูรณ์ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชื่อม และปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกา

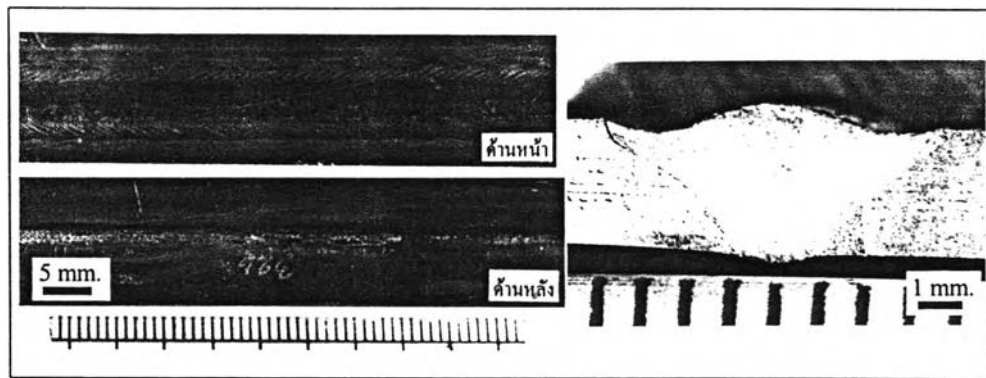
ตารางที่ 4.8 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่แต่ละความเร็วเชื่อม ได้รอยเชื่อมผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 10 นาฬิกา

ความเร็วเชื่อม (มม./วินาที)	กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด(แอมแปร์) แก๊สปกคลุม Ar+N <sub>2</sub> (%vol)				
	0	1	2	3	4
2	132	129	125	122	120
3	163	157	158	152	150
4	183	179	178	173	172
5	207	200	197	194	193

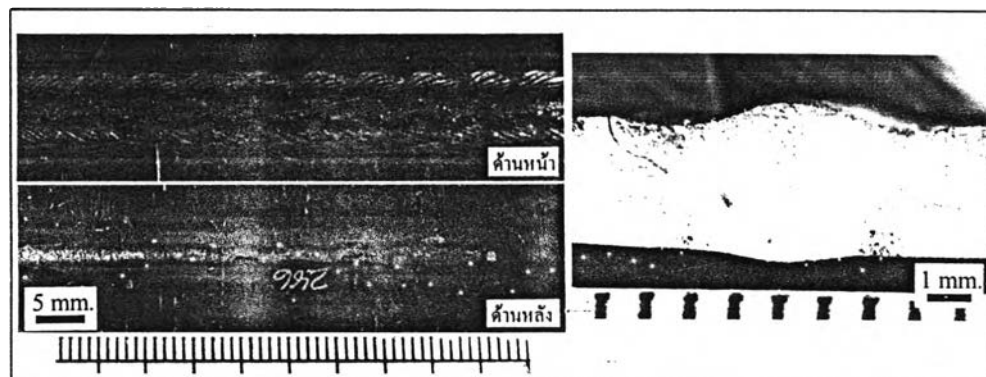


รูปที่ 4.10 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด ที่ได้รอยเชื่อมสมบูรณ์ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชื่อม และปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 10 นาฬิกา



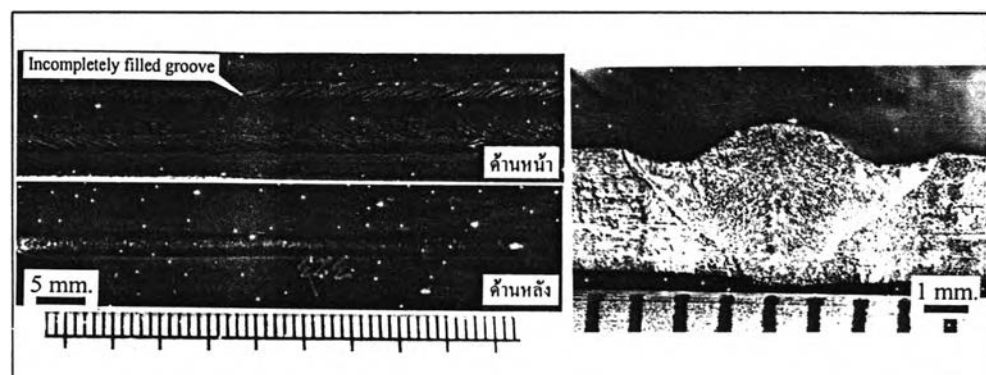


ก.



ข.

- รูปที่ 4.11 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ที่ตำแหน่งเชื่อม 8 และ 9 นาฬิกา
- ก.  $V_s = 5$  มม./วินาที  $I_p = 208$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกา
- ข.  $V_s = 4$  มม./วินาที  $I_p = 170$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar+N<sub>2</sub>(3%vol) ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกา



- รูปที่ 4.12 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกา
- $V_s = 6$  มม./วินาที  $I_p = 232$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar

ที่ความเร็วเชื่อม 6 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8, 9 และ 10 นาฬิกา จะได้รอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐาน เนื่องจากเกิดรอยบกพร่องแบบ Incompletely Filled Grooved ( $\Delta a_2$ ) มีค่ามากกว่า 0.31 มิลลิเมตร ( $\Delta a_2 > 0.31$ ) ตัวอย่างรอยเชื่อมที่เกิดรอยบกพร่องชนิดนี้ แสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งระยะ  $\Delta a_2$  ที่เกิดขึ้นมีความลึกใกล้เคียงกันแม้ว่าใช้แก๊สปกคลุมที่มีปริมาณแก๊สในโตรเจนผสมแตกต่างกันและเมื่อใช้ความเร็วเชื่อม 7 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่าการเกิด Incompletely Filled Groove เพิ่มขึ้นและมี Slag Inclusion เกิดขึ้นด้วย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ตำแหน่งการเชื่อม 8, 9 และ 10 นาฬิกา ที่มีสภาวะตัวแปรตามการทดลองนี้สามารถใช้ความเร็วเชื่อมได้สูงสุด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อให้ได้รอยเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS

#### 4.3.3 การเชื่อมที่ตำแหน่ง 12 นาฬิกา

การทดลองเชื่อมที่ตำแหน่ง 12 นาฬิกา เริ่มปฏิบัติการทดลองเชื่อมเหมือนกับการเชื่อมที่ทุกตำแหน่งที่ผ่านมา โดยนำชิ้นงานเชื่อมที่มีรอยซึมลึกสมบูรณ์มาวิเคราะห์และวัดขนาดรอยบกพร่องที่เกิดขึ้นที่รอยเชื่อมโดยอ้างอิงจากมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ข้อมูลการเชื่อมที่ผ่านมาตรฐานแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.13

จากผลการทดลองพบว่า การเชื่อมที่ตำแหน่ง 12 นาฬิกาจะได้ลักษณะรอยเชื่อมที่คล้ายกับการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา กระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ตำแหน่งเชื่อมนี้จะมีค่าสูงกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8 ถึง 10 นาฬิกา แต่ใกล้เคียงกับที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ในทำนองเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมาเมื่อผสมแก๊สในโตรเจนในแก๊สปกคลุมอาร์กอนจะช่วยลดกระแสไฟฟ้าพัลส์ที่เชื่อมเพื่อให้ได้รอยซึมลึกสมบูรณ์ ดังตัวอย่างการเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 4 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ และกระแสไฟฟ้าพัลส์ลดลงเหลือ 180 แอมแปร์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และในที่นี้แสดงผลของความเร็วเชื่อมต่อค่าระดับกระแสไฟฟ้าพัลส์ คือ เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าที่ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 141 แอมแปร์ แต่เมื่อเชื่อมที่ความเร็ว 6 มิลลิเมตรต่อวินาทีใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ 232 แอมแปร์ จากรูปที่ 4.13 ความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าพัลส์เมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 0 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาทีมีไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเร็วเชื่อม 6 มิลลิเมตรต่อวินาที ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ได้มาตรฐาน DIN 8563ระดับBS แสดงในรูปที่ 4.14

รอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับ BS คือรอยเชื่อมที่เชื่อมโดยใช้ความเร็วเชื่อม 7 มิลลิเมตรต่อวินาที เนื่องจากเกิดรอยบกพร่องแบบ Slag Inclusion เป็นเส้นตรงบริเวณตรงกลางรอยเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งพบเหมือนกับเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ฉะนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L เชื่อมที่ตำแหน่ง 12 นาฬิกา และสภาวะตัวแปรตามการทดลองนี้ สามารถใช้ความเร็วได้สูงสุด 6 มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ตามมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS

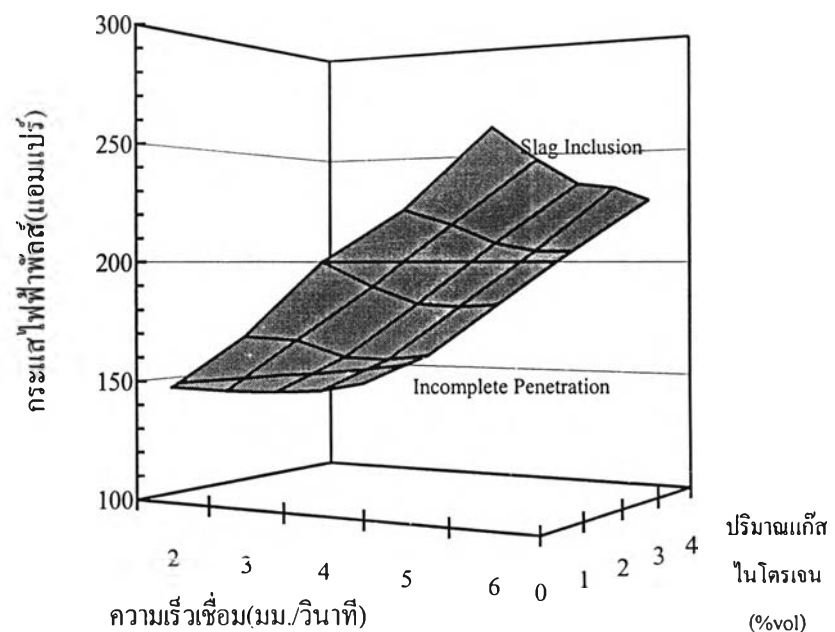
#### 4.3.4 เปรียบเทียบผลการทดลอง ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา

จากการผลการทดลองการเชื่อมที่ทุกตำแหน่งเชื่อม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน จะช่วยลดกระแสไฟฟ้าพัลส์ให้ต่ำลงแต่ยังคงได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ เนื่องจากแก๊สไนโตรเจนมีค่าระดับพลังงานไอออไนเซชัน (Ionization Energy) ต่ำกว่าแก๊สอาร์กอน (ไนโตรเจน = 14.54 eV, อาร์กอน = 15.80 eV) สำหรับแก๊สที่มีค่าพลังงานไอออไนเซชันต่ำสามารถเกิดพลาสมา (Plasma) ได้ง่ายขึ้น และแก๊สไนโตรเจนที่ผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนทำให้ความต้านทานอาร์คระหว่างชิ้นงานทดลองกับปลายอิเล็กโทรดและสัปดาห์การอาร์คเพิ่มขึ้น มีผลต่อการเพิ่มปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อม จะเห็นได้จากเมื่อเชื่อมโดยใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำให้สามารถลดกระแสไฟฟ้าพัลส์ได้ต่ำกว่าเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์แต่ยังคงได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ ช่วงความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าพัลส์เมื่อใช้แก๊สไนโตรเจน 0 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีมากขึ้นเมื่อเชื่อมที่ความเร็วเชื่อมสูงขึ้น

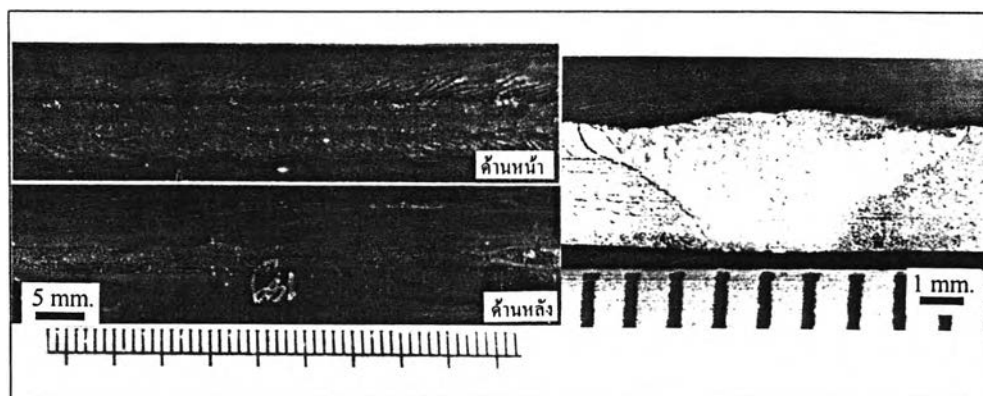
นอกจากนี้ยังพบว่า การเชื่อมที่ตำแหน่งการเชื่อม 9 นาฬิกานั้น ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำที่สุด โดยที่รอยเชื่อมยังมีรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ ส่วนที่ตำแหน่งการเชื่อม 8 และ 10 นาฬิกา พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ทำให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์มีค่าใกล้เคียงกัน และที่ตำแหน่งการเชื่อม 6 และ 12 นาฬิกา พบว่าค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์ที่ให้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์มีค่าสูงกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8, 9, 10 นาฬิกา การเชื่อมที่แต่ละตำแหน่งเชื่อมจะมีองค์ประกอบของ Driving Force ต่างกัน จากการศึกษานี้ของ G.Huisman และ H.Hoffmeister<sup>(19)</sup> กล่าวว่า การเชื่อมในตำแหน่ง 8 ถึง 10 นาฬิกา นั้นมีผลของแรงโน้มถ่วง (Gravity Force) กระทำต่อน้ำโลหะ ทำให้ระยะอาร์คและสัปดาห์การอาร์คในขณะเชื่อมเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8, 9, และ 10 นาฬิกา สามารถลดกระแสไฟฟ้าพัลส์ได้ต่ำกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 และ 12 นาฬิกา โดยรอยเชื่อมยังคงมีรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ปราศจากข้อบกพร่องอื่น

ตารางที่ 4.9 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่แต่ละความเร็วเชื่อม ได้รอยเชื่อมผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สในโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกา

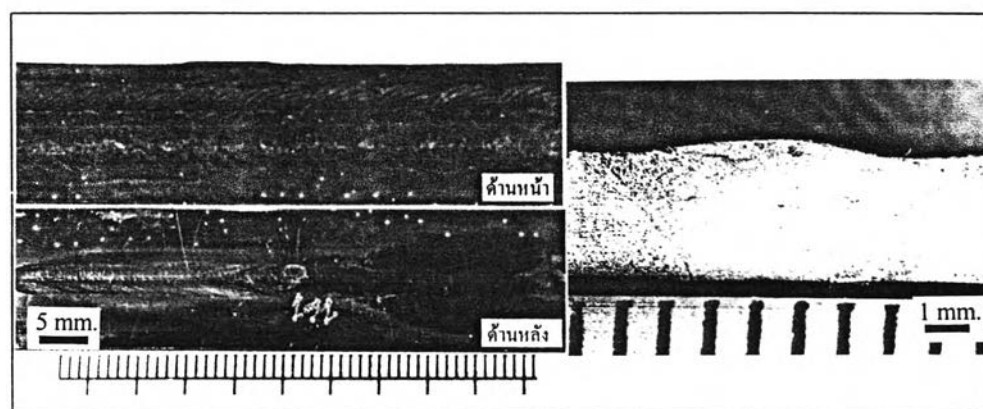
ความเร็วเชื่อม (มม./วินาที)	กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุด(แอมแปร์) แก๊สปกคลุม Ar+N <sub>2</sub> (%vol)				
	0	1	2	3	4
2	148	144	141	139	140
3	170	167	158	155	155
4	200	190	182	180	180
5	220	215	208	205	205
6	250	240	232	232	228



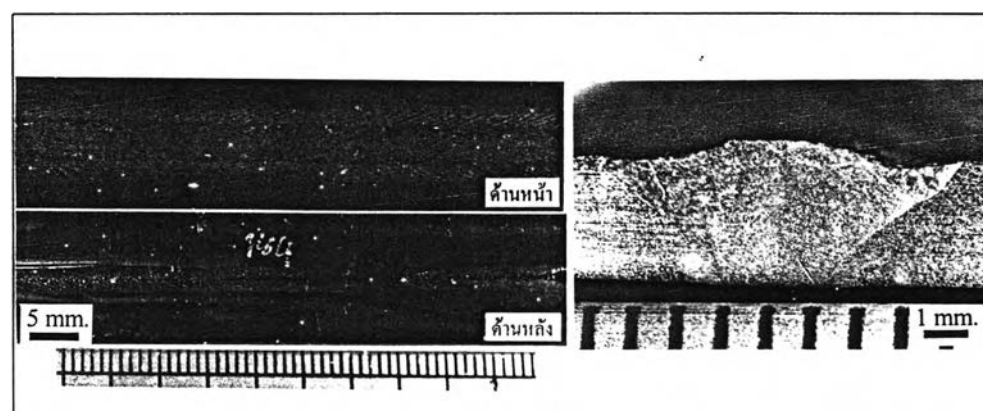
รูปที่ 4.13 กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำสุดที่ได้อรอยเชื่อมสมบูรณ์ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชื่อม และปริมาณแก๊สในโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกา



ก.



ข.



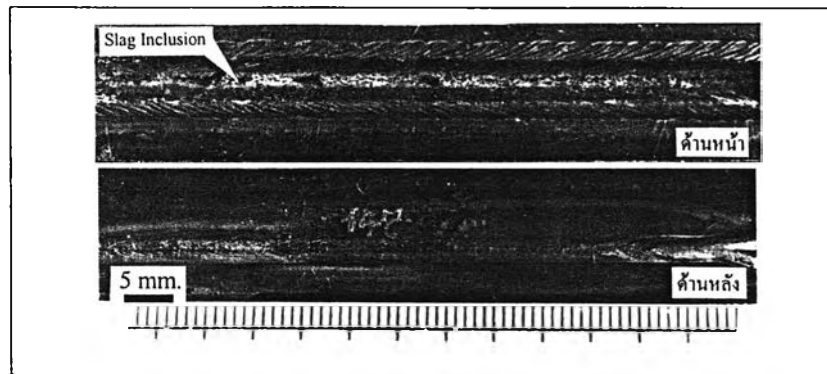
ค.

รูปที่ 4.14 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกา

ก.  $V_s = 3$  มม./วินาที  $I_p = 155$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar+N<sub>2</sub>(4%vol)

ข.  $V_s = 4$  มม./วินาที  $I_p = 200$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar

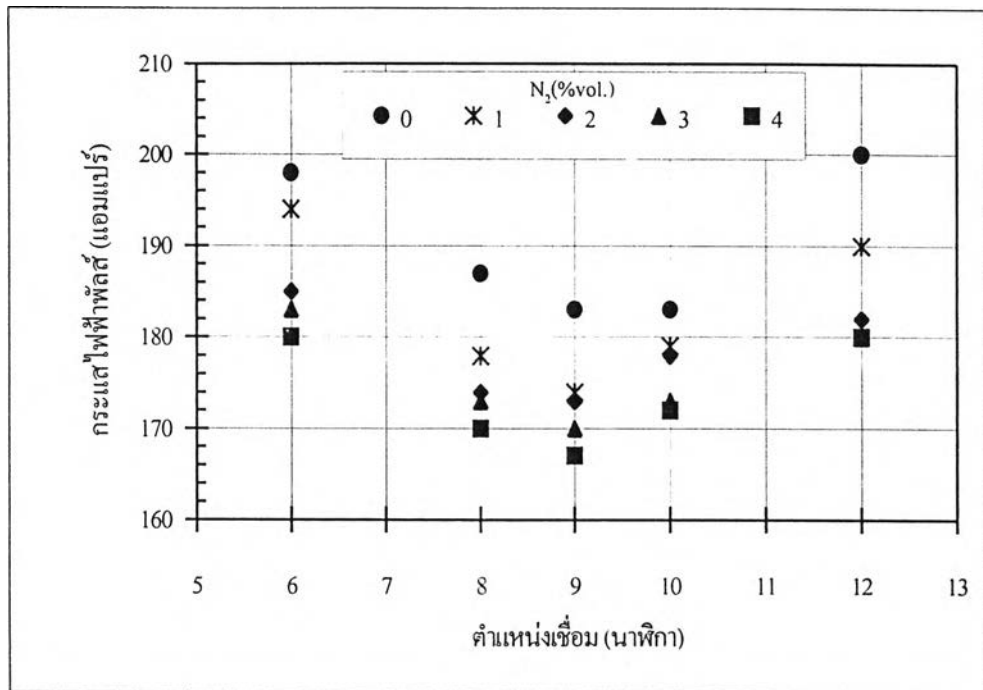
ค.  $V_s = 6$  มม./วินาที  $I_p = 228$  แอมแปร์ แก๊สปกคลุม Ar+N<sub>2</sub>(4%vol)



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างรอยเชื่อมที่ไม่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกา

$$V_s = 7 \text{ มม./วินาที} \quad I_p = 275 \text{ แอมแปร์} \quad \text{แก๊สปกคลุม Ar}$$

รอยบกพร่องที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเชื่อม 6 และ 12 นาฬิกานั้นเหมือนกัน ซึ่งเกิดรอยบกพร่องแบบ Slag Inclusion เส้นตรง เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเร็วเชื่อม 7 มิลลิเมตรต่อวินาที เป็นผลมาจากมีแก๊สออกซิเจนเข้าไปผสมในบ่อน้ำโลหะขณะเชื่อมได้มากขึ้นเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์เพิ่มสูงขึ้น จากการสังเกต พบว่าเมื่อเชื่อมโดยใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์ปริมาณการเกิด Slag Inclusion ลดลง เนื่องจากการเชื่อมเมื่อใช้แก๊สปกคลุมที่ผสมแก๊สไนโตรเจนในปริมาณเพิ่มขึ้นสามารถใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำแต่รอยเชื่อมซึมลึกสมบูรณ์ ทำให้ความสามารถป้องกันแก๊สออกซิเจนที่เป็นสาเหตุการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับน้ำโลหะของแก๊สปกคลุมเพิ่มขึ้น รอยบกพร่องที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเชื่อม 8, 9 และ 10 นาฬิกา เป็นแบบ Incompletely Filled Groove ( $\Delta a_2$ ) มีค่ามากกว่า 0.31 มิลลิเมตร เกิดขึ้นเมื่อเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 6 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นผลมาจากแรงโน้มถ่วงและแรงอาร์คที่กระทำต่อบ่อน้ำโลหะในระหว่างการเชื่อมเพิ่มขึ้น โดยการเชื่อมที่ความเร็วสูงจำเป็นต้องเพิ่มกระแสไฟฟ้าพัลส์ให้สูงขึ้นเพื่อให้ได้รอยซึมลึกที่สมบูรณ์<sup>(10-12)</sup> เป็นสาเหตุทำให้แรงอาร์คเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.16 กระแสไฟฟ้าค่าสูงสุดที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ที่ความเร็วเชื่อม 4 มม./วินาที

#### 4.4 ผลของตำแหน่งเชื่อมต่อการเกิดลักษณะรอยเชื่อม

จากผลการทดลองเชื่อมลักษณะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่เกิดขึ้นจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตัวแปรการเชื่อมและตำแหน่งเชื่อม นำรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563 ระดับ BS ที่ทุกตำแหน่งการเชื่อมนั้นมาวัดขนาดความกว้างรอยเชื่อมและระยะ Excessive Penetration โดยกำหนดให้รอยซึมลึกมีค่าคงที่เท่ากับความหนาของชิ้นงานทดลอง<sup>(23)</sup> เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมที่เกิดขึ้นที่แต่ละตำแหน่งเชื่อมกับความเร็วเชื่อม และปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ในที่นี้จะแสดงผลของสัดส่วนปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนต่อลักษณะรอยเชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 4 มิลลิเมตรต่อวินาทีดังแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 และผลของความเร็วเชื่อมต่อการเกิดลักษณะรอยเชื่อมเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.20, 4.21, 4.22 ตามลำดับ

จากผลการทดลอง พบว่ารอยเชื่อมที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมทิกพัลส์ เมื่อใช้ความเร็วเชื่อม 4 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน 0 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร พบว่าความกว้างของรอยเชื่อมและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้าง

รอยเชื่อมจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ตำแหน่งเชื่อมเดียวกัน(ในตารางที่ 4.10 รูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18) คือ ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา ความกว้างรอยเชื่อมอยู่ในช่วง 8.21 ถึง 8.55 มิลลิเมตร และอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่าอยู่ในช่วง 0.35 ถึง 0.37 ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกาความกว้างรอยเชื่อมอยู่ในช่วง 7.62 ถึง 7.71 มิลลิเมตร และอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่าเท่ากับ 0.39 ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกา ความกว้างรอยเชื่อมอยู่ในช่วง 7.49 ถึง 7.65 มิลลิเมตร และอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่าเท่ากับ 0.40 ตำแหน่งเชื่อม 10 นาฬิกาความกว้างรอยเชื่อมอยู่ในช่วง 7.51 ถึง 7.57 มิลลิเมตร และอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมเท่ากับ 0.40 และตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกา ความกว้างรอยเชื่อมอยู่ในช่วง 8.20 ถึง 8.91 มิลลิเมตร และอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่ามีค่า 0.36 ถึง 0.37 นอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่งเชื่อม 8 ถึง 10 นาฬิกา ทำให้เกิดรอยเชื่อมที่มีความกว้างต่ำกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 และ 12 นาฬิกา(รูปที่ 4.17) มีผลทำให้อัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมของตำแหน่งเชื่อม 8 ถึง 10 นาฬิกา มีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่งเชื่อม 6 และ 12 นาฬิกา(รูปที่ 4.18) เพราะว่า การเชื่อมที่ตำแหน่ง 8 ถึง 10 นาฬิกา ใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์เพื่อได้รอยซึมลึกสมบูรณ์ต่ำกว่าที่ตำแหน่งเชื่อม 6 และ 12 นาฬิกา และการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สในโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนมีผลต่อการเกิด Excessive Penetration น้อย และการเชื่อมที่ตำแหน่ง 10 และ 12 นาฬิกา เกิด Excessive Penetration น้อยกว่าที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8 และ 9 นาฬิกา ซึ่งที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกามีค่าต่ำที่สุด(รูปที่ 4.19)

จากผลการทดลองตารางที่ 4.11 เป็นการเชื่อมใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ที่ความเร็วเชื่อม 2 ถึง 5 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่า ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 9.18 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.33 และความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 8.05 มิลลิเมตร และอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.37 ที่ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกา ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 8.37 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.36 และความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 7.31 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.41 ที่ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกาความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 8.03 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.37 และความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 7.42 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.40 ที่ตำแหน่งเชื่อม 10 นาฬิกา ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 8.01 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.37 และความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 7.48



มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.40 และที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกา ความเร็วเชื่อม 2 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 9.36 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.32 ความเร็วเชื่อม 5 มิลลิเมตรต่อวินาที มีความกว้างรอยเชื่อม 8.34 มิลลิเมตรและอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อม 0.36 จะเห็นได้ว่าการเชื่อมที่ความเร็วเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้ขนาดความกว้างรอยเชื่อมมีแนวโน้มลดลงตลอดที่ทุกตำแหน่งเชื่อม(รูปที่ 4.20) ทำให้อัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วเชื่อม(รูปที่ 4.21) ซึ่งการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8 ถึง 10 นาฬิกาจะมีความกว้างรอยเชื่อมน้อยกว่าตำแหน่งเชื่อม 6 และ 12 นาฬิกา มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมเช่นกัน และการเกิด Excessive Penetration จะมีขนาดลดลงเมื่อเชื่อมที่ตำแหน่ง 10 และ 12 นาฬิกา เปรียบเทียบกับ ตำแหน่งเชื่อม 6, 8 และ 9 นาฬิกา ซึ่งที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกา มีค่าน้อยที่สุด(รูปที่ 4.22)

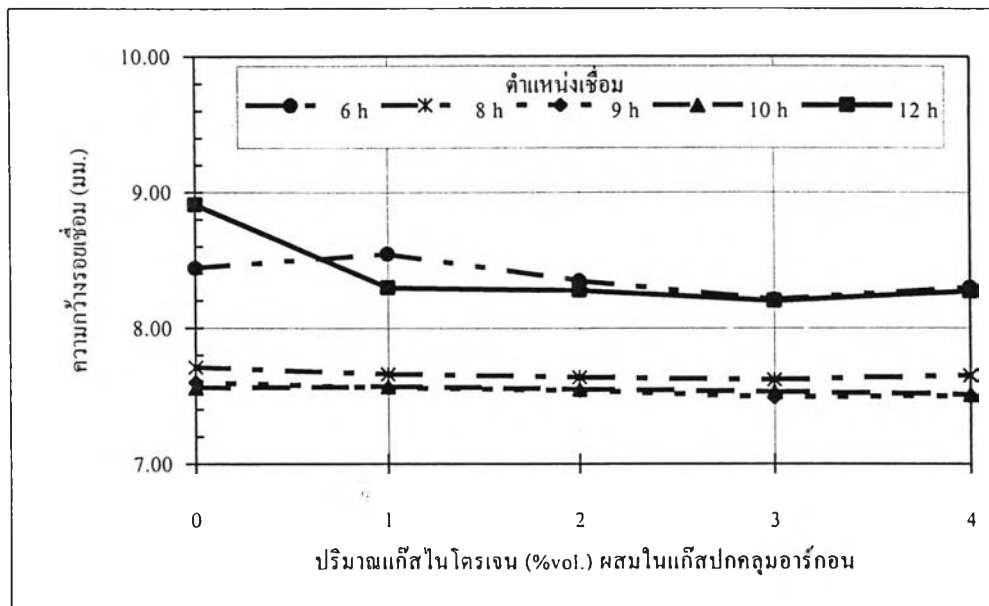
การเชื่อมทิกพัลส์ที่ตำแหน่งท่าราบ สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเนื้อโลหะ รอยเชื่อมประกอบด้วยแรงที่สำคัญ 4 ชนิด คือ 1.Electromagnetic Force 2.Surface Tension Force 3.Arc Pressure Force และ 4.Buoyancy Force<sup>(14,16)</sup> จากการศึกษาของ H.R.SAEDI และ W.UNKEL<sup>(16)</sup> กล่าวว่า การเพิ่มกระแสไฟฟ้าเชื่อมทำให้เพิ่มรอยซึมลึกได้สูงขึ้น แต่ในการทดลองนี้เป็นการเชื่อมที่ให้ได้อายุเชื่อมสมบูรณ์ตามมาตรฐาน DIN 8563 ระดับ BS พบว่าเมื่อแก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊ส ไนโตรเจนในปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้สามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าพัลส์เชื่อมลงได้โดยที่ยังคงได้ รอยเชื่อมซึมลึกสมบูรณ์ เนื่องจากแก๊สไนโตรเจนช่วยเพิ่มปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์ค นอกจากนี้ยังพบว่า การเชื่อมในตำแหน่งเชื่อม 8 ถึง 10 นาฬิกา ช่วยลดความกว้างรอยเชื่อมและเพิ่ม อัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมได้ดีกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 และ 12 นาฬิกา จากการ ทดลองของ G.HUISMANN และ H.HOFFMEISTER<sup>(19)</sup> พบว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 8 ถึง 10 นาฬิกา จะได้รับผลกระทบของแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อน้ำโลหะในขณะที่เชื่อม มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ ระยะอาร์ค ดังนั้นจึงสามารถลดระดับกระแสไฟฟ้าพัลส์เชื่อมให้ต่ำลง ส่งผลให้ความกว้างของรอย เชื่อมมีขนาดลดลงเมื่อเชื่อมที่ตำแหน่ง 8 ถึง 10 นาฬิกา และการเกิด Excessive Penetration ที่ ตำแหน่งเชื่อม 10 และ 12 นาฬิกา นั้นมีค่าต่ำกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6, 8 และ 9 นาฬิกา ซึ่งก็เป็น เป็นผลมาจากแรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อน้ำโลหะด้วยเช่นเดียวกัน ผลการทดลองในที่นี้สอดคล้องกับ ผลการทดลองของ G.HUISMANN และ H.HOFFMEISTER<sup>(19)</sup> และจากการทดลองของ ประสงค์ ชะอุ่มใบ<sup>(45)</sup> เชื่อมที่ตำแหน่งท่าราบ กระแสไฟฟ้าเบส 42 แอมแปร์ กระแสไฟฟ้าพัลส์ 200 แอมแปร์ ที่ 55% On Time ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ เชื่อมที่ความเร็วเชื่อม 3.0 ถึง 6.8 มิลลิเมตรต่อ วินาที พบว่า การเพิ่มความเร็วเชื่อมทำให้ความกว้างของรอยเชื่อมมีขนาดลดลง รอยซึมลึกมีค่า ลดลง และอัตราส่วนรอยซึมลึกต่อความกว้างรอยเชื่อมมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.10 ผลของปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ต่อการเกิดลักษณะรอยเชื่อม ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา ความเร็วเชื่อม 4 มม./วินาที

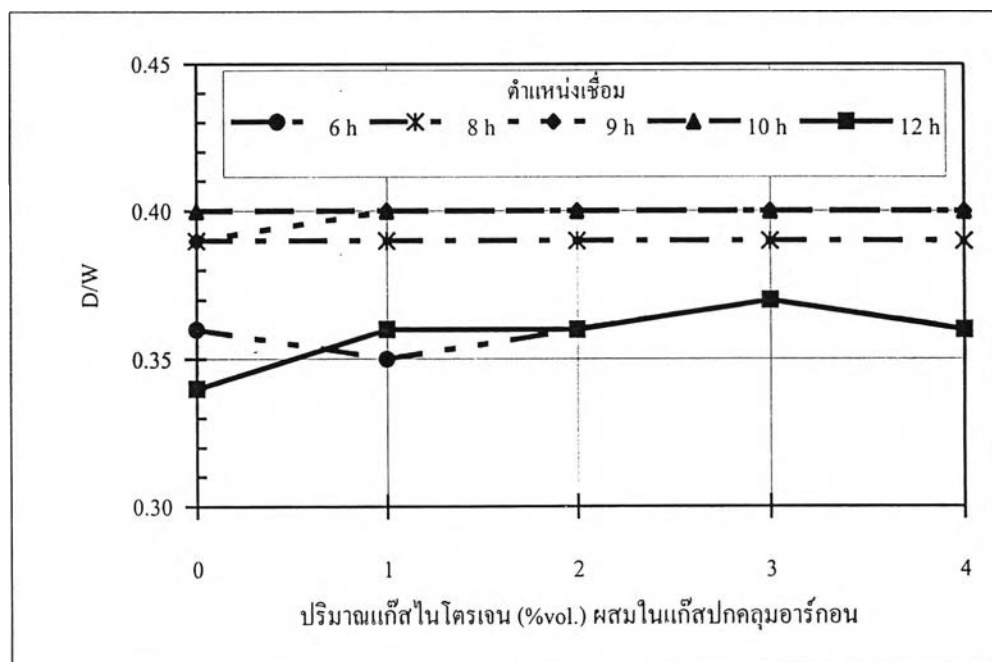
ปริมาณแก๊สไนโตรเจน (%Vol)	ตำแหน่งเชื่อม (นาฬิกา)	ลักษณะรอยเชื่อมที่เกิดขึ้น			
		D(มม.)	W(มม.)	D/W	$\Delta a_3$ (มม.)
0	6	3	8.44	0.36	0.30
1	6	3	8.55	0.35	0.34
2	6	3	8.35	0.36	0.41
3	6	3	8.21	0.37	0.51
4	6	3	8.30	0.36	0.40
0	8	3	7.71	0.39	0.40
1	8	3	7.66	0.39	0.39
2	8	3	7.64	0.39	0.38
3	8	3	7.62	0.39	0.28
4	8	3	7.65	0.39	0.32
0	9	3	7.60	0.39	0.28
1	9	3	7.56	0.40	0.29
2	9	3	7.54	0.40	0.29
3	9	3	7.49	0.40	0.31
4	9	3	7.50	0.40	0.33
0	10	3	7.56	0.40	0.18
1	10	3	7.57	0.40	0.25
2	10	3	7.55	0.40	0.22
3	10	3	7.53	0.40	0.21
4	10	3	7.51	0.40	0.26
0	12	3	8.91	0.34	-0.04
1	12	3	8.30	0.36	-0.01
2	12	3	8.28	0.36	0.01
3	12	3	8.20	0.37	0.01
4	12	3	8.27	0.36	0.01

ตารางที่ 4.11 ผลของความเร็วเชื่อม 2 ถึง 5 มม./วินาที ต่อการเกิดลักษณะรอยเชื่อม ใช้แก๊สปกคลุม อาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

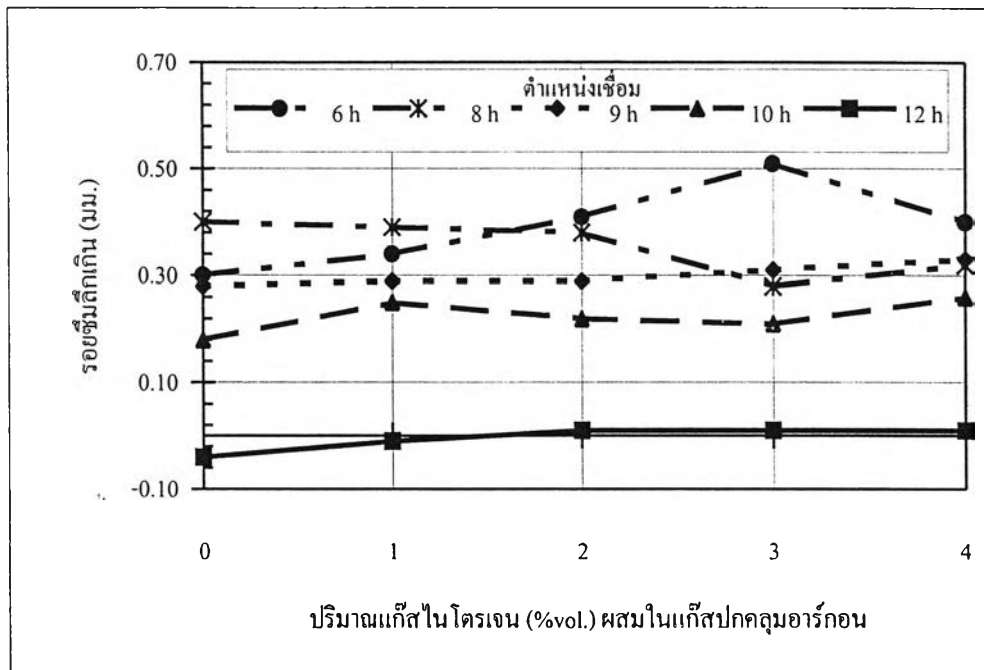
ความเร็วเชื่อม (มม./วินาที)	ตำแหน่งเชื่อม (นาฬิกา)	ลักษณะรอยเชื่อมที่เกิดขึ้น			
		D(มม.)	W(มม.)	D/W	$\Delta a_3$ (มม.)
2	6	3	9.18	0.33	0.58
3	6	3	8.38	0.36	0.48
4	6	3	8.42	0.36	0.40
5	6	3	8.05	0.37	0.39
2	8	3	8.37	0.36	0.26
3	8	3	8.03	0.37	0.35
4	8	3	7.65	0.39	0.32
5	8	3	7.31	0.41	0.43
2	9	3	8.03	0.37	0.18
3	9	3	7.82	0.38	0.28
4	9	3	7.50	0.40	0.33
5	9	3	7.42	0.40	0.34
2	10	3	8.01	0.37	0.13
3	10	3	8.24	0.36	0.16
4	10	3	7.51	0.40	0.18
5	10	3	7.48	0.40	0.25
2	12	3	9.36	0.32	-0.10
3	12	3	8.53	0.35	-0.04
4	12	3	8.27	0.36	0.03
5	12	3	8.34	0.36	0.05



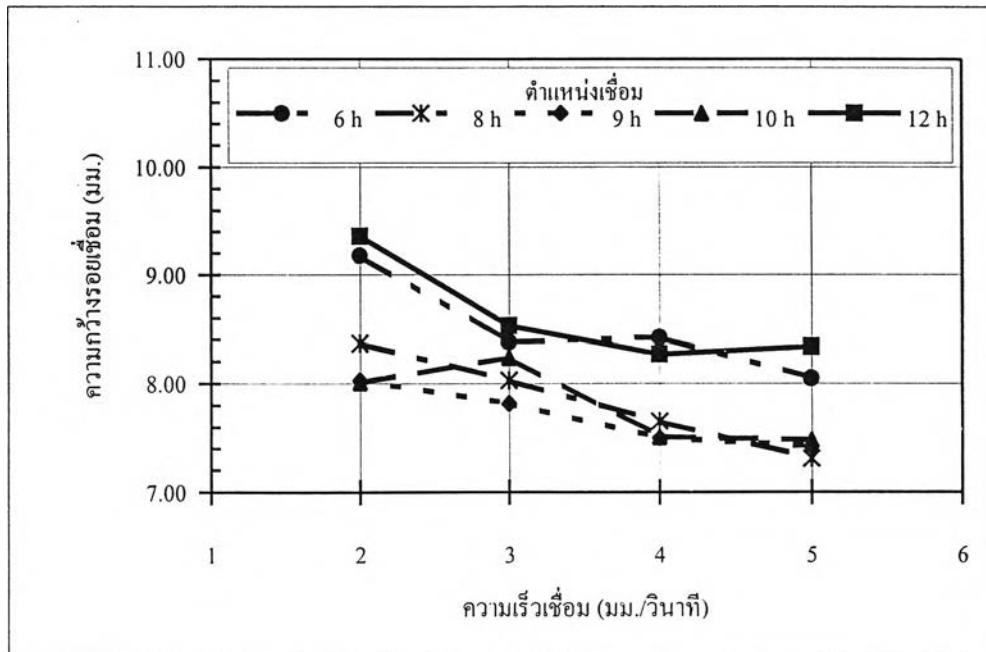
รูปที่ 4.17 ผลของปริมาณแก๊สไนโตรเจนและตำแหน่งเชื่อมของการเชื่อมทิกพัลส์ ต่อ W ของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ความเร็วเชื่อม 4 มม./วินาที



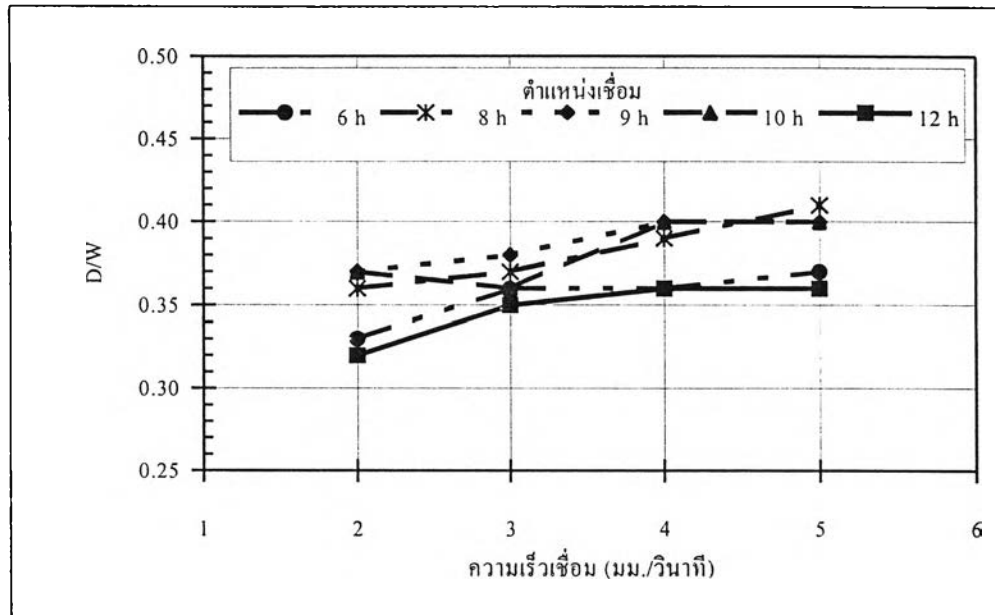
รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณแก๊สไนโตรเจน และตำแหน่งเชื่อมของการเชื่อมทิกพัลส์ ต่อ D/W ของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ความเร็วเชื่อม 4 มม./วินาที



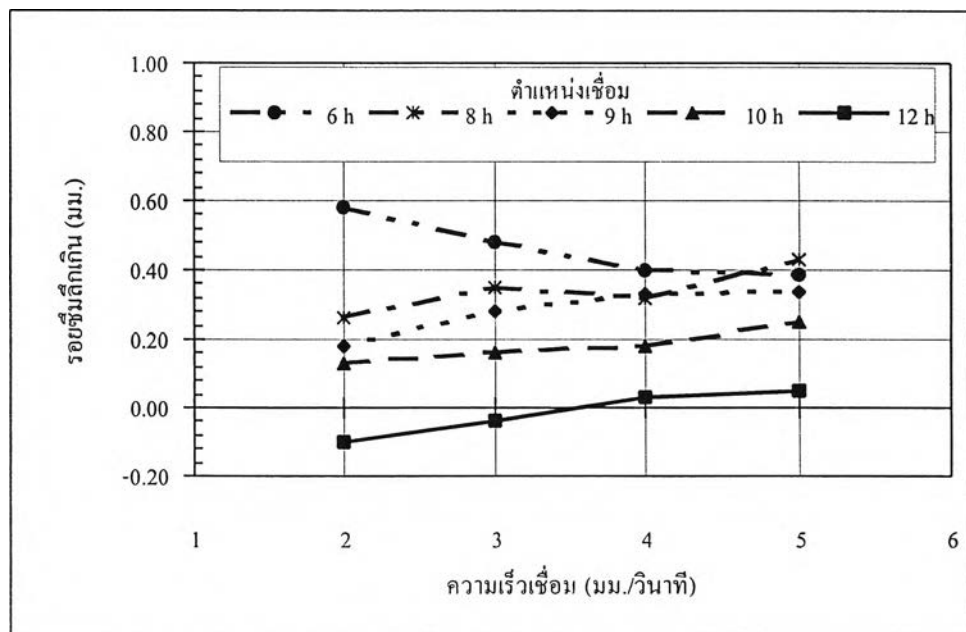
รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณแก๊สไนโตรเจน และตำแหน่งเชื่อมของการเชื่อมทิกพัลส์ ต่อค่า  $\Delta a_3$  ของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ความเร็วเชื่อม 4 มม./วินาที



รูปที่ 4.20 ผลของความเร็วเชื่อม 2 ถึง 5 มม./วินาที ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกาใช้แก๊สปกคลุม Ar+N<sub>2</sub>(4 %vol.) ต่อ  $W$  ของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L



รูปที่ 4.21 ผลของความเร็วเชื่อม 2 ถึง 5 มม./วินาที ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา ใช้แก๊สปกคลุม  $Ar+N_2(4\%vol.)$  ต่อ D/W ของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L



รูปที่ 4.22 ผลของความเร็วเชื่อม 2 ถึง 5 มม./วินาที ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา ใช้แก๊สปกคลุม  $Ar+N_2(4\%vol.)$  ต่อ  $\Delta_a$  ของรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L

#### 4.5 โครงสร้างจุลภาคเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316L

การเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะพื้น กล่าวคือโครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเกิดโครงสร้างเคลต้า-เฟอร์ไรท์ขึ้นที่อุณหภูมิสูงอยู่ในโครงสร้างออสเทนไนท์ โดยทั่วไปการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก ควรควบคุมปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ให้อยู่ในช่วง 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร<sup>(23-31)</sup> การทดลองนี้เป็นการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L โดยใช้แก๊สในโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา โดยการนำชิ้นงานทดลองที่ผ่านการเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8563 มาวิเคราะห์โดยสร้างจุลภาคที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะรอยเชื่อม พบว่าลักษณะเคลต้า-เฟอร์ไรท์ที่เกิดขึ้นในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเป็นแบบเวอร์มิคิวลา-เฟอร์ไรท์ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สในโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ผลการวัดปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 0 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยวิธี Quantitative Metallography ดังตารางที่ 4.12

จากการวิเคราะห์ปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์(เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ผ่านการเชื่อมทิกพัลส์ ตามผลการทดลองในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.23 พบว่า การเชื่อมที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกาเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์มีปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ 10.37 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ลดลงเหลือ 6.83 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตำแหน่งเชื่อม 8 นาฬิกาเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์มีปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ 9.59 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ลดลงเหลือ 6.55 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกาเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์มีปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ 9.41 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ลดลงเหลือ 6.25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ตำแหน่งเชื่อม 10 นาฬิกาเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์มีปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ 9.44 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ลดลงเหลือ 6.64 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และที่ตำแหน่งเชื่อม 12 นาฬิกาเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์มีปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ 10.08 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และเมื่อใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สในโตรเจน 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ลดลงเหลือ 6.81 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยแนวโน้มของปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งการเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา มีค่าอยู่

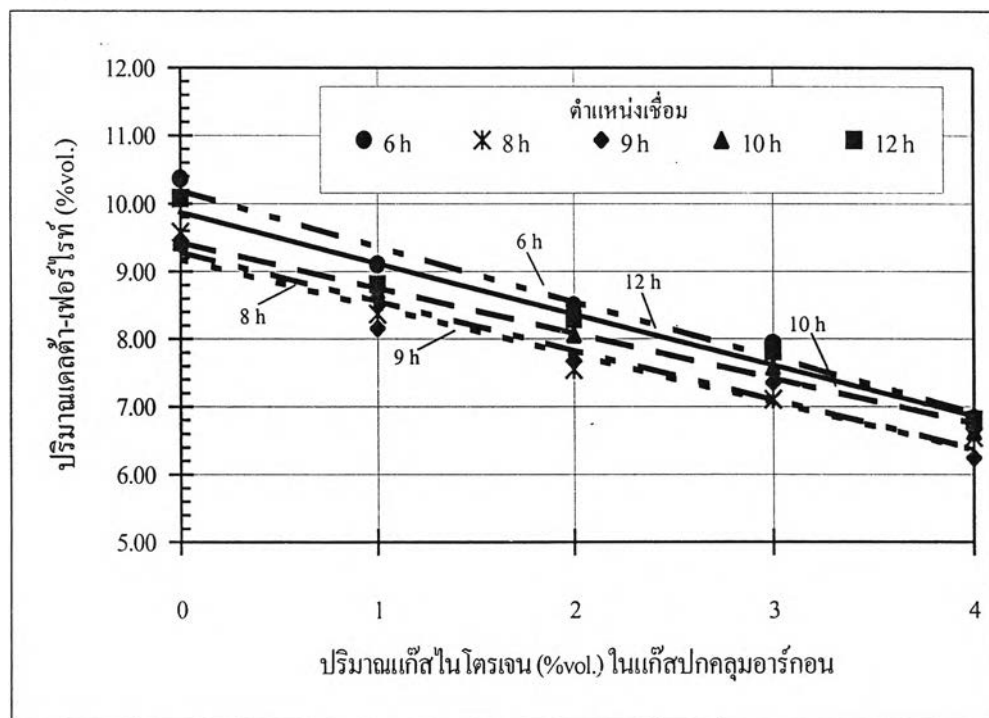
ในช่วง 6 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งที่ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกาปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์มากที่สุด และที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกาปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ต่ำสุด(ดังรูปที่ 4.23) ในการทดลองนี้วิเคราะห์ปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมในแนวตั้งฉากและแนวขนานรอยเชื่อม พบว่าปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ใน 2 ทิศทางมีค่าที่ใกล้เคียงกัน(ดังแสดงในตาราง ข.3) การเปลี่ยนแปลงปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมนั้นจะเกี่ยวข้องกับปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมโดยตรง กล่าวคือเมื่อปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ลดลง ในที่นี้จะวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก เกรด 316L โดยเลือกรอยเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 และ 9 นาฬิกา มาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนและมีความสัมพันธ์กับปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อม เนื่องจากตำแหน่งเชื่อม 2 ตำแหน่งนี้มีปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์มากที่สุดและต่ำสุดตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนผสมแก๊สไนโตรเจน 0 ถึง 4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร แสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.25 และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนกับปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก เกรด 316L ดังรูปที่ 4.26

การเพิ่มปริมาณแก๊สไนโตรเจนที่ผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนทำให้ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นผลการทดลองในรูปที่ 4.25 สอดคล้องกับการทดลองของ T.OGAWA และคณะ<sup>(3)</sup> คือเมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไนโตรเจนผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอนทำให้ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น ในการทดลองนี้เมื่อเชื่อมทิกพัลส์โดยการใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ พบว่า ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมสูงกว่าโลหะพื้น(ปริมาณไนโตรเจนของโลหะพื้นมีเท่ากับ 0.04514 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่ปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเท่ากับ 0.07000 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา และที่ตำแหน่ง 9 นาฬิกาปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเท่ากับ 0.07226 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) อาจเป็นเพราะในขณะที่เชื่อมทิกพัลส์จะมีแก๊สไนโตรเจนจากสภาพแวดล้อมถูกดูดซับเข้าไปในเนื้อโลหะรอยเชื่อมได้ การเชื่อมทิกพัลส์ที่ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกา พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมสูงกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา J.F.LANCASTER<sup>(39)</sup> กล่าวว่าในการเชื่อมทิกและมิกเมื่อใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมเพิ่มสูงขึ้นทำให้ไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมมีปริมาณลดลง ซึ่งการเชื่อมที่ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกานั้นใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมต่ำกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ดังนั้นการเชื่อมที่ตำแหน่ง 9 นาฬิกาจึงมีปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์ต่ำกว่าการเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา ดังแสดงในรูปที่ 4.25 เป็นเพราะเมื่อปริมาณไนโตรเจนในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นปริมาณเคลต้า-เฟอร์ไรท์จึงลดลง<sup>(4,5,36)</sup> ผลการทดลองในรูปที่ 4.26 สนับสนุนคำกล่าวนั้น

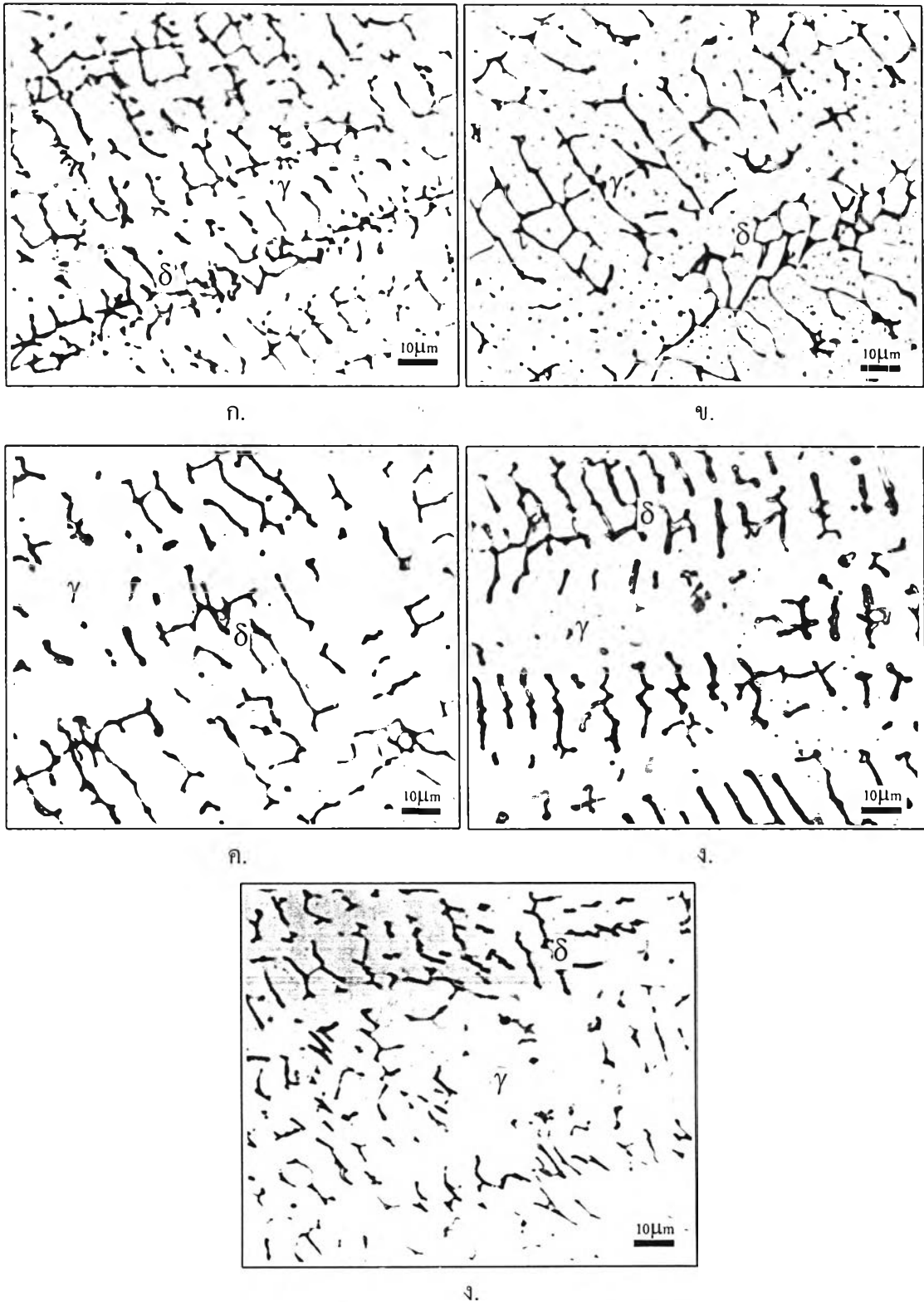


ตารางที่ 4.12 ปริมาณเคลด้า-เฟอร์ไรท์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ใช้แก๊สปกคลุม Ar+N<sub>2</sub>(0-4%vol.) V<sub>s</sub>= 4 มม./วินาที ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา

ปริมาณแก๊สไนโตรเจน (%vol.)	ปริมาณเคลด้า-เฟอร์ไรท์ (%vol.)				
	6 นาฬิกา	8 นาฬิกา	9 นาฬิกา	10 นาฬิกา	12 นาฬิกา
0	10.37	9.58	9.40	9.43	10.08
1	9.11	8.37	8.16	8.72	8.81
2	8.50	7.55	7.68	8.07	8.30
3	7.94	7.11	7.36	7.59	7.82
4	6.83	6.55	6.25	6.64	6.81



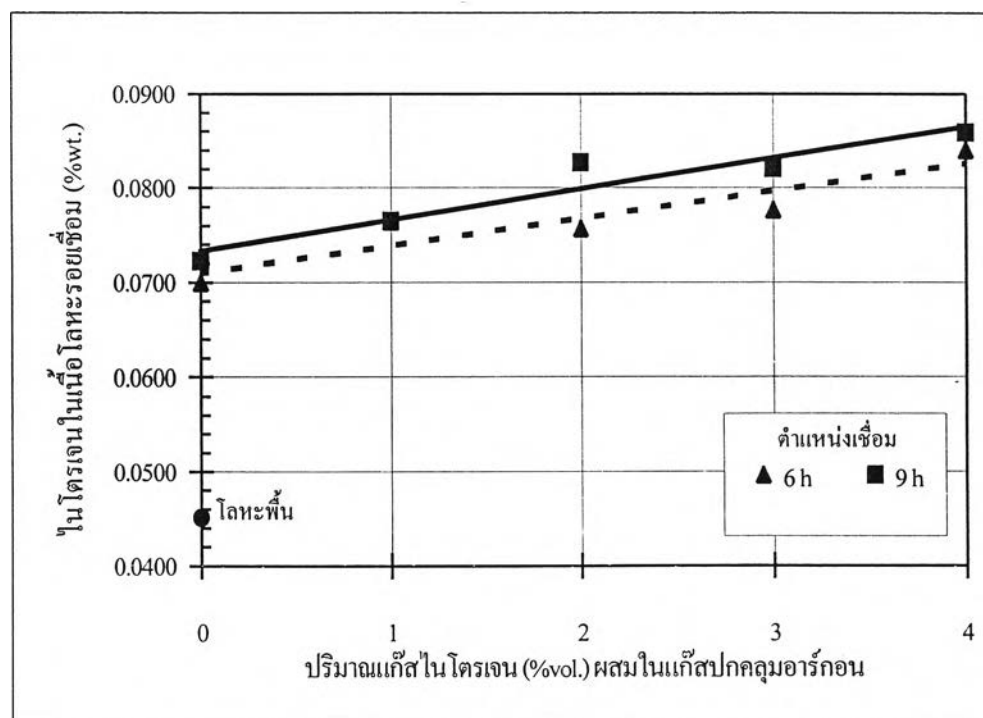
รูปที่ 4.23 ผลของปริมาณแก๊สไนโตรเจน (%vol.) ผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ต่อปริมาณเคลด้า-เฟอร์ไรท์ (%vol.) ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6, 8, 9, 10 และ 12 นาฬิกา



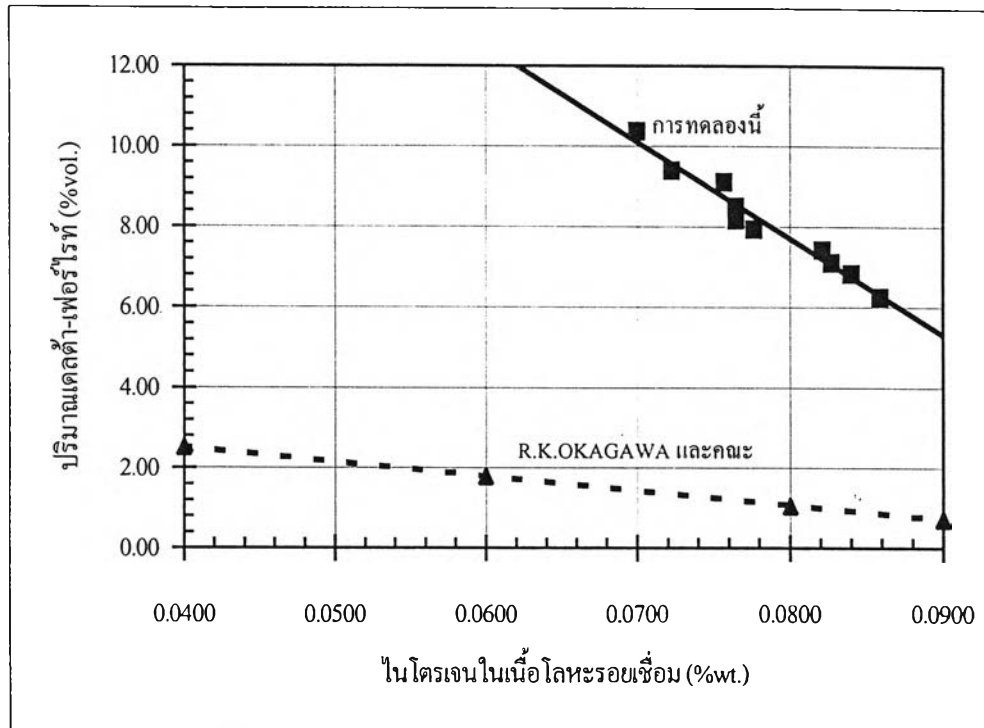
รูปที่ 4.24 โครงสร้างจุลภาคของเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา  $V_s = 4$  มม./วินาที ใช้แก๊สปกคลุม  $Ar+N_2$  (0-4 %vol.)  
 ก.  $N_2 = 0\%$  ข.  $N_2 = 1\%$  ค.  $N_2 = 2\%$  ง.  $N_2 = 3\%$  จ.  $N_2 = 4\%$  (กำลังขยาย 500 เท่า)  
 (กัดกรดด้วย  $CuCl_2 \cdot 3H_2O$  2 กรัม +  $HCl$  40 มิลลิลิตร +  $CH_3OH$  40 มิลลิลิตร เวลา 2 นาที)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณไนโตรเจน(%wt.) และปริมาณเคลดดำ-เฟอร์ไรท์(%vol.)ในเนื้อโลหะรอยเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ผ่านมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS ใช้ แก๊สปกคลุม Ar+N<sub>2</sub>(0-4%vol.) ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 และ 9 นาฬิกา

ปริมาณแก๊สไนโตรเจน (%vol.)	ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา		ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกา	
	ไนโตรเจน(%wt.)	เคลดดำ-เฟอร์ไรท์(%vol.)	ไนโตรเจน(%wt.)	เคลดดำ-เฟอร์ไรท์(%vol.)
0	0.07000	10.37	0.07226	9.40
1	0.07649	9.11	0.07652	8.16
2	0.07572	8.50	0.08273	7.68
3	0.07768	7.94	0.08213	7.36
4	0.08403	6.83	0.08591	6.25



รูปที่ 4.25 ผลของปริมาณไนโตรเจน (%vol.) ผสมในแก๊สปกคลุมอาร์กอน ต่อปริมาณไนโตรเจน (%wt.) ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 และ 9 นาฬิกา

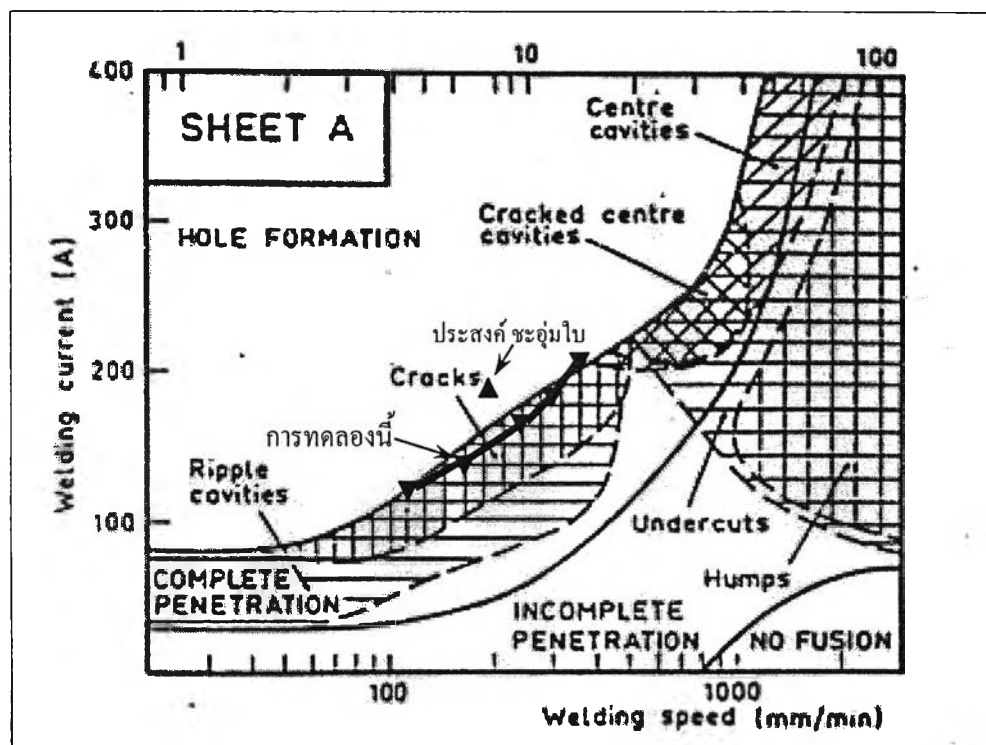


รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจน (%wt.) และปริมาณแคลตา-เฟอร์ไรต์ (%vol.) ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ตำแหน่งเชื่อม 6 และ 9 นาฬิกา

จากการทดลองพบว่า ปริมาณแคลตา-เฟอร์ไรต์ที่ตำแหน่งเชื่อม 9 นาฬิกา มีปริมาณน้อยกว่าที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเชื่อมที่ตำแหน่ง 9 นาฬิกาใช้กระแสไฟฟ้าพัลส์ต่ำกว่าที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา ทำให้เนื้อโลหะรอยเชื่อมมีปริมาณไนโตรเจนมากขึ้นและปริมาณแคลตา-เฟอร์ไรต์ลดลง ในการทดลองนี้ได้ความสัมพันธ์ของปริมาณไนโตรเจน และปริมาณแคลตา-เฟอร์ไรต์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ดังแสดงในรูปที่ 4.26 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับ R.K.OKAGAWA และคณะ<sup>(4)</sup> ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304L ด้วยการเชื่อมทิก พบว่าผลการทดลองในที่นี้มีปริมาณแคลตา-เฟอร์ไรต์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมสูงกว่า เพราะว่า เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L มีโมลิบดีนัมมากกว่า เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 304L เนื่องจากโมลิบดีนัมทำให้เกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์ได้มากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากการทำนายปริมาณแคลตา-เฟอร์ไรต์ที่เกิดในเนื้อโลหะรอยเชื่อมโดยใช้แผนภูมิเดอลอง พบว่า ในการทดลองครั้งนี้ควรมีปริมาณแคลตา-เฟอร์ไรต์ในเนื้อโลหะรอยเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316L ประมาณ 2.6 ถึง 6.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

#### 4.6 เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลงานที่มีการตีพิมพ์

นำผลการทดลอง ของตัวแปรการเชื่อมทิกพัลส์ที่ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ ที่ให้รอยเชื่อมตามมาตรฐาน DIN 8563ระดับBS มาเปรียบกับผลการทดลองของ V.P.KUJANPAA<sup>(12)</sup> ซึ่งเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316 หนา 2 มิลลิเมตร เชื่อมแบบทิก ใช้แก๊สปกคลุมอาร์กอนบริสุทธิ์ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าเชื่อม และความเร็วเชื่อม ที่ให้รอยเชื่อมซึมลึกสมบูรณ์ตามมาตรฐานมีค่าอยู่ในช่วงแคบๆ เมื่อเพิ่มความเร็วเชื่อมและกระแสไฟฟ้าเชื่อมสูงขึ้น ส่งผลต่อการเกิดรอยบกพร่องเพิ่มมากขึ้นด้วย แสดงในแผนภูมิรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบผลการทดลองตัวแปรการเชื่อมทิกพัลส์เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316 L ตำแหน่งเชื่อม 6 นาฬิกา กับผลงานของ V.P.KUJANPAA<sup>(12)</sup>

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลงานของ V.P.KUJANPAA<sup>(12)</sup> ในรูปที่ 4.27 ในที่นี้เอาผลการทดลองเชื่อมที่ตำแหน่ง 6 นาฬิกา เป็นตัวแทนมาพล็อตลงรูป พบว่าจุดนั้นจะอยู่ในบริเวณการเกิดรอยแตกร้าว แต่เมื่อนำชิ้นงานนี้มาวิเคราะห์หารอยบกพร่องในเนื้อโลหะรอยเชื่อมด้วยการฉายรังสีเอ็กซ์(ภาคผนวก ง.) พบว่า ไม่มีรอยแตกร้าวเกิดขึ้นในเนื้อโลหะรอยเชื่อม อาจเป็นเพราะว่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด 316Lมีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

เกรด 316 โอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวขณะร้อนจึงมีน้อยกว่า (J.F.LANCASTER<sup>(39)</sup>) นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารเจือปนที่เป็นสาเหตุของการเกิดแตกร้าวขณะร้อน พบว่า เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนิติก เกรด 316L ที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณซัลเฟอร์ เท่ากับ 0.004 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.024 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่การทดลองของ V.P.KUJANPAA<sup>(12)</sup> เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนิติก เกรด 316 ซึ่งมีปริมาณซัลเฟอร์ เท่ากับ 0.015 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 0.034 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนิติกที่มีปริมาณซัลเฟอร์และฟอสฟอรัสต่ำจะช่วยลดการเกิดแตกร้าวขณะร้อน<sup>(9-11)</sup> และการทดลองในที่นี้เชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเตนิติกที่มีความหนามากกว่า จึงจำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมสูงกว่าด้วยโดยรอยเชื่อมยังคงไม่มีข้อบกพร่อง