บทที่ 2

อากาศกระแสอิสระอุณหภูมิคงที่ (ISOTHERMAL AIR JET)

อากาศกระแสอิสระมีคุณสมบัติเฉพาะต่างๆที่มีผลสำคัญต่อการทำงานของอุปกรณ์หลายชนิดที่อาศัยการส่งอากาศในลักษณะของกระแสอากาศอิสระ ซึ่งคุณสมบัติสำคัญที่ต้องพิจารณาถึงได้แก่ ความเร็วที่ตำแหน่งต่างๆในกระแสอิสระ การแผ่กระจายหรือการขยายตัวของกระแสที่พุ่งออกมา รวมทั้งผลที่ทำให้อากาศที่อยู่ในบริเวณรอบ ๆ ใกล้กระแสนั้นเกิดการเคลื่อนที่ โดยกระแสอิสระที่พิจารณาจะสมมติให้อากาศที่อุณหภูมิปรกติไหลออกจากท่อที่มีขนาดหน้าตัดคงที่ เข้าสู่ห้องหรือที่ว่างที่ปราศจากสิ่งกีดขวางทิศทางการไหลโดยปากทางออกของท่อเรียบและตั้งฉากกับผนังพอดี อากาศเมื่อพุ่งออกจากส่วนที่เป็นท่อก็จะไหลอย่างอิสระในบริเวณที่ว่างที่มีอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ออกมาจากท่อ และมีสภาพนิ่งการวิเคราะห์การไหลจะใช้หลักของกลศาสตร์ของไหลประยุกต์เพื่อหาคุณสมบัติของกระแสอิสระนี้ได้ โดยจะแยกพิจารณาใน 2 ลักษณะ คือ กระแสอากาศที่มีพื้นที่หน้าตัดทางออกเป็นวงกลม (CIRCULAR JET) และกระแสอากาศที่มีพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาว (ค่า ASPECT RATIO สูงๆ) (PLANE JET)

2.1 กระแสอากาศกลม (CIRCULAR JET)

2.1.1 การกระจายของความเร็ว (VELOCITY DISTRIBUTION) เมื่อช่วง และท่อทางออกมีหน้าตัดกลม กระแสอากาศที่พุ่งออกมาจะมีหน้าตัดกลมด้วย การกระจายความเร็วจะมีการขยายตัวกว้างออกในขณะที่ความเร็วมีค่าลดลงเมื่ออากาศเคลื่อนที่ห่างออกจากช่องทางออก ในการทำนายการกระจายความเร็วในกระแสอากาศจะใช้ สมการพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหลรวมกับข้อเสนอ แล้วทำการพิสูจน์ด้วยการทดลอง จะได้ความสัมพันธ์เป็น สมการต่อเนื่อง (CONTINUITY) สมการการเคลื่อนที่ (MOTION) และสมการอนุรักษ์โมเมนต์รวม (CONSERVATION OF TOTAL MOMENTUM) ในทิศทางการไหล โดยข้อเสนอมีว่า การกระจายความเร็วที่ระยะใด ๆ จากปากทางออกจะมีความคล้ายคลึงกันนั่นคือ

$$u/u_{c_1} = f(r/x) \qquad \text{.....(1)}$$

ซึ่งหมายความว่าที่ระยะห่างจากทางออกใดๆ (x) ค่าอัตราส่วนของความเร็วที่รัศมี(r)ใดๆ (u) กับค่าความเร็วที่เส้นศูนย์กลางของกระแสอากาศ(u_{c_1}) จะอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์เดียวกันคือ

f(r/x) เป็นฟังก์ชั่นของอัตราส่วนรัศมีนั้นๆต่อค่าระยะห่างจากทางออก จากสมการอนุรักษ์โมเมนตัม J = ∫mdr เมื่อพิจารณาในทิศทางการไหล (x) จะเป็น

$$J = \int_0^{\infty} \rho u^2 2\pi r dr = \rho u^2_o A_o \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ m = ρAu , A = 2πrdr และ $\rho u^2_o A_o$ = ค่าที่ J ที่ช่องทางออกค่า J จะมีค่าเท่ากันทุกๆค่าของความเร็วที่เส้นศูนย์กลาง (u_{c1}) กับระยะห่างจากทางออก (X) โดยการแทน u จากสมการ (1) ลงในสมการ (2)

$$J = \int_0^{\infty} \rho u^2_{c1} [f(r/x)]^2 2\pi r dr \quad \text{.....(3)}$$

ฟังก์ชั่น f(r/x) นี้สามารถจะแทนได้ด้วยฟังก์ชั่นอื่นๆ เช่น $f_1(r^2/x^2)$ และแยกเทอมอิสระออกจากอินติกรัล (INTEGRAL) แล้วเปลี่ยนตัวแปรของการอินติเกรต (INTEGRATION) จะได้

$$J = \rho\pi u^2_{c1} x^2 \int_0^{\infty} f_1(r^2/x^2) d(r^2/x^2) \quad \text{.....(4)}$$

แต่ค่า J มีค่าคงที่ทุกๆตำแหน่งของ ∝ บนเส้นศูนย์กลางของกระแสอิสระ ค่า J จะคงที่ได้เมื่อค่าฟังก์ชั่น f_1 ในอิติกรัลคงที่เท่านั้น ซึ่งจะทำให้ได้ความเร็วที่ศูนย์กลาง

$$u_{c1} = \text{CONSTANT} / x \quad \text{.....(5)}$$

จะเห็นได้ว่าในกระแสอากาศอิสระวงกลม (CIRCULAR JET) ค่าความเร็วที่ศูนย์กลาง (u_{c1}) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกลับกับระยะทางจากทางออกหรือผนัง (x) สมการนี้ใช้ได้เฉพาะความเร็วที่ศูนย์กลางที่ระยะ x ใดๆ เท่านั้น ไม่สามารถบอกความเร็วที่ตำแหน่งรัศมี r ใดๆ ได้การวิเคราะห์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ตำแหน่งรัศมี (r) ใด ๆ ก็คือ การหาฟังก์ชั่น f(r/x) ในสมการ (1) เมื่อพิจารณาอากาศที่เคลื่อนที่ออกจากช่องทางออกเป็นวงแหวนที่มีความยาว dx และความหนา dr สมการการเคลื่อนที่ของวงแหวนนี้จะประกอบด้วยเทอมของโมเมนตัม และความเสียดทาน โดยที่ไม่คิดแรงจากความดันจะได้อัตราการเพิ่มโมเมนตัมของการไหลเท่ากับแรงจากความเสียดทาน

$$\partial/\partial x(u^2\rho 2\pi r dr)dx+\partial/\partial r(u\rho v 2\pi r dx)dr = \partial/\partial r(\mu x \partial u/\partial r x 2x\pi x r x dx)dr$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปรับให้ง่ายขึ้นจะเป็น

$$2u\partial u/\partial x+(uv)/r+u\partial v/\partial r+v\partial u/\partial r$$
$$= \mu/(r\rho)\partial/\partial r(r\partial u/\partial r) \quad \text{.....(6)}$$

สมการต่อเนื่อง (CONTINUITY) สำหรับวงแหวน คือ

$$\partial u/\partial x+\partial v/\partial r+v/r = 0 \quad \text{.....(7)}$$

เมื่อรวมสมการทั้งสองนี้จะได้

$$u\partial u/\partial x+v\partial u/\partial r = \mu/(\rho r)\partial/\partial r(r\partial u/\partial r) \quad \text{.....(8)}$$

ซึ่งเป็นสมการในพิกัดทรงกระบอก (CYLINDRICAL COORDINATE) ใช้ในการไหลแบบลามินาร์ (LAMINAR) จึงมีเทอมความหนืด μ อยู่ด้วยแต่ในความเป็นจริงนั้นกระแสอากาศเกือบทั้งหมดที่ใช้งานจะไหลแบบ เทอร์บูเลนท์ จึงทำให้ต้องแทนค่า μ ด้วยความหนืด เทอร์บูเลนท์ ซึ่งจะต้องรวมผลจากการถ่ายเทโมเมนตัมที่เกิดจากการ เทอร์บูเลนท์ ด้วย

SCHLICHTING ได้ทำการแก้สมการ(8) สำหรับกระแสอากาศกลม และทดลองหาค่าความหนืด เทอร์บูเลนท์ พบว่าความเร็วเป็นไปตามความสัมพันธ์

$$U = 7.41[J/\rho]^{1/2} \quad \text{.....(9)}$$
$$x[1+57.5(r^2/x^2)]^2$$

2.1.2 ความเร็วที่เส้นศูนย์กลาง (CENTERLINE VELOCITY)

ที่ตลอดแนวของเส้นศูนย์กลางค่ารัศมี (r) มีค่าเป็นศูนย์จากสมการ(9)จะได้

$$u_{c1} = (7.41[J/p]^{1/2})/x \quad \text{.....(10)}$$

แต่ค่า J มีค่าคงที่ และอิสระจากค่า x และแสดงได้ในเทอมของความเร็ว และพื้นที่ของช่วงทางออกตามสมการ (2) แทนค่า J ในสมการ (10)

$$u_{c1}/u_o = (7.41[A_o]^{1/2})/x \quad \text{.....(11)}$$

สมการ(10) และ (11) แสดงให้เห็นว่าความเร็วที่เส้นศูนย์กลางมีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนกลับกับระยะห่าง x จากทางออกของกระแสอากาศ แต่สมการนี้จะใช้ค่า x ต่ำๆ หรือ χ=0 ไม่ได้

2.1.3 กราฟความเร็ว (VELOCITY PROFILE) จากการสมมติตอนต้นว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วมีความคล้ายคลึงกันที่ระยะ x ใดๆจึงได้สมการ (9) ดังนั้นที่ตำแหน่ง x ที่กำหนดใด ๆ การใช้สมการหรือกร๊าฟเพียงอันเดียวก็เพียงพอที่จะแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของความเร็วได้ วิธีการหา โพร์ฟาล์ย ทั่วๆ ไปมักจะใช้แบบไร้มิติ (DIMENTIONLESS) โดยทำการเขียนกราฟอัตราส่วน u/u_{o1} ในฟังก์ชั่นของ $r/r_{o.5}$ เมื่อ $r_{o.5}$ เป็นรัศมีที่ u = 0.5 xu_{c1} จากสมการ(9) และ(8) จะได้อัตราส่วนความเร็ว

$$u/u_{c1} = 1/(1+57.5r^2/x^2)^2 \quad \text{.....(12)}$$

ถ้า u = 0.5 u_{c1} จะเป็น

$$x^2 = r^2_{o.5}/0.00718$$

สมการ(39) เขียนได้คือ

$$u/u\nabla\lambda = 1/[1+0.414(r/r_{o.5})]^2 \quad \text{.....(13)}$$

ค่าจากสมการนี้มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองจริง ในช่วงค่า $r/r_{o.5}$ ระหว่าง 0 ถึง 1.2 และค่าจะต่างไปจากค่าทดลองเล็กน้อยเมื่อค่า $r/r_{o.5}$ มีค่ามากกว่า 1.3

2.1.4 เอ็นเทรนเมนต์ ขณะที่อากาศไหลออกจากท่อผ่านช่องเปิดไปสู่ที่ว่างในรูปกระแสอิสระ จะทำให้อากาศที่ห่อหุ้มรอบ ๆ ที่อยู่นิ่งเกิดการเคลื่อนที่ตามไปด้วย นั่นคือปริมาณอากาศที่เคลื่อนที่จริงจะมากกว่าจำนวนอากาศที่ไหลออกมาจากท่อ และค่าปริมาณอากาศเคลื่อนที่จะเพิ่มขึ้นตามระยะห่าง x ค่าการเพิ่มปริมาณการเคลื่อนที่ของอากาศนี้จะกำหนดเป็นค่าของอัตราการส่ง (ENTRAIN RATIO) ER ซึ่งนิยามว่าเป็นอัตราส่วนของอัตราการไหลที่ระยะ x ต่อค่าอัตราการไหลในช่องทางออก (x = 0)

$$ER = Q_x/Q_o$$

ค่าอัตราการไหลที่ระยะ x ใดๆ ได้จากการอินติเกรท

$$Qx = \int_o^{} 2\pi r u dr$$

$$= \pi \int_o^{} u_{c=1} 2r dr/(1+57.5r^2/x^2)^2$$

$$ER = Q_x/Q_o$$

$$= 0.405x/[A_o]^{1/2} = \chi \text{ (CONSTANT) } \ldots\ldots\ldots\ldots (14)$$

นั่นคือ ค่าอัตราส่วนการส่ง(ER)จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากช่องทางออก

2.1.5 ส่วนต่างๆของกระแสอากาศ (ZONE OF JET) ในกระแสอากาศจะมีบริเวณต่างๆที่มีคุณสมบัติแตกต่างออกไปจึงทำให้ไม่สามารถใช้ความสัมพันธ์เพียงอันเดียวอธิบายคุณลักษณะของกระแสอากาศทั้งหมดได้ เช่น สมการ(9)ไม่สามารถใช้หาการกระจายความเร็วที่บริเวณใกล้กับช่องทางออกของท่อได้ สมการจะให้ค่าความเร็วที่สูงมากเกินความเป็นจริงที่บริเวณช่องทางออกจะมีกรวยกลมปลายแหลมเป็นแกนอยู่ตรงกลางซึ่งในขอบเขตนี้จะมีค่าความเร็วเท่ากับความเร็วที่ทางออก (u_o) โดยปลายแหลมของยอดกรวยนี้จะอยู่ห่างจากช่องทางออกประมาณ 4 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ส่วนบริเวณภายนอกกรวยแหลมแต่มีระยะไม่เกิน 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ยากต่อการอธิบาย ส่วนที่มีระยะห่างมากกว่า 8 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อทางออกจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ในสมการ (9)

2.2 กระแสอากาศที่เป็นระนาบแบน (PLANE JET)

เมื่อช่อง และท่อทางออกมีลักษณะเป็นร่องยาวหรือสี่เหลี่ยมที่มีค่า แอสเป็ค เรโช สูง จะได้กระแสอากาศที่เป็นแผ่นบางให้แกนตามความหนาเป็น y และ แกนทิศทางการไหลเป็น x แล้วสมมติให้การกระจายความเร็วมีความคล้ายคลึงกันที่ทุกๆค่าระยะ x ใดๆ

$$u/u_{c=1} = f(y/x) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (15)$$

เมื่อ y เป็นระยะตั้งฉากกับระนาบแกนกลางของกระแสอากาศไปยังจุดที่มีความเร็วเป็น u และจากข้อสมมติที่ว่าโมเมนตัมในทิศทางการไหล(x)มีค่าคงที่ รวมกับสมการ(15) จะได้ความเร็วที่ศูนย์กลางที่กระแสอากาศ

$$u_{c1} = \text{CONSTANT}/[x]^{1/2} \qquad \text{.....(16)}$$

สมการการไหลจะคล้ายกับการไหล ลามินาร์ บนแผ่นแบนราบ เว้นแต่ต้องแทนค่าความหนืด (μ) ด้วยค่าความหนืด เทอร์บูเรนท์

สมการการกระจายความเร็วที่ตำแหน่ง x และ y ใดๆ

$$u = (2.40[J/\rho]^{1/2})/[x]^{1/2}[1-\tanh^2(7.67y/x)] \qquad \text{.....(17)}$$

จะพบว่าความเร็วที่ศูนย์กลางของกระแสอากาศแบนในสมการ(16) จะลดลงช้ากว่าความเร็วที่ศูนย์กลางของกระแสอากาศกลมตามสมการ(10)ที่ระยะห่างจากทางออก(x)เดียวกัน ในขณะที่กระแสแบนราบทำให้อากาศนิ่งในบริเวณที่ว่างเคลื่อนที่ได้น้อยกว่าอากาศกระแสกลม ส่วนการกระจายความเร็วก็มีลักษณะเช่นเดียวกับความเร็วที่ศูนย์กลาง คือ กระแสอากาศกลมจะมีการกระจายความเร็วได้มากกว่ากระแสอากาศแบน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย