บทที่ 3
ผลการทดลอง

ผลการทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นผลของรูปภาพของการทดลองในกรณีต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ต ส่วนที่สองเป็นลำดับของรูปภาพเจ็ตแสดงลักษณะการไหลที่ขณะเวลาต่างๆของเจ็ตในช่วงระยะเวลาของการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ และส่วนที่สามเป็นผลการศึกษาคุณลักษณะตามแนวการไหลของเจ็ต ซึ่งประกอบด้วยการพัฒนาตัวของเจ็ตตามแนวการไหล อัตราการลดลงของปริมาณของแสงที่ถูกดูดซับในแนวแกนที่ตำแหน่งต่างๆตามแนวการไหล และการเปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีต่างๆ เพื่อศึกษาผลของความถี่และ Duty cycle ของการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการทดลองแสดงรูปภาพเจ็ต

สำหรับการทำกระบวนการทางภาพ (Image Processing) เป็นการนำรูปภาพมาผ่านกระบวนการในการดึงสัญญาณของเจ็ต ซึ่งคือค่าระดับความเข้มแสงของสีเขียว ในการทดลองได้แสดงผลรูปภาพของเจ็ตใน 2 ลักษณะคือ รูปภาพเฉลี่ย และรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐาน โดยรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ตสามารถอธิบายความหมายได้ในเชิงของการผสมและในเชิงของการดูดซับแสง คือ 1) ในเชิงของการผสมจะแสดงถึงส่วนของเจ็ตที่เกิดจากการเฉลี่ยในช่วงเวลาของบริเวณที่ยังมีส่วนผสมโดยมวลไม่ถึงตามอัตราส่วนผสมโดยมวล (Stoichiometric ratio, *SR*) 2)ในเชิงของการดูดซับแสงจะแสดงถึงค่า $\overline{\varepsilon\varepsilon}$ ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว รูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตสามารถอธิบายความหมายได้ในเชิงของการผสมและในเชิงของการดูดซับแสงเช่นกัน คือ 1) ในเชิงของการผสมจะแสดงถึงบริเวณที่มีความไม่คงตัวเชิงอัตราส่วนการผสมโดยมวลรอบค่าอัตราส่วนการผสมโดยมวล (*SR*) เท่ากับ 1 สูง ซึ่งจะแสดงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลภายนอก รอบค่าอัตราส่วนการผสมโดยมวลสูง 2) ในเชิงของการดูดซับแสงจะแสดงถึงค่า $\sigma_{(\varepsilon)}$ ซึ่งคือค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานในส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียวมาก ทำให้มีค่าของระดับความเข้มแสงแกว่งไม่คงที่ (fluctuation) และเป็นบริเวณที่มีสภาวะไม่คงตัว (Unsteady) ในการไหล

3.1.1 ผลการทดลองแสดงรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ต

ผลการทดลองในส่วนนี้แสดงในรูปที่ 3.1-3.7 ลักษณะของรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐาน โดยเป็นภาพที่นำมาแสดงเฉพาะสัญญาณของสีเขียว เนื่องจากในการทดลองเจ็ตมีสีชมพูแดง ซึ่งในการเห็นสีชมพูแดงของเจ็ตเกิดจากการดูดซับของสีเขียว

ในรูปที่ 3.1 แสดงรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) พบว่าลักษณะรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ตที่แสดงถึงส่วนของเจ็ตที่ยังมีอัตราส่วนผสมไม่ถึงอัตราส่วนผสมโดยมวล ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว ในรูปจะเห็นส่วนของเจ็ตเป็นสีขาวสว่างและส่วนของฉากด้านหลังเห็นเป็นสีดำ ในส่วนของเจ็ตบริเวณใกล้ปากเจ็ตมีสีขาวมากจะมีการดูดซับแสงสีเขียวมาก เนื่องจากบริเวณใกล้ปากเจ็ตเป็นส่วนของ Potential core ที่มีความเร็วสม่ำเสมอและยังไม่เกิดการผสม แต่เมื่อระยะห่างจากปากเจ็ตมากขึ้นเจ็ตจะมีระดับความเข้มของสีลดลงและจางหายไปที่บริเวณส่วนท้ายของรูปภาพ โดยบริเวณรอบๆ Potential core จะมีระดับความเข้มของสีน้อยกว่าบริเวณด้านใน เนื่องจากบริเวณรอบ Potential core จะมีโครงสร้าง Shear layer ซึ่งบริเวณนี้มีความแตกต่างระหว่างความเร็วของเจ็ตและความเร็วของกระแสการไหลรอบข้าง เมื่อบริเวณของ Shear layer มีการพัฒนาตัวตามแนวการไหล ทำให้เจ็ตมีการดึงเอากระแสการไหลรอบนอกเข้ามาผสม สีของเจ็ตค่อยๆจางลง และเมื่ออัตราส่วนการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลรอบข้างเท่ากับอัตราส่วนผสมโดยมวล (*SR*) สีของเจ็ตจะจางหายไปในที่สุด ส่วนผลของรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตแสดงถึงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลโดยรอบ ซึ่งคือส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกันคือในส่วนของ Potential core ของเจ็ตจะมืด เนื่องจากเป็นส่วนของเจ็ตซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มแสงที่ดูดซับต่ำ และมีลักษณะของความเร็วที่สม่ำเสมอ แต่เมื่อระยะห่างจากปากเจ็ตมากขึ้นส่วนของ Potential core จะแคบลงและสลายตัวไปในที่สุด นอกจากนี้ยังพบส่วนที่มีความไม่คงที่ของการดูดซับความเข้มแสงในการไหลอยู่บริเวณโดยรอบทั้งสองของส่วน Potential core ซึ่งเป็นส่วนของบริเวณ Shear Layer อยู่ที่บริเวณโดยรอบด้านข้างของ Potential core เนื่องจากบริเวณนี้มีความไม่ต่อเนื่องของความเร็วระหว่างความเร็วเจ็ตและกระแสการไหลโดยรอบ และยังพบส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับความเข้มแสงในการดูดซับสูงอยู่ที่บริเวณปลายของ Potential core ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความไม่คงที่ (Unsteady)ในการไหลสูง

รูปที่ 3.2 แสดงรูปภาพเจ็ตเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิแบบสม่ำเสมอ (Steady Secondary Jet, SSJ) จากรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ตแสดงถึงส่วนของเจ็ตที่ยังมีอัตราส่วนผสมไม่ถึงอัตราส่วนผสมโดยมวล ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว พบว่าลักษณะของเจ็ตแตกต่างออกไปจากกรณี SJ0 อย่างชัดเจนคือ เจ็ตที่ออกมาจากแยกออกเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่งจะเฉียงขึ้นด้านบน ส่วนที่สองจะเฉียงลงด้านล่าง และส่วนของเจ็ตบริเวณใกล้ปากเจ็ตจะมีความเข้มของสีมาก เมื่อระยะห่างจากปากเจ็ตออกไปเจ็ตจะมีความเข้มลดลงและจางหายไป แต่พบว่าระยะในการผสม (Flame length) สั้นกว่ากรณี SJ0 ส่วนผลของรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตแสดงถึงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลโดยรอบ ซึ่งคือส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับ

แสงสีเขียว พบว่าเห็นผลของการฉีดเจ็ตทุติยภูมิแบบสม่ำเสมอทำให้เจ็ตแบ่งออกเป็นสองส่วน เหมือนกับรูปภาพเฉลี่ย และยังพบว่าส่วนของ Potential core ของเจ็ตมีลักษณะแบ่งออกเป็นสองส่วนเช่นกัน โดยเจ็ตทั้งสองส่วนมีบริเวณที่มีความไม่คงที่ (Unsteady) ของการดูดซับสีเจ็ตในการไหลอยู่ที่บริเวณโดยรอบ และส่วนปลายของ Potential core ซึ่งจะเห็นได้ว่าในรูปเป็นส่วนที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียวมาก

รูปที่ 3.3 แสดงรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 1 *Hz* และค่า Duty cycle 25, 50 และ 75 % (SJ1H25D, SJ1H50D, SJ1H75D) เปรียบเทียบกับกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) จากรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ต แสดงถึงส่วนของเจ็ตที่ยังมีอัตราส่วนผสมไม่ถึงอัตราส่วนผสมโดยมวล ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว พบว่าทุกกรณีเจ็ตมีลักษณะคล้ายกันคือ เจ็ตที่ออกมามีส่วนเดียว โดยบริเวณใกล้ปากเจ็ตมีความเข้มของสีมาก และเมื่อระยะห่างจากปากเจ็ตออกไปเจ็ตจะมีความเข้มลดลงและจางหายไป แต่มีระยะในการผสมไม่เท่ากัน โดยกรณี SJ1H75D มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีอื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานแสดงถึงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลโดยรอบ ซึ่งคือส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียว พบว่าผลของการฉีดเจ็ตทุติยภูมิทำให้โครงสร้าง Potential core ของเจ็ตเปลี่ยนแปลงไปจากกรณี SJ0 และเมื่อพิจารณาถึงรูปร่างเจ็ตจะเห็นว่ากรณี SJ1H25D มีรูปร่างของเจ็ตของบริเวณที่มีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงแตกต่างไปจากกรณีอื่นๆ คือกรณี SJ1H25D เจ็ตมีรูปร่างความไม่คงที่ของค่าระดับความเข้มแสงในการดูดซับที่ไม่สมมาตรและด้านบนของเจ็ตมีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงมาก ส่วนกรณี SJ1H50D และ SJ1H75D มีรูปร่างคล้ายกับกรณี SJ0 แต่เจ็ตมีความยาวสั้นกว่า และบริเวณส่วนปลายของ Potential core มีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงสูง เมื่อเปรียบเทียบผลของค่า Duty Cycle ในการฉีดเจ็ตที่ความถี่ 1 *Hz* พบว่าที่ Duty cycle 25 และ 50 % มีระยะในการผสมใกล้เคียงกัน แต่ที่ Duty cycle 75 % มีระยะในการผสม (Flame length) สั้นกว่าแสดงว่าเจ็ตมีการผสมที่ดีกว่า

รูปที่ 3.4 แสดงรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 5 *Hz* และค่า Duty cycle 25, 50 และ 75 % (SJ5H25D, SJ5H50D, SJ5H75D) เปรียบเทียบกับกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) จากรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ตแสดงถึงส่วนของเจ็ตที่ยังมีอัตราส่วนผสมไม่ถึงอัตราส่วนผสมโดยมวล ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว พบว่าทุกกรณีเจ็ตมีลักษณะคล้ายกันคือ เจ็ตมีลักษณะเป็นส่วนเดียว โดยบริเวณใกล้ปากเจ็ตมีความเข้มของสีมาก และเมื่อระยะห่างจากปากเจ็ตออกไปเจ็ตจะมีความเข้มลดลงและจางหายไป แต่ระยะในการผสมไม่เท่ากัน โดยกรณี SJ5H25D มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีอื่นๆ และเมื่อพิจารณาจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานแสดงถึงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลโดยรอบ ซึ่งคือ

ส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ากรณี SJ5H25D มีรูปร่างของส่วนที่มีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในการไหลแตกต่างไปจากกรณีอื่นๆ คือมีรูปร่างที่ไม่สมมาตร และบริเวณด้านบนมีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงสูง ส่วนกรณี SJ5H50D และ SJ5H75D มีรูปร่างคล้ายกับกรณี SJ0 แต่เจ็ตมีระยะในการผสมสั้นกว่า และส่วนปลายของ Potential core มีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงสูง เมื่อเปรียบเทียบผลของค่า Duty Cycle ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ความถี่ 5 *Hz* พบว่ามีผลที่ต่างไปจากที่ความถี่ 1 *Hz* เนื่องจากเมื่อฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle 75 % มีระยะในการผสม (Flame length) ยาวกว่าเมื่อฉีดเจ็ตที่ Duty cycle 25 และ 50 %

รูปที่ 3.5 แสดงรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 25 % ค่าความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H25D, SJ5H25D) เปรียบเทียบกับกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) จากรูปภาพเฉลี่ยเจ็ตแสดงถึงส่วนของเจ็ตที่ยังมีอัตราส่วนผสมไม่ถึงอัตราส่วนผสมโดยมวล ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ารูปร่างของเจ็ตมีลักษณะคล้ายกัน แต่กรณีที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ1H25D, SJ5H25D) มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) โดยที่กรณี SJ5H25D มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีอื่นๆ แต่จากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตแสดงถึงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลโดยรอบ ซึ่งคือส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ากรณี SJ1H25D และ SJ5H25D เจ็ตมีรูปร่างของส่วนที่มีความไม่คงที่ของการดูดซับค่าระดับความเข้มแสงในการไหลแตกต่างจากกรณี SJ0 เมื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ ที่ค่า Duty cycle 25% พบว่าการเพิ่มค่าความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ มีผลทำให้ระยะในการผสม (Flame length) ของเจ็ตสั้นลง

รูปที่ 3.6 แสดงรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 50 % ค่าความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H50D, SJ5H50D) เปรียบเทียบกับกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) จากรูปภาพเฉลี่ยเจ็ตแสดงถึงส่วนของเจ็ตที่ยังมีอัตราส่วนผสมไม่ถึงอัตราส่วนผสมโดยมวล ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ารูปร่างของเจ็ตมีลักษณะคล้ายกัน แต่กรณีที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ1H50D, SJ5H50D) มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) โดยที่กรณี SJ5H50D มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีอื่นๆ และจากรูปภาพเฉลี่ยแบบเบี่ยงเบนของเจ็ตแสดงถึงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลโดยรอบ ซึ่งคือส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ากรณี SJ1H50D และ SJ5H50D เจ็ตมีรูปร่างของส่วนที่มีความไม่คงที่ของการดูดซับค่าระดับความเข้มแสงในการไหลคล้ายกับกรณี SJ0 แต่มีระยะในการผสมสั้นกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ ที่ค่า Duty cycle 50 % พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับที่ค่า Duty cycle 25 % คือเมื่อค่าความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความยาวในการผสม (Flame length) ของเจ็ตสั้นลง

รูปที่ 3.7 แสดงรูปภาพเฉลี่ยและรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 75 % ค่าความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H75D, SJ5H75D) เปรียบเทียบกับกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) จากรูปภาพเฉลี่ยเจ็ตแสดงถึงส่วนของเจ็ตที่ยังมีอัตราส่วนผสมไม่ถึงอัตราส่วนผสมโดยมวล ซึ่งคือค่าเฉลี่ยในส่วนของเจ็ตที่มีการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ารูปร่างของเจ็ตมีลักษณะคล้ายกัน แต่กรณีที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ1H75D, SJ5H75D) มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) โดยที่กรณี SJ1H75D มีระยะในการผสมสั้นกว่ากรณีอื่นๆ และจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตแสดงถึงบริเวณที่มีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของการผสมระหว่างเจ็ตกับกระแสการไหลโดยรอบ ซึ่งคือส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ในการดูดซับแสงสีเขียว พบว่ากรณี SJ1H75D และ SJ5H75D เจ็ตมีรูปร่างของส่วนที่มีความไม่คงที่ของค่าระดับความเข้มแสงในการไหลคล้ายกับกรณี SJ0 แต่มีระยะในการผสมสั้นกว่าและมีส่วนของเจ็ตที่มีความไม่คงที่ของค่าระดับความเข้มแสงสูง เมื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ ที่ค่า Duty cycle 75 % พบว่ามีผลที่แตกต่างไปจากที่ค่า Duty cycle 25 และ 50 % คือเมื่อค่าความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิเพิ่มขึ้น ระยะในการผสม (Flame length) ของเจ็ตกลับเพิ่มขึ้น

3.2 ผลการทดลองแสดงลำดับของรูปภาพเจ็ต

สำหรับผลการทดลองในส่วนนี้แสดงในรูปที่ 3.8-3.15 โดยรูปที่ 3.8 แสดงลำดับของรูปภาพเจ็ตที่เวลาขณะใดๆ ของกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) พบว่าลำดับของรูปภาพเจ็ตที่เวลาขณะใดๆ มีลักษณะรูปร่างที่คล้ายกันในส่วนของบริเวณใกล้ปากเจ็ต ซึ่งเป็นส่วนของ Potential core ของเจ็ต แต่มีลักษณะที่แตกต่างกันในส่วนบริเวณปลายของเจ็ต เนื่องจากบริเวณส่วนปลายของเจ็ตเป็นส่วนที่มีความไม่คงที่ของค่าระดับความเข้มแสงในการไหลสูง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ต

รูปที่ 3.9 แสดงลำดับของรูปภาพเจ็ตที่เวลาขณะใดๆ ของกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิแบบสม่ำเสมอ (SSJ) พบว่าเจ็ตมีลักษณะแตกต่างไปจากกรณี SJ0 อย่างชัดเจน คือการฉีดเจ็ตทุติยภูมิมีผลทำให้รูปร่างของเจ็ตปฐมภูมิแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเฉียงขึ้นไปทางด้านบนและส่วนที่สองเฉียงลงมาทางด้านล่าง และลักษณะรูปร่างของเจ็ตที่ขณะเวลาใดๆ มีรูปร่างคล้ายกัน แต่มีส่วนที่แตกต่างกันบริเวณส่วนปลายของเจ็ตทั้งส่วนบนและส่วนล่าง จะมีความไม่คงที่ของการไหลเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีความไม่คงที่ของค่าระดับความเข้มแสงในการไหลสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ต

รูปที่ 3.10-3.12 แสดงลำดับของรูปภาพเจ็ตที่เวลาขณะใดๆ ในช่วงเวลาการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ 1 พัลส์ของกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ความถี่ 1 *Hz* และค่า Duty cycle 25, 50 และ

75% ตามลำดับ พบว่าการฉีดเจ็ตกรณี SJ1H25D นั้น รูปร่างของเจ็ตในช่วงเวลาใดๆ ของการฉีดเจ็ต มีลักษณะที่แตกต่างกัน คือที่เวลา 0.20 วินาทีของการฉีดเจ็ตทุติยภูมิแบบพัลส์เจ็ตมีลักษณะที่สั้น และที่ 0.40 วินาที เจ็ตมีความยาวมากขึ้นและ ส่วนปลายมีขนาดใหญ่เบนขึ้นไปทางด้านบน ที่ 0.60 วินาที เจ็ตมีความยาวมากขึ้นและบริเวณส่วนปลายเบนขึ้นไปทางด้านบน และที่ 0.80 และ 1.00 วินาที เจ็ตมีความยาวมากขึ้น แต่บริเวณส่วนปลายของเจ็ตอยู่ในแนวระดับ แต่สำหรับกรณี SJ1H50D และ SJ1H75D รูปร่างของเจ็ตในช่วงระยะเวลาใดๆ จะมีลักษณะของรูปร่างโดยรวมของเจ็ตที่คล้ายๆ กัน มีส่วนที่แตกต่างกันเฉพาะบริเวณส่วนปลายของเจ็ต ซึ่งเป็นส่วนที่มีระดับความไม่คงที่ในการไหลสูง

รูปที่ 3.13-3.15 แสดงลำดับของรูปภาพเจ็ตที่เวลาขณะใดๆ ในช่วงเวลาการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ 1 พัลส์ของกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ความถี่ 5 *Hz* และค่า Duty cycle 25, 50 และ 75% ตามลำดับ พบผลเช่นเดียวกับที่ความถี่ 1 *Hz* คือการฉีดเจ็ตที่ 25 % Duty cycle กรณี SJ5H25D นั้นมีลักษณะของรูปร่างของเจ็ตในช่วงเวลาใดๆ ของการฉีดเจ็ตมีลักษณะแตกต่างกัน แต่สำหรับกรณี SJ5H50D และ SJ5H75D รูปร่างของเจ็ตในช่วงระยะเวลาใดๆ จะมีลักษณะของรูปร่างโดยรวมของเจ็ตที่คล้ายๆ กัน มีส่วนที่แตกต่างกันเฉพาะบริเวณส่วนปลายของเจ็ต ซึ่งเป็นส่วนที่มีระดับความไม่คงที่ในการไหลสูง

จากการเปรียบเทียบลักษณะรูปร่างของเจ็ตที่ช่วงเวลาใดๆ ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ พบว่าผลการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 25 % มีผลต่อลักษณะการไหลรูปร่างของเจ็ต คือเจ็ตมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปในช่วงระยะเวลาที่ฉีดเจ็ตทุติยภูมิ เนื่องจากผลของค่า r_{eff} ของการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle 25 % มีค่าสูงทำให้เจ็ตมีค่าโมเมนตัมสูงเมื่อฉีดพุ่งเข้าไปขวางในเจ็ตปฐมภูมิซึ่งพบว่ามีลักษณะเช่นนี้เหมือนกันที่ทั้งสองค่าความถี่ 1 *Hz* และ 5 *Hz*

3.3 ผลศึกษาคุณลักษณะตามแนวการไหลของเจ็ต

ผลการทดลองในส่วนนี้จะแสดงผลของ การพัฒนาตัวของเจ็ตที่ตำแหน่งต่างๆ ตามแนวการไหล อัตราการลดลงของค่าระดับความเข้มแสงในแนวแกนที่ตำแหน่งต่างๆ และการเปรียบเทียบผลการทดลองที่หน้าตัดต่างๆ เพื่อดูผลของความถี่และ Duty cycle ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิแบบพัลส์

3.3.1 ผลการศึกษาการพัฒนาตัวของเจ็ต

สำหรับผลของการพัฒนาตัวของเจ็ต แสดงไว้ในรูปที่ 3.16 โดยใช้ค่าสัดส่วนการดูดซับแสงในรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ตที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ10 ตามแนวการไหล สำหรับกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่ไม่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ (SJ0) พบว่าลักษณะของค่าระดับความเข้มของแสงใน

ส่วนของเจ็ต ซึ่งอยู่ในแนวระดับบริเวณส่วนกลางของรูปภาพ มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำส่วนที่ไม่มีเจ็ตเป็นส่วนของฉากด้านหลังซึ่งอยู่บริเวณส่วนบนและส่วนล่างของภาพจะมีค่าการดูดซับแสงที่สม่ำเสมอ และเจ็ตมีค่าการดูดซับแสงสูงสุดอยู่ในแนวระดับของบริเวณกึ่งกลางปากเจ็ต (ส่วนยอดของรูประฆังคว่ำ) นอกจากนี้ยังพบว่าการดูดซับแสงและค่าการดูดซับแสงสูงสุดของเจ็ตจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากปากเจ็ตมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของความเข้มของแสงที่แสดงถึงส่วนที่ยังไม่ผสมของเจ็ตมีค่าลดลง คือเมื่อเจ็ตมีการพัฒนาตัวไปตามแนวการไหลนั้น เจ็ตจะดึงเอากระแสการไหลรอบนอกเข้ามาผสมทำให้การดูดซับแสงของสีส่วนที่ยังไม่ผสมมีค่าลดลง

สำหรับกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิแบบสม่ำเสมอ (SSJ) พบว่าลักษณะรูปร่างของค่าการดูดซับแสงสีเขียวของเจ็ตในแนวตามขวางของทิศทางการไหลแตกต่างไปจากกรณี SJ0 อย่างชัดเจนคือ เจ็ตมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำสองอันซ้อนกัน โดยมีแนวกึ่งกลางของเจ็ตเป็นส่วนแบ่งระหว่างระฆังคว่ำทั้งสอง ซึ่งเป็นส่วนของเจ็ตที่มีลักษณะแยกออกเป็นสองส่วนในรูปภาพเฉลี่ย ทำให้เจ็ตมีส่วนที่มีการดูดซับแสงสูงอยู่ที่สองบริเวณคือบริเวณส่วนยอดของรูประฆังคว่ำทั้งสอง นอกจากนี้ยังพบว่าเจ็ตมีลักษณะกระจายตัวกว้างออกในทิศทางตามขวางของการไหล และพบว่าที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 6, 8 และ 10 ไม่มีส่วนของเจ็ต เนื่องจากการดูดซับของแสงในแนวตามขวางของทิศทางการไหลมีค่าความไม่คงที่ของการดูดซับแสงสม่ำเสมอตลอดแนวซึ่งมีค่าเท่ากับการดูดซับแสงของส่วนที่เป็นฉากหลังของรูปภาพ

กรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ความถี่ 1 และ 5 *Hz* ที่ค่า Duty cycle 25, 50 และ 75 % (SJ1H25D, SJ1H50D, SJ1H75D, SJ5H25D, SJ5H50D, SJ5H75D) พบว่ารูปร่างลักษณะของเจ็ตจะคล้ายกับกรณี SJ0 คือส่วนของเจ็ตมีค่าการดูดซับแสงเป็นรูประฆังคว่ำและมีส่วนที่มีการดูดซับแสงสูงสุดอยู่ในแนวระดับบริเวณกึ่งกลางปากเจ็ต ซึ่งเป็นบริเวณส่วนยอดของรูประฆังคว่ำ นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าค่าของการดูดซับแสงและค่าการดูดซับแสงสูงสุดของเจ็ตจะมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากปากเจ็ตมากขึ้น

รูปที่ 3.17 แสดงผลความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงของเจ็ตตามแนวการไหลจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานในกรณีต่างๆ จากรูปเมื่อพิจารณาค่าโดยรวมทุกตำแหน่งของการไหลพบว่ากรณี SJ1H25D มีค่าความไม่คงที่ของการดูดซับแสง ตามแนวการไหลสูงกว่ากรณีอื่นๆ และกรณี SJ5H25D มีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงที่รองลงมา ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองในส่วนลำดับของรูปภาพเจ็ตในช่วงเวลาใด ๆ ซึ่งทั้งสองกรณีนี้มีลักษณะรูปร่างเจ็ตเปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาของการฉีดเจ็ตทุติยภูมิ จึงทำให้เจ็ตมีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในการไหลสูง เมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ

รูปที่ 3.18 แสดงรูปร่างของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ย โดยแสดงด้วยค่าการดูดซับแสงของเจ็ตในแนวตามขวางทิศทางการไหลที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ ของกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 1 *Hz* ค่า Duty cycle 25, 50 และ 75 %

(SJ1H25D, SJ1H50D, SJ1H75D) เปรียบเทียบกับกรณี SJ0 และ SSJ พบว่าที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 0 พบว่าลักษณะของเจ็ตกรณี SSJ มีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างไปจากกรณีอื่นๆ คือมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำสองอันซ้อนกันและมีส่วนแบ่งอยู่ในบริเวณแนวระดับกึ่งกลางของท่อเจ็ต ซึ่งจะมีส่วนของเจ็ตที่มีค่าการดูดซับแสงสูงสองส่วนคือบริเวณส่วนยอดของระฆังคว่ำและเมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับแสงสูงสุดที่ตำแหน่งปากทางออกเจ็ตของการฉีดเจ็ตกรณีต่างๆ พบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 2 พบผลเช่นเดียวกับที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 0 คือ ลักษณะของเจ็ตของกรณี SSJ มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำสองอันซ้อนกัน ซึ่งจะมีส่วนของเจ็ตที่มีค่าการดูดซับแสงสูงสองส่วนคือบริเวณส่วนยอดของระฆังคว่ำและยังพบว่าเจ็ตมีการกระจายตัวออกทางด้านข้างมากกว่ากรณีอื่นๆ สำหรับการฉีดเจ็ตกรณีอื่นจะมีรูปร่างลักษณะของเจ็ตที่คล้ายกันคือ เจ็ตมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำและมีส่วนที่มีค่าระดับความเข้มของแสงสูงสุดอยู่ที่บริเวณส่วนยอดของรูประฆังคว่ำเมื่อพิจารณาถึงค่าของระดับการดูดซับแสงสูงสุดพบว่าที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 2 กรณี SSJ และ SJ1H25D มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดใกล้เคียงกันและมีค่าน้อยกว่ากรณีอื่น ส่วนกรณี SJ1H50D, SJ1H75D และ SJ0 มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดใกล้เคียงกัน ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 4 พบว่ากรณี SSJ มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดน้อยกว่ากรณีอื่นๆ และกรณี SJ0 มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดมากกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนการฉีดเจ็ตกรณีอื่นพบว่ามีค่าการดูดซับแสงสูงสุดเรียงลำดับจากค่าน้อยไปมากคือ กรณี SJ1H25D SJ1H75D และ SJ1H50D ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 6 พบว่ากรณี SSJ ไม่พบส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสม กรณี SJ0 มีค่าระดับการดูดซับสูงสุดมากกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนกรณี SJ1H25D และ SJ1H75D มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดใกล้เคียงกันและน้อยกว่ากรณี SJ1H50D ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 8 พบว่ากรณี SJ0 มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดมากกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนกรณี SJ1H75D มีค่าระดับความเข้มแสงน้อยกว่ากรณี SJ1H25D และ SH1H50D ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 พบว่ากรณี SJ0 มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดมากกว่ากรณีอื่นๆ กรณี SJ1H75D ไม่พบส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสม ส่วน กรณี SJ1H25D และ SJ1H50D ซึ่งทั้งสองกรณีมีค่าการดูดซับแสงใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลของค่า Duty cycle ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 1 *Hz* พบว่าการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle ต่ำที่ 25 และ 50% พบส่วนของเจ็ตมีการพัฒนาตัวไปถึงตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 มีค่าการดูดซับแสงของส่วนที่ยังไม่เกิดการผสมใกล้เคียงกัน ส่วนในการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle สูงที่ 75 % นั้น พบว่าไม่พบส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสมที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 ดังนั้นกรณี SJ1H75D มีความสามารถในการผสมที่ดีกว่ากรณี SJ1H25D และ SJ1H50D

รูปที่ 3.19 แสดงผลของความไม่คงที่ของการดูดซับแสงจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตตามแนวการไหลของเจ็ตเปรียบเทียบผลของค่า Duty cycle ที่ค่าความถี่ 1 *Hz* ค่า Duty cycle 25, 50 และ 75 % พบว่าสำหรับกรณี SJ0 ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 2, 4, 6 และ 8 มีลักษณะของความไม่คงที่ของการดูดซับแสงบริเวณตรงกลางเจ็ตต่ำกว่าบริเวณด้านบนและด้านล่างของเจ็ต

เนื่องจากบริเวณตรงกลางเจ็ตเป็นส่วนของ Potential core เป็นส่วนที่มีค่าความเร็วสม่ำเสมอและบริเวณด้านข้างของเจ็ตเป็นส่วนของ Shear layer จะมีความแตกต่างระหว่างความเร็วของเจ็ตและความเร็วของกระแสการไหลรอบนอก แต่ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 บริเวณตรงกลางของเจ็ตกลับส่วนที่มีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงมากที่สุด เนื่องจากส่วน Potential core ได้สลายตัวหมดแล้ว ในกรณีอื่นก็จะพบว่ามีผลในลักษณะเดียวกันคือในตำแหน่งใกล้ปากเจ็ต เจ็ตจะมีส่วนตรงกลางเจ็ตทีมีค่าความไม่คงที่ของการดูดซับต่ำกว่าบริเวณด้านบนและด้านล่าง และเมื่อเปรียบเทียบค่าความไม่คงที่ของการดูดซับแสงที่ตำแหน่ง *x/D* ใดๆ ตามแนวการไหลจะเห็นว่ากรณี SJ1H25D มีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงสูงกว่ากรณีอื่นๆ จะเห็นว่าที่ความถี่ 1 *Hz* การฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ Duty cycle ต่ำ จะทำให้เจ็ตมีความไม่คงของค่าการดูดซับแสงในการไหลสูงกว่าการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle สูง

รูปที่ 3.20 แสดงรูปร่างของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ย โดยแสดงด้วยค่าการดูดซับแสงของเจ็ตตามแนวการไหลของเจ็ตเปรียบเทียบผลของ Duty cycle ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 5 *Hz* ค่า Duty cycle เท่ากับ 25, 50 และ 75% (SJ5H25D, SJ5H50D, SJ5H75D) พบว่ามีผลของ Duty cycle แตกต่างไปจากการฉีดเจ็ตด้วยความถี่ต่ำที่ 1 Hz คือ ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 กรณี SJ5H25D ไม่พบส่วนของเจ็ตที่ยังไม่มีการผสมและกรณี SJ5H50D พบส่วนของเจ็ตที่ยังเกิดการผสมไม่สมบูรณ์เหลืออยู่เล็กน้อย แต่กรณี SJ5H75D ยังมีส่วนของเจ็ตที่ยังเกิดการผสมไม่สมบูรณ์มากกว่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ความถี่สูง การฉีดเจ็ตด้วย Duty cycle ต่ำเจ็ตจะมีการผสมดีกว่าที่ Duty cycle สูง และในทางตรงกันข้ามการฉีดเจ็ตที่ค่าความถี่ต่ำนั้น เมื่อฉีดเจ็ตด้วยค่า Duty cycle สูงเจ็ตจะมีการผสมที่ดีกว่า Duty cycle ต่ำ

รูปที่ 3.21 แสดงผลของความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตตามแนวการไหลเปรียบเทียบผลของค่า Duty cycle ที่ค่าความถี่ 5 *Hz* ค่า Duty cycle 25, 50 และ 75 % พบว่าที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 4 กรณี SJ5H25D มีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงสูงสุดในการไหลสูงกว่ากรณีอื่นๆ ประมาณเท่ากับ 0.4 แต่ที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 8 และ 10 พบว่ามีค่าลดลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 5 *Hz* มีผลเช่นเดียวกับที่ 1 *Hz* คือการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle ต่ำ (25 %) จะมีผลทำให้การไหลของเจ็ตมีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงมากกว่าการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle สูง (50 และ 75 %)

รูปที่ 3.22 แสดงรูปร่างของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ต โดยแสดงด้วยค่าการดูดซับแสงของเจ็ตในแนวตามขวางทิศทางการไหลที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับของกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 25% ค่าความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H25D, SJ5H25D) เปรียบเทียบกับกรณี SJ0 และ SSJ พบว่าที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 0 พบว่ากรณี SSJ มีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างไปจากกรณีอื่นๆ และสำหรับการฉีดเจ็ตกรณีอื่นจะมีรูปร่างลักษณะของเจ็ตที่คล้ายกันคือ เจ็ตมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำและมีส่วนที่มีค่าการดูดซับของ

แสงสูงสุดอยู่ที่บริเวณส่วนยอดของรูประฆังคว่ำซึ่งอยู่ที่ระดับกึ่งกลางของเจ็ต ต่อมาที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 2 และ 4 พบผลเช่นเดียวกับที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 0 คือ ลักษณะของเจ็ตกรณี SSJ มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำสองอันซ้อนกัน ซึ่งจะมีส่วนของเจ็ตที่มีค่าระดับความเข้มของแสงสูงสองส่วนคือบริเวณส่วนยอดของระฆังคว่ำและยังพบว่าเจ็ตมีการกระจายตัวออกทางด้านข้างมากกว่ากรณีอื่นๆ สำหรับการฉีดเจ็ตกรณีอื่นจะมีรูปร่างลักษณะของเจ็ตที่คล้ายกันคือ เจ็ตมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำและมีส่วนที่มีค่าการดูดซับแสงสูงสุดอยู่ที่บริเวณส่วนยอดของรูประฆังคว่ำเมื่อพิจารณาถึงค่าการดูดซับแสงสูงสุดพบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ กรณี SSJ มีค่าระดับความเข้มของแสงสูงสุดน้อยกว่ากรณีอื่นๆ และกรณี SJ0 มีค่าระดับความเข้มของแสงสูงสุดมากกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนกรณี SJ1H25D และ SJ5H25D พบว่ามีค่าระดับความเข้มแสงที่ตำแหน่งนี้มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 6 พบว่ากรณี SSJ ค่าระดับความเข้มแสงลดลงในแนวขวางของการไหลในส่วนของเจ็ตใกล้เคียงกับบริเวณด้านบนและด้านล่างของรูปภาพซึ่งเป็นบริเวณของฉากด้านหลัง เนื่องจากเจ็ตดึงเอากระแสการไหลรอบข้างเข้ามาผสม ทำให้ไม่พบส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสมซึ่งเป็นส่วนที่มีความเข้มแสงมากกว่าส่วนของฉากด้านหลัง และกรณี SJ0 มีค่าการดูดซับแสงลดลงแต่การดูดซับแสงมีค่ามากกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนกรณี SJ1H25D และ SJ5H25D พบว่ากรณี SJ5H25D มีค่าการดูดซับสูงสุดที่ตำแหน่งนี้มีค่าน้อยกว่ากรณี SJ1H25D ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 8 พบว่ากรณี SJ0 พบว่า มีค่าการดูดแสงสูงสุดมากกว่ากรณีอื่นๆ ส่วนของกรณี SJ5H25D มีค่าการดูดซับแสงลดลงและการดูดซับแสงสูงสุดมีค่าน้อยกว่ากรณี SJ1H25D ที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 พบว่า กรณี SJ5H25D ไม่พบส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสม เนื่องจากค่าการดูดซับแสงในส่วนของเจ็ตลดลงเท่ากับระดับความเข้มแสงของฉากด้านหลังซึ่งเป็นบริเวณของส่วนบนและส่วนล่างของรูปภาพ เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการผสมของเจ็ตพบว่ากรณี SSJ มีความสามารถในการผสมที่ดีกว่ากรณีอื่นๆ เนื่องจากส่วนของเจ็ตหายไปตั้งแต่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 6

เมื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีต่อคุณลักษณะการผสมที่ค่า Duty cycle 25 % ความถี่ 1 และ 5 *Hz* พบว่า ที่ตำแหน่งปากทางออกของเจ็ต *x/D* เท่ากับ 0 แม้ว่ากรณี SJ5H25D จะมีค่าระดับความเข้มแสงของส่วนที่ยังไม่มีการผสมของเจ็ตใกล้เคียงกรณี SJ1H25D แต่เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 กรณี SJ5H25D ไม่พบส่วนของเจ็ตทียังไม่เกิดการผสม แต่กรณี SJ1H25D ยังคงมีส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสมอยู่ ดังนั้นที่ค่า Duty cycle 25% พบว่าการเพิ่มค่าความถี่ในฉีดเจ็ตทุติยภูมิมีผลทำให้เจ็ตมีการผสมดีขึ้น

รูปที่ 3.23 แสดงผลของความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตตามแนวการไหลเปรียบเทียบผลของค่าความถี่ ที่ค่า Duty cycle 25 % พบว่ากรณี SJ1H25D มีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลมากกว่ากรณี SJ5H25D โดยกรณี SJ1H25D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลสูงที่สุดในตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 4

และกรณี SJ5H25D มีค่าความไม่คงที่ของค่าระดับการดูดซับแสงในการไหลสูงที่สุดในตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 4

รูปที่ 3.24 แสดงรูปร่างของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ต โดยแสดงด้วยค่าการดูดซับแสงของเจ็ตในแนวตามขวางทิศทางการไหลที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ เปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีต่อคุณลักษณะการผสมที่ค่า Duty cycle 50% ความถี่ 1 และ 5 *Hz* พบว่ามีผลของค่าความถี่เช่นเดียวกับที่ค่า Duty cycle 25% คือที่ตำแหน่งปากทางออกของเจ็ต *x/D* เท่ากับ 0 แม้ว่ากรณี SJ5H50D จะมีความไม่คงที่ของค่าระดับความเข้มแสงมากกกว่ากรณี SJ1H50D แต่เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 กรณี SJ5H50D ไม่พบส่วนของเจ็ตทียังไม่เกิดการผสม แต่กรณี SJ1H50D ยังคงมีส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสมอยู่ ดังนั้นที่ค่า Duty cycle 50 % พบว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่สูงมีผลทำให้เจ็ตมีการผสมดีขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการผสมของเจ็ตทุกกรณีพบว่า การฉีดเจ็ตกรณี SSJ มีความสามารถในการผสมที่ดีกว่ากรณีอื่นๆ เนื่องจากไม่พบส่วนที่ยังไม่เกิดการผสมของเจ็ตที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 6

รูปที่ 3.25 แสดงผลของความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงจากรูปเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตตามแนวการไหลเปรียบเทียบผลของค่าความถี่ ที่ค่า Duty cycle 50 % พบว่ากรณี SJ1H50D มีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลใกล้เคียงกับกรณี SJ5H50D โดยกรณี SJ1H50D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลสูงที่สุดในตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 6 และกรณี SJ5H50D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูซับแสงในการไหลสูงที่สุดในตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 2

รูปที่ 3.26 แสดงรูปร่างของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ยของเจ็ต โดยแสดงด้วยค่าการดูดซับแสงของเจ็ตในแนวตามขวางทิศทางการไหลที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ เปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีต่อคุณลักษณะการผสมที่ค่า Duty cycle 75% ความถี่ 1 และ 5 *Hz* พบว่ามีผลของค่าความถี่แตกต่างไปจากที่ค่า Duty cycle 25 และ 50% คือที่ตำแหน่งปากทางออกของเจ็ต *x/D* เท่ากับ 0 กรณี SJ1H75D จะมีค่าระดับค่าการดูดซับแสงใกล้เคียงกับกรณี SJ5H75D แต่เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 10 กรณี SJ1H75D ไม่พบส่วนของเจ็ตทียังไม่เกิดการผสม ส่วนกรณี SJ5H75D ยังคงมีส่วนของเจ็ตที่ยังไม่เกิดการผสมอยู่ ดังนั้นที่ค่า Duty cycle 75% พบว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ต่ำกลับทำให้เจ็ตมีการผสมที่ดีกว่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าที่ค่า Duty cycle ของการฉีดเจ็ตทุติยภูมิสูงการเพิ่มค่าความถี่ในการฉีดเจ็ตไม่ทำให้เจ็ตมีการผสมดีขึ้น ซึ่งมีผลแตกต่างจากการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle ต่ำ (25 และ 50%)

รูปที่ 3.27 แสดงผลของความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานของเจ็ตตามแนวการไหลเปรียบเทียบผลของค่าความถี่ ที่ค่า Duty cycle 75 % พบว่ากรณี SJ1H75D มีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลมากกว่ากรณี SJ5H75D โดยกรณี SJ1H75D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลสูงที่สุดในตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 6

และกรณี SJ5H75D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลสูงที่สุดในตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 6

3.3.2 ผลการศึกษาอัตราการลดลงของการดูดซับแสงในแนวแกน

รูปที่ 3.28 แสดงการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ย กรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 1 *Hz* ค่า Duty cycle เท่ากับ 25, 50 และ 75% (SJ1H25D, SJ1H50D, SJ1H75D) เปรียบเทียบกับกรณี SJ0 และ SSJ พบว่า กรณี SSJ มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตสูงกว่ากรณีอื่น คือในบริเวณใกล้ปากเจ็ตที่ตำแหน่ง $x/D = 0$ ถึง $x/D = 1$ จะมีค่าอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงมาก และจะมีอัตราการลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วง $x/D = 2$ ถึง $x/D = 4$ หลังจากนั้นอัตราการลดลงของการดูดซับแสงในแนวแกนจะมีค่าลดลง และในที่สุดค่าการดูดซับแสงจะมีค่าคงที่ตั้งแต่ตำแหน่ง $x/D = 6$ เป็นต้นไป ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีส่วนของเจ็ตที่ไม่มีการผสมเหลืออยู่ ซึ่งค่าการดูดซับแสงที่คงที่นี้จึงเป็นส่วนของฉากด้านหลัง และกรณี SJ0 มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนต่ำที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบผลของ Duty cycle ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีต่ออัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตที่ค่าความถี่ 1 *Hz* ค่า Duty cycle 25, 50 และ 75% (SJ1H25D, SJ1H50D, SJ1H75D) พบว่ากรณี SJ1H75D มีอัตราการลดลงมากกว่ากรณี SJ1H25D และ SJ1H50D และกรณี SJ1H75D มีการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจนมีค่าสม่ำเสมอที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 9 ส่วนกรณี SJ1H25D และ SJ1H50D นั้นมีระยะของการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจนมีค่าสม่ำเสมอที่ตำแหน่ง *x/D* เท่ากับ 12 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 1 *Hz* และฉีดเจ็ตด้วยค่า Duty cycle สูง มีผลทำให้เจ็ตมีการผสมที่ดีขึ้นกว่าการฉีดเจ็ตด้วยค่า Duty cycle ต่ำ

รูปที่ 3.29 แสดงความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานเปรียบเทียบผลของ Duty cycleในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ความถี่ 1 *Hz* ที่มีต่อความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตพบว่า กรณี SSJ มีความไม่คงที่ของการดูดซับแสงต่ำที่สุด กรณี SJ1H25D มีค่าความไม่คงของค่าการดูดซับแสงสูงกว่าทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบผลของ Duty cycle พบว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle ต่ำ (25 %) มีผลทำให้เจ็ตมีค่าความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในการไหลมากกว่าการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle สูง (50 และ 75 %)

รูปที่ 3.30 แสดงการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ยเปรียบเทียบผลของ Duty cycle ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีต่ออัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตที่ค่าความถี่ 5 *Hz* ค่า Duty cycle 25, 50 และ 75% (SJ5H25D, SJ5H50D, SJ5H75D) พบว่ามีผลที่แตกต่างไปจากการฉีดเจ็ตที่ค่าความถี่ 1 *Hz* คือกรณี SJ5H25D และ

SJ5H50D มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตสูงกว่ากรณี SJ5H75D โดยกรณี SJ5H25D และ SJ5H50D มีการลดลงของค่าระดับความเข้มแสงจนกระทั่งมีค่าระดับความเข้มแสงสม่ำเสมอกับส่วนของฉากด้านหลัง เนื่องจากไม่พบส่วนของเจ็ตที่ยังไม่มีการผสมที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 9 ส่วนกรณี SJ5H75D มีระยะดังกล่าวอยู่ที่ตำแหน่ง x/D เท่ากับ 13 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่สูง และฉีดเจ็ตด้วยค่า Duty cycle ต่ำจะทำให้เจ็ตมีการผสมที่ดีขึ้นกว่าการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle สูง และในทางตรงกันข้ามการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ต่ำและฉีดเจ็ตด้วยค่า Duty cycle สูงจะทำให้เจ็ตมีการผสมที่ดีขึ้น

รูปที่ 3.31 แสดงความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานเปรียบเทียบผลของ Duty cycle ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ความถี่ 5 *Hz* ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดซับแสงของเจ็ตในแนวแกนพบว่า SJ5H25D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงสูงกว่าทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบผลของ Duty cycle พบว่ามีผลเช่นเดียวกับการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 1 *Hz* คือการฉีดเจ็ตทุติยภูมิด้วยค่า Duty cycle ต่ำ (25 %) มีผลทำให้เจ็ตมีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลมากกว่าการฉีดเจ็ตที่ค่า Duty cycle สูง (50 และ 75 %)

รูปที่ 3.32 แสดงการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ต จากรูปภาพเฉลี่ยกรณีเจ็ตปฐมภูมิที่มีการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 25% และค่าความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H25D, SJ5H25D) เปรียบเทียบกับกรณี SJ0 และ SSJ พบว่า กรณี SSJ มีอัตราการลดลงของการดูดซับแสงในแนวแกนสูงกว่ากรณีอื่น และกรณี SJ0 มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่นๆ

เมื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีต่ออัตราการลดลงของการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตที่ค่า Duty cycle 25% ความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H25D, SJ5H25D) พบว่าในบริเวณใกล้ปากเจ็ตในช่วง $x/D = 0$ ถึง $x/D = 4$ กรณี SJ1H25D และ SJ5H25D มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตใกล้เคียงกัน แต่หลังจากตำแหน่ง $x/D = 4$ จนถึง $x/D = 10$ พบว่ากรณี SJ5H25D มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตมากกว่ากรณี SJ1H25D โดยที่กรณี SJ5H25D ค่าการดูดซับของแสงลดลงจนมีค่าสม่ำเสมอเท่ากับระดับค่าการดูดซับแสงของส่วนฉากด้านหลังตั้งแต่ตำแหน่ง $x/D = 10$ ส่วนกรณี SJ1H25D ค่าการดูดซับแสงมีค่าสม่ำเสมอที่ตำแหน่ง $x/D = 13$ ดังนั้นที่ค่า Duty cycle 25% พบว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่สูงมีผลทำให้อัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนมากขึ้น แสดงถึงผลของเจ็ตที่มีการผสมที่ดีขึ้น

รูปที่ 3.33 แสดงความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 25 % ที่มีต่อความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงของเจ็ตในแนวแกนพบว่า กรณี SSJ มีความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสง

ต่ำที่สุด กรณี SJ1H25D มีค่าความไม่คงที่ของการดูดซับแสงสูงกว่าทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ พบว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ 1 *Hz* มีผลทำให้เจ็ตมีค่าความไม่คงที่ของค่าระดับการดูดซับแสงในการไหลมากกว่าการฉีดเจ็ตที่ค่าความถี่สูง

รูปที่ 3.34 แสดงการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ย เปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนเจ็ตที่ค่า Duty cycle 50% ความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H50D, SJ5H50D) พบว่ามีผลของค่าความถี่เช่นเดียวกับที่ค่า Duty cycle 25% คือกรณี SJ5H50D มีอัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตสูงกว่า กรณี SJ1H50D โดยที่กรณี SJ5H50D ค่าการดูดซับแสงลดลงจนกระทั่งมีค่าสม่ำเสมอเท่ากับระดับค่าการดูดซับแสงของส่วนฉากด้านหลังตั้งแต่ตำแหน่ง x/D = 9 ส่วนกรณี SJ1H50D ค่าระดับการดูดซับแสงมีค่าสม่ำเสมอที่ตำแหน่ง x/D = 12 ดังนั้นที่ค่า Duty cycle 50% พบว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่สูงมีผลทำให้อัตราการลดลงของค่าระดับความเข้มแสงในแนวแกนมากขึ้น แสดงถึงผลของเจ็ตที่มีการผสมที่ดีขึ้น

รูปที่ 3.35 แสดงความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 50 % ที่มีต่อความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ต กรณี SJ1H50D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงสูงกว่ากรณี การฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่สูง (5 *Hz*)

รูปที่ 3.36 แสดงการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเฉลี่ย เปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่มีต่ออัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนเจ็ตที่ค่า Duty cycle 75% ความถี่ 1 และ 5 *Hz* (SJ1H75D, SJ5H75D) พบว่ามีผลแตกต่างไปจากที่ Duty cycle 25 และ 50% คือเมื่อเพิ่มค่าความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิขึ้นกลับทำให้อัตราการลดลงของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนมีค่าลดลง ดังนั้นจะเห็นได้ว่าที่ค่า Duty cycle สูง (75 %) การเพิ่มค่าความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิไม่ทำให้เจ็ตมีการผสมดีขึ้น ซึ่งมีผลแตกต่างจากการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle ต่ำ (25 และ 50 %)

รูปที่ 3.37 แสดงความไม่คงที่ของการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตจากรูปภาพเบี่ยงเบนมาตราฐานเปรียบเทียบผลของความถี่ในการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่า Duty cycle 75 % ที่มีต่อความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในแนวแกนของเจ็ตพบว่า กรณี SJ1H75D มีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงสูงกว่าทุกกรณี เมื่อเปรียบเทียบผลของความถี่ พบว่าการฉีดเจ็ตทุติยภูมิที่ค่าความถี่ต่ำ (1 *Hz*) มีผลทำให้เจ็ตมีค่าความไม่คงที่ของค่าการดูดซับแสงในการไหลมากกว่าการฉีดเจ็ตที่ค่าความถี่สูง (5 *Hz*)