สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

การไหลแบบ Jet ใน Crossflow เป็นการไหลพื้นฐานที่พบในอุปกรณ์ต่างๆทางวิศวกรรม เช่น ใน Combustor ซึ่งใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงเข้าผสมกับอากาศในกระบวนการเผาไหม้, ใน Gas turbine ซึ่งใช้ในการระบายความร้อนจากใบพัด และในเครื่องบินแบบ V/STOL ซึ่งใช้ในช่วงที่มีการขึ้น-ลงในแนวดิ่งนอกจากนี้ยังพบในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมและมลภาวะ เช่น การระบายความร้อนจากท่อน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมสู่แหล่งน้ำและการระบายอากาศเสียจากปล่องควันดังรูปที่ 1.1

การศึกษา Jet ใน Crossflow นั้นมีผู้ศึกษาคุณลักษณะต่างๆไม่ว่าจะเป็นลักษณะโครงสร้างที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่าง Jet fluid กับ Crossflow fluid เช่น Fric and Roshko (1994), เส้นทาง (Trajectory) ของ Jet fluid ใน Crossflow fluid เช่น Pratte and Baines (1967), การดึง Crossflow fluid เข้าไปผสมใน Jet fluid (Entrainment) เช่น Yuan and Street (1998), อัตราการกระจายของ Jet (Spread rate) เช่น Pratte and Baines (1967) และ Sivadas et al. (1997) และอัตราการลดลงในแนวแกนของ Jet (Decay rate) เช่น Smith and Mungal (1998)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อคุณลักษณะดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นผลของอัตราส่วนความเร็วของ Jet ต่อความเร็วของ Crossflow (Velocity ratio) เช่น Smith and Mungal (1998), ผลของ Inlet condition ไม่ว่าจะเป็นรูปร่างของปาก Jet เช่น Sivadas et al. (1997) และ Findlay et al. (1999) หรือการติด Vortex generator ในลักษณะต่างๆ เช่น Zaman and Foss (1997), ผลจากการใส่สภาวะที่ไม่คงตัว (Unsteady) เช่น Raud et al. (1999) และอื่นๆ

การศึกษา Jet ใน Crossflow ยังมีหลายลักษณะ (Configuration) ไม่ว่าจะเป็นลักษณะที่ปาก Jet อยู่ที่ระดับพื้น (Ground – level source หรือ Flush) เช่น Fric and Roshko (1994), ลักษณะที่ปาก Jet อยู่สูงจากระดับพื้น (Elevated source) จนไม่มีผลจาก Boundary layer ของผนังที่พื้น เช่น Eff et al. (1995) และลักษณะที่ปาก Jet อยู่ติดกับแผ่นราบที่อยู่สูงจากพื้นซึ่งจะมีลักษณะ Flush แต่จะไม่มีผลของ Boundary layer ของผนังที่พื้น เช่น Pratte and Baines (1967)และ Kamotani and Greber (1972)

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

1.2.1 การศึกษาคุณลักษณะของ Jet

Rajaratnam (1976)ได้แบ่งลักษณะของ Jet ออกเป็น 3 บริเวณดังรูปที่ 1.2 ได้แก่ Potential core region ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเร็วสม่ำเสมอ, Flow development region ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการพัฒนาของ Shear layer ที่เกิดจากความไม่ต่อเนื่องของความเร็วระหว่าง Jet และบรรยากาศ จากนั้นจะเข้าสู่ Fully developed flow region ซึ่งเป็นบริเวณที่การไหลมีลักษณะ Similarity ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Corrsin (1946), Hinze and Zijnen (1949), Albertson et al. (1950), Abramovich (1963) และอื่นๆ

จากการวิเคราะห์โดยใช้ลักษณะของ Similarity ดังกล่าว Townsend (1956) และ Tennekes and Lumley (1972)พบว่าการกระจาย (Spread rate) ของ Circular Jet ซึ่งแสดงโดยความหนาของ Shear layer(l) แปรตามระยะทางตามแนว Downstream จากจุด Virtual origin ของ Jet นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วในแนวแกนของ Jet (U) แปรผกผันกับระยะทางตามแนว Downstream จากจุด Virtual origin ของ Jet

1.2.2 การศึกษาคุณลักษณะของ Jet ใน Crossflow

1.2.2.1 ลักษณะและโครงสร้างของ Jet ใน Crossflow

Rajaratnam (1980) ได้แบ่งลักษณะของ Jet ใน Crossflow ออกเป็น 3 บริเวณตามรูปที่ 1.3 ได้แก่ Potential core region ซึ่งเป็นบริเวณกึ่งกลางของ Shear layer ของ Jet ในช่วงต้นซึ่ง Total pressure มีค่าสม่ำเสมอโดย Keffer and Baines (1963)พบว่าที่ Velocity ratio มากกว่า 4 แกนของ Potential core จะยังคงอยู่ในแนวแกนของ Jet ในขณะที่เมื่อ Velocity ratio น้อยกว่า 4 แกนของ Potential core จะเริ่มเลื่อนไปในทิศทางของ Crossflow นอกจากนี้ Pratte and Baines (1967) ยังพบว่าที่ Velocity ratio สูงๆ ความยาวของ Potential core ของ Jet ใน Crossflow จะมีขนาดเข้าใกล้กรณีของ Free jet

ต่อจาก Potential core region จะเข้าสู่ Zone of maximum deflection ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนทิศทางของ Jet มากที่สุดและยังเป็นบริเวณที่มี Pressure gradient และ Entrainment rate มากที่สุดทำให้เป็นบริเวณที่ยากที่จะวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง ต่อจากนั้นจะเป็นบริเวณ Far field ซึ่งมีลักษณะเข้าใกล้ Self-similar

Fric and Roshko (1994)ได้ศึกษาโครงสร้างของ Vortical sturcture ของ Jet ใน Crossflow พบว่า Jet ใน Crossflow มี Vortical structure 4 ลักษณะได้แก่ Jet shear layer vortices ซึ่งเป็นผล

ของ Kelvin-Helmholtz instability จากการแยกตัว (Separation) ของ Shear layer บริเวณปาก Jet ซึ่งมีลักษณะเดียวกับ Vortex ring ในกรณีของ Free jet, Horseshoe vortices ซึ่งเกิดจาก Boundary layer ของผนังได้รับผลของ Adverse pressure gradient เนื่องจาก Jet ที่พุ่งออกมาใน Free stream ซึ่งมีลักษณะคล้ายสิ่งกีดขวางการไหล (Obstacle), Counter-rotating vortex pairs (CVP) ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญในการผสมบริเวณ Far field และ Wake vortices บริเวณด้านหลัง Jet ดังรูป 1.4

สำหรับกลไกในการเกิด Counter-rotating vortex pairs (CVP) ยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แต่ลักษณะหนึ่งซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความเห็นตรงกันคือการเกิด Separation ของ Boundary layer ภายในท่อที่ปาก Jet ทำให้เกิดการม้วนตัวของ CVP (Moussa et al. (1977), Andreopoulos (1984,1985), Andreopoulos and Rodi (1984), Sykes et al. (1986), Coelho and Hunt (1989) และ Kelso et al. (1996)) นอกจากนี้ Kelso et al. (1996) ยังพบว่า Vortex ring ที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจาก Crossflow fluid และ Vorticity ที่เกิดจากผนังของพื้นต่างเป็นองค์ประกอบและมีผลในการเกิด CVP เช่นเดียวกัน

สำหรับกลไกการเกิด Wake vortices ในกรณีที่ปาก Jet อยู่ที่ระดับพื้น (ground – level source) Fric and Roshko (1989, 1994) และ Fric (1990) พบว่าเนื่องจาก Vorticity ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อไม่มี Solid boundary ดังนั้นการเกิด Wake vortices ต้องเป็นผลจาก Convection, Turning, Stretching และ Diffusion ของ Vorticity ที่เกิดขึ้นจากผนังของ Crossflow หรือผนังของ Jet หรือทั้งผนังของ Crossflow และผนังของ Jet ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lighthill (1963) และ Morton (1984).

นอกจากนี้ Kelso et al. (1996) ยังพบว่า Wake vortices ยังมีความเชื่อมโยงกับ Wall vortices และ CVP อีกด้วย และที่ Reynolds number สูงๆลักษณะของ Wake จะเปลี่ยนไปใน 3 ลักษณะคือ von Karman vortex street, Mushroom-like upright vortex และ Alternative mushroom-like upright vortex ดังรูป 1.5 และได้สรุปลักษณะโครงสร้างของ Jet ใน Crossflow ที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆดังรูปที่ 1.6

1.2.2.2 เส้นทาง (Trajectory) ของ Jet ใน Crossflow

Broadwell and Breidenthal (1984) ทำการวิเคราะห์โดยพิจารณา Jet เป็น Point source ของ Momentum flux พบว่าผลคูณของ Velocity ratio และเส้นผ่านศูนย์กลางเจ็ต (rd-scale) เป็น Global length scale ที่แสดงคุณลักษณะของ Jet ใน Crossflow

ของ Kelvin-Helmholtz instability จากการแยกตัว (Separation) ของ Shear layer บริเวณปาก Jet ซึ่งมีลักษณะเดียวกับ Vortex ring ในกรณีของ Free jet, Horseshoe vortices ซึ่งเกิดจาก Boundary layer ของผนังได้รับผลของ Adverse pressure gradient เนื่องจาก Jet ที่พุ่งออกมาใน Free stream ซึ่งมีลักษณะคล้ายสิ่งกีดขวางการไหล (Obstacle), Counter-rotating vortex pairs (CVP) ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญในการผสมบริเวณ Far field และ Wake vortices บริเวณด้านหลัง Jet ดังรูป 1.4

สำหรับกลไกในการเกิด Counter-rotating vortex pairs (CVP) ยังไม่เป็นที่เข้าใจมากนัก แต่ลักษณะหนึ่งซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความเห็นตรงกันคือการเกิด Separation ของ Boundary layer ภายในท่อที่ปาก Jet ทำให้เกิดการม้วนตัวของ CVP (Moussa et al. (1977), Andreopoulos (1984,1985), Andreopoulos and Rodi (1984), Sykes et al. (1986), Coelho and Hunt (1989) และ Kelso et al. (1996)) นอกจากนี้ Kelso et al. (1996) ยังพบว่า Vortex ring ที่มีการเปลี่ยนรูปร่างเนื่องจาก Crossflow fluid และ Vorticity ที่เกิดจากผนังของพื้นต่างเป็นองค์ประกอบและมีผลในการเกิด CVP เช่นเดียวกัน

สำหรับกลไกการเกิด Wake vortices ในกรณีที่ปาก Jet อยู่ที่ระดับพื้น (ground – level source) Fric and Roshko (1989, 1994) และ Fric (1990) พบว่าเนื่องจาก Vorticity ไม่สามารถเกิดขึ้นได้เมื่อไม่มี Solid boundary ดังนั้นการเกิด Wake vortices ต้องเป็นผลจาก Convection, Turning, Stretching และ Diffusion ของ Vorticity ที่เกิดขึ้นจากผนังของ Crossflow หรือผนังของ Jet หรือทั้งผนังของ Crossflow และผนังของ Jet ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lighthill (1963) และ Morton (1984)

นอกจากนี้ Kelso et al. (1996) ยังพบว่า Wake vortices ยังมีความเชื่อมโยงกับ Wall vortices และ CVP อีกด้วย และที่ Reynolds number สูงๆลักษณะของ Wake จะเปลี่ยนไปใน 3 ลักษณะคือ von Karman vortex street, Mushroom-like upright vortex และ Alternative mushroom-like upright vortex ดังรูป 1.5 และได้สรุปลักษณะโครงสร้างของ Jet ใน Crossflow ที่เกิดขึ้นในสภาวะต่างๆดังรูปที่ 1.6

1.2.2.2 เส้นทาง (Trajectory) ของ Jet ใน Crossflow

Broadwell and Breidenthal (1984) ทำการวิเคราะห์โดยพิจารณา Jet เป็น Point source ของ Momentum flux พบว่าผลคูณของ Velocity ratio และเส้นผ่านศูนย์กลางเจ็ต (rd-scale) เป็น Global length scale ที่แสดงคุณลักษณะของ Jet ใน Crossflow

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปาก Jet (d = เส้นผ่านศูนย์กลาง Jet) และ Magason (1993) พบว่า Centerline Trajectory ใน d - scale มีความสัมพันธ์เป็น $y/d = A(r)^n (x/d)^m$ โดย A = 1.59, n = 0.67, m =0.33

1.2.2.3 Entrainment ของ Jet ใน Crossflow

การศึกษา Entrainment สำหรับ Jet ใน Crossflow นั้นมีความซับซ้อนค่อนข้างมากเนื่องจากการไหลมีลักษณะเป็น 3 มิติ อย่างไรก็ตามการศึกษา Entrainment ที่ผ่านมาจะพิจารณาจาก Spread rate และ Decay rate ทั้งในแง่ของความเร็วเฉลี่ยและ Mean scalar ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่มีความเชื่อมโยงกับ Entrainment และสามารถศึกษาได้ง่าย โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า Entrainment และการผสมสำหรับ Jet ใน Crossflow มีมากกว่ากรณีของ Free jet (Keffer and Baines (1963), Pratte and Baines (1967), Rajaratnam and Gangadhariah (1980) และ Andreopoulos and Rodi (1984))

Smith and Mungal (1998) ได้ศึกษา Scalar concentration decay ดังรูปที่ 1.11 พบว่า Centerline concentration decay ในบริเวณ Near field แปรตาม $(S/rd)^{-1.3}$ (เมื่อ S คือระยะทางในแนว Centerline ซึ่งนิยามจากค่า Maximum concentration ในแต่ละหน้าตัด) และในบริเวณ Far field แปรตาม $(S/rd)^{-2/3}$ โดยมี Branch point ที่ประมาณ S/r^2d = 0.3 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงจากบริเวณที่มีการผสมค่อนข้างมาก (Enhanced mixing) ไปสู่บริเวณที่มีการผสมลดลง (Reduced mixing) นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับกรณีของ Free jet ซึ่ง Decay rate แปรตาม S^{-1}

Yuan and Street (1998)พบว่ากลไกของ Entrainment สำหรับ Jet ใน Crossflow นั้นได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงของ Large coherent structure เช่นเดียวกับ Turbulent shear flow โดยจากรูปที่ 1.12 ในช่วงต้นของการผสม (Z < 3) Spanwise roller ที่เกิดจาก Shear layer ของ Jet จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงผิวสัมผัสระหว่าง Jet และ Crossflow ทำให้เกิดการผสมในระดับ Large scale ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการผสมของ Free jet

ต่อมาในบริเวณ Bending region การผสมจะเกิดจากอิทธิพลของ Crossflow fluid โดย Crossflow fluid จะถูกดึงเข้าไปใน Jet fluid ทำให้เกิดช่องว่างระหว่าง Jet fluid ขนาดใหญ่เนื่องจากมุมปะทะที่ค่อนข้างมากระหว่าง Jet fluid และ Crossflow fluid ซึ่งทำให้เกิดการผสมในระดับ Large scale และสำหรับการผสมในบริเวณ Far field จะมีกลไกที่สำคัญคือการเกิด CVP โดย Crossflow fluid จะถูกดึงลงมาทางด้านล่างของ Jet เนื่องจาก Circulation ของ CVP

นอกจากนี้ Trajectory และ Entrainment ยังมีความสัมพันธ์กัน โดยจากการศึกษาของ Sherif and Pletcher (1989) และ Hasselbrink and Mungal (1996) ได้ตั้งสมมติฐานว่า Entrainment เป็น

กลไกที่สำคัญในการเปลี่ยนทิศทางของ Jet ไปในแนว Crossflow อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อขัดแย้งกันอยู่ โดย Davidson (1989)ได้ทำนายพฤติกรรมของ Smokestack plume โดยใช้ Integral models พบว่า Pressure drag เป็นกลไกที่สำคัญที่ต้องพิจารณาอยู่ใน Models นอกจากนี้ Broadwill and Breidenthal (1984)และ Karagozian (1986) ได้ Model โดยใช้ CVP พบว่าแรงยกที่เกิดจาก CVP เป็นกลไกที่สำคัญตัวหนึ่งในการเปลี่ยนทิศทางของ Jet

1.2.2.4 การศึกษาผลของ Inlet condition ที่มีต่อคุณลักษณะของ Jet ใน Crossflow

Sivadas et al. (1997) ได้ศึกษาผลของ Exit geometry ของปาก Jet ที่มีต่อ Trajectory และ Spread rate โดยใช้ปาก Jet รูปสี่เหลี่ยมที่มี Aspect-ratio ต่างๆพบว่า Jet penetration ลดลงและ Spread rate เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ Circular jet โดยเฉพาะเมื่อเพิ่ม Aspect-ratio (เพิ่มพื้นที่สัมผัสด้านหน้าระหว่าง Jet fluid และ Crossflow fluid) ซึ่งแสดงถึงการเพิ่ม Entrainment และการผสม

Zaman and Foss (1997) ได้ศึกษาผลของ Vortex generators โดยติด Delta taps บริเวณปาก Jet พบว่าการติด Delta taps ด้านหน้า (Windward side) ทำให้ Jet penetration ลดลงรวมทั้งลด Strength ของ CVP เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ติด Tap ดังรูป 1.13

นอกจากนี้ยังพบว่าการติด Delta taps ด้านหลัง (Leeward side) ไม่ส่งผลต่อ Jet penetration และ Strength ของ CVP ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Lincinsky et al. (1995) เนื่องจากด้านหลัง (Leeward side) เป็นบริเวณที่มี Static pressure ต่ำในขณะที่ด้านหน้า (Windward side) เป็นบริเวณที่มี Static pressure สูงที่เรียกว่า "Pressure hill" ซึ่งเป็น Primary source ของ Streamwise vorticity ดังรูป 1.14

1.2.3 การศึกษาคุณลักษณะของ Swirling Jet in Crossflow

Niederhaus et al. (1997) ได้ศึกษาผลของการหมุนที่มีต่อคุณลักษณะของ Jet ใน Crossflow โดยการสร้าง Swirl นั้น ใช้ใบพัดในการสร้าง swirl ซึ่งทำให้ Tangential velocity ที่ปากเจ็ตมีค่าเป็นศูนย์ และใช้ Scalar concentration ใน Water channel โดยใช้ Planar laser-induced fluorescence (PLIF) พบว่าลักษณะของ CVP เปลี่ยนไปจากลักษณะที่สมมาตรในกรณีที่ไม่มี Swirl เป็นลักษณะที่ Vortex ด้านหนึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นและอีกด้านหนึ่งมีขนาดเล็กลงรวมถึงรูปร่างที่เปลี่ยนไปเป็น Comma shape ในกรณีที่มี Swirl นอกจากนี้ยังพบการลดลงของ Jet penetration อย่างไรก็ตามในช่วง Swirl number ที่ทดลอง (N_s 0 =ถึง 0.17) ไม่พบความแตกต่างของการลดลง

ของ Maximum mean concentration นอกจากนี้ยังพบอีกว่า Maximum concentration เกิดในด้าน pressure side (ด้านที่มีทิศของความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ตสวนทางกับทิศของความเร็ว crossflow)

อย่างไรก็ตาม Wangjiraniran and Bunyajitradulya (2001), Bunyajitradulya and Wangjiraniran (2003) ได้ศึกษาคุณลักษณะของเจ็ตร้อนที่หมุนควงในกระแสลมขวางโดยใช้ rotating pipe เป็นตัวสร้าง swirl ซึ่งในกรณีนี้ทำให้ Tangential velocity และ circulation เป็นศูนย์ และได้ทดลองที่พารามิเตอร์ใกล้กับของ Niederhauset et al. จากการศึกษาโดยใช้เทอร์โมคัพเบิ้ลเป็นเครื่องมือในการวัดอุณหภูมิ พบว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิและอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงจะอยู่ทางด้าน Suction (ด้านที่มีทิศของความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ตไปทางเดียวกับทิศของความเร็ว crossflow) ขณะที่บริเวณที่มีอุณหภูมิและอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำจะอยู่ทางด้าน Pressure อย่างไรก็ตามการหมุนควงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความสมมาตรของขอบเขตอุณหภูมิต่ำ(ขอบเจ็ต) น้อยกว่าขอบเขตอุณหภูมิสูง(กลางเจ็ต)

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองของ Niederhaus et al. กับ Wangjiraniran and Bunyajitradulya พบว่าพารามิเตอร์หลักของการทดลองใกล้เคียงกัน แต่ initial tangential velocity profile ต่างกันกลับให้ผลที่ไม่สอดคล้องกันกล่าวคือ Niederhaus et al. พบ high concentration ทางด้าน pressure side Wangjiraniran and Bunyajitradulya พบ high temperature ทางด้าน suction side ดังแสดงในรูปที่ 1.15

เมื่อเปรียบเทียบเงื่อนไขของการศึกษาทั้งสอง จะเห็นได้ว่า Niederhaus et al. ให้กำเนิด swirl โดยใช้ใบพัด เป็นผลทำให้ความเร็วในแนวสัมผัสที่ปากเจ็ตเป็นศูนย์(หลังจากนี้เราจะเรียกวิธีนี้ว่า zero-tangential-velocity / zero-circulation) ผลที่ตามมาคือมี cross-stream boundary layer เกิดขึ้นที่ปากเจ็ต (δ) ดังในรูปที่ 1.16 ในทางตรงกันข้าม Weerin & Bunyajitradulya ใช้ rotating pipe กับรังผึ้งในการให้กำเนิด swirl ยังผลให้ที่ทางออก เจ็ตมีความเร็วในแนวสัมผัสไม่เป็นศูนย์ ก่อนสัมผัสกับ crossflow (เรียกวิธีนี้ว่า non-zero tangential velocity/ non-zero circulation) ซึ่งแสดงในรูปที่ 1.16 (c)

ดังนี้จึงเกิดประเด็นขึ้นว่า Initial tangential velocity profiles และ Cross-stream boundary layer และ Vorticity ของ cross streem ของเจ็ต มีผลอย่างไรต่อการพัฒนาตัวของ Skew shear layer ที่ด้านข้างของ jet (Yuan 1999,) และในที่สุดมีผลอย่างไรต่อ Large-scale structure ใน SJICF

Denev et al. (2005) ศึกษาโครงสร้างและการผสมของเจ็ตหมุนควงในกระแสลมขวาง โดยศึกษาที่ Swirl number (s) เท่ากับ 0-0.6 และใช้วิธี LES ศึกษาสนามการไหลพบว่าการไหลและสนาม

ความเข้มของเจ็ตจะบิดเบี้ยวไปและพบ High concentration ทางด้าน Suction เมื่อมี Swirl ดังในรูปที่ 1.17 และ 1.18 และเสนอว่า swirl มีผลต่อการผสมแต่ละหน้าตัดเพียงเล็กน้อย และไม่ได้ช่วยในการผสมให้ดีขึ้นหรือมีผลน้อยมากต่อการผสม

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาคุณลักษณะการผสมของเจ็ตที่มีการหมุนควงในกระแสการไหลขวางแบบความเร็วในแนวสัมผัสและเซอร์คูเลชั่นไม่เป็นศูนย์ (Non-zero tangential velocity/Non-zero circulation swirling Jet in Crossflow, NZT/NZC SJICF) โดยใช้เทคนิค Active และ Passive Scalar

นอกเหนือจากนั้น จากผลงานวิจัยในอดีตของ Wangjiraniran and Bunyajitradulya (2001, WB) และ Bunyajitradulya and Wangjiraniran (2003, BW) เกี่ยวกับคุณลักษณะของ NZT/NZC SJICF โดยการวัดอุณหภูมินั้น พบว่ามีความแตกต่างในระดับหนึ่งจากผลงานวิจัยของ Niederhaus et .al .(1997) ซึ่งศึกษา ZT/ZC SJICF โดยการวัด passive scalar ถึงแม้ว่าทั้งสองงานวิจัยจะมี global parameters (momentum flux ratio, swirl ratio) ใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่ initial velocity profile ดังกล่าว กล่าวคือ WB/BW พบบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงทางด้าน suction side ในขณะที่ Niederhaus et .al .(1997) พบบริเวณที่มี concentration ของ passive scalar สูงในด้าน pressure side

อนึ่ง แม้ว่างานวิจัยนี้จะยังไม่สามารถ ตอบประเด็นของความแตกต่างดังกล่าวได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม วัตถุประสงค์หนึ่งของงานวิจัยนี้ ก็เพื่อขยายความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะทางการผสมและทาง passive scalar ของ NZT/NZC SJICF มากขึ้นเพื่อเป็นแนวทางและข้อมูลในการศึกษาถึงผลของ initial velocity profile ต่อ SJICF ต่อไปในอนาคต

1.4 ปัญหาและแนวทางของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณลักษณะของ Non-Zero tangential velocity swirling jet in Crossflow โดยมุ่งเน้นที่บริเวณ Near field ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการผสมและ Interaction ระหว่าง Jet fluid กับ Crossflow fluid มาก นอกจากนี้ยังเป็นบริเวณที่มีการพัฒนาของ Vortical structure โดยเฉพาะ CVP ซึ่งในงานวิจัยจะใช้วิธีการถ่ายภาพ และใช้เทคนิค passive scalar กับ active scalar เพื่อแสดงคุณลักษณะทางการผสมของเจ็ตกับ crossflow

Passive Scalar Technique เป็นเทคนิคที่อาศัยการไม่ทำปฏิกิริยากันของสสาร ใช้แสดงอาณาบริเวณที่แพร่กระจายของเจ็ตทั้งหมด ในงานวิจัยนี้ใช้เบสผสมกับฟีนอฟทาลีนได้สีบานเย็นเป็นเจ็ต และ Crossflow เป็นน้ำเปล่า สีที่เห็นในภาพแสดงอาณาบริเวณที่เจ็ตแพร่ไปถึง

Active Scalar Technique เป็นเทคนิคที่อาศัยการทำปฏิกิริยากันของสสาร ใช้แสดงอาณาบริเวณของเจ็ตที่ผสมกับ Crossflow ไม่ถึง stoichiometric ratio ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เบสผสมกับฟีนอฟทาลีนได้สีบานเย็นเป็นเจ็ต และ Crossflow เป็นกรด เมื่อ Jet ผสมกับ Crossflow ที่ stoichiometric ratio ตามที่กำหนดสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีบานเย็นเป็นไม่มีสี สีที่เห็นในภาพแสดงอาณาบริเวณที่เจ็ตยังผสมกับ crossflow ไม่ถึงตาม stoichiometric ratio

Passive และ Active Scalar Technique เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกันทำให้สามารถแบ่งแยกได้ระหว่างบริเวณที่มีการผสมกันในระดับโมเลกุลถึง Stoichiometric ratio ไปแล้วกับบริเวณที่ยังผสมกันไม่ถึง Stoichiometric ratio โดยผลต่างของอาณาบริเวณของ passive scalar technique กับ active scalar technique แสดงถึงอาณาบริเวณที่เจ็ตผสมกับ crossflow ถึง stoichiometric ratio ไปแล้ว

ข้อดีของ passive scalar technique คือใช้แสดงบริเวณที่เจ็ตแพร่ไปถึง และการจางลง (dilution) เนื่องจากการแพร่กระจาย

ข้อดีของ active scalar technique คือใช้แสดงบริเวณที่เจ็ตผสมกับ crossflow ยังไม่ถึง stoichiometric ratio

ข้อดีของการนำ passive และ active scalar technique มาใช้ร่วมกันคือใช้แสดงบริเวณที่เจ็ตผสมกับ crossflow ได้ถึง stoichiometric ratio ไปแล้ว และเทคนิคนี้ยังสามารถเปลี่ยน stoichiometric ratio เพื่อดูลักษณะทางการผสมที่เกิดขึ้นในระบบได้

ข้อด้อยของวิธีการนำ passive และ active scalar technique มาใช้เมื่อมุ่งเน้นสำหรับการผสมเพื่อการเผาไหม้คือไม่สามารถใช้จำลองการผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศเพื่อทดสอบปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นในห้องเผาไหม้ได้เนื่องจากไม่มีปฏิกิริยาความร้อนที่เกิดขึ้นใน technique นี้เหมือนกับการเผาไหม้จริง

วิธีการที่นำมาใช้เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในรูปภาพกับความหมายทางกายภาพคือทฤษฎีของ Beer's Law (H. Johari, R. Paduano (1997))

สำหรับงานวิจัยนี้จะพิจารณาผลของการหมุนโดยการเปลี่ยนค่า Swirl ratio โดยคงที่อัตราส่วนความเร็วประสิทธิผล (r) เท่ากับ 4 และ Reynolds number ของเจ็ตเท่ากับ 1280

$$r = \left(\frac{\rho_j \overline{u_j}^2}{\rho_{cf} \overline{u_{cf}}^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

เมื่อ $\overline{u}_j$ คือความเร็วเฉลี่ยแบบพื้นที่ในแนวแกนของเจ็ต

$\overline{u}_{cf}$ คือความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำขวาง

ρ_j ความหนาแน่นของเจ็ตที่เป็นสารละลายเบสเจือจาง

ρ_{cf} ความหนาแน่นของกระแสน้ำขวาง

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกระดับของการหมุนคือ Swirl ratio (Swirl ratio) นิยามเป็น อัตราส่วนระหว่างความเร็วในแนวสัมผัสของเจ็ตที่ขอบเจ็ตกับความเร็วเฉลี่ยในแนวแกนเจ็ต

$$Sr = \frac{u_\theta}{\overline{u}_j} = \frac{\pi d_j f}{\overline{u}_j}$$

เมื่อ u_θ คือความเร็วในแนวเส้นสัมผัสของเจ็ตที่ขอบเจ็ต

d_j คือเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายในของท่อเจ็ต

f ความถี่ (รอบ/วินาที)

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

ผลที่คาดว่าจะได้ในเชิงวิชาการ คือความรู้ ความเข้าใจและข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับคุณลักษณะทางการผสม และผลของ swirl ที่มีต่อปริมาณ scalar ของเจ็ตที่หมุนควงในกระแสการไหลขวางแบบที่มีความเร็วตามแนวสัมผัสไม่เป็นศูนย์ (NZT/NZC SJICF)

ในเชิงประยุกต์ความรู้ความเข้าใจดังกล่าวจะเป็นแนวทางของงานวิจัยอื่นๆ เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพของการผสมสารเคมี และการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศสำหรับกระบวนการเผาไหม้นอกจากนี้ยังอาจเป็นแนวทางในการควบคุมการไหล (Flow control) ในอนาคต