บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานโครงการ

การไหลในท่อเป็นการไหลภายใต้ความดันเนื่องจากมีของไหลอยู่เต็มหน้าตัดของท่อ ซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐานของระบบท่อต่างๆซึ่งประกอบไปด้วยท่อขนาดต่างๆ ข้อต่อของท่อ อุปกรณ์ควบคุมการไหล และเทอร์ไบน์ เป็นต้น

การไหลของของไหลมี 2 แบบ คือ [4]

1. การไหลแบบราบเรียบ(Laminar flow) สภาพการไหลที่อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบมีลักษณะเหมือนเป็นชั้นบางๆวางซ้อนกัน

2. การไหลแบบปั่นป่วน(Turbulent flow) คือการไหลของไหลซึ่งในขณะที่ไหลนั้นอนุภาคของของไหลเคลื่อนตัวแบบไม่เป็นระเบียบ

จากวิชากลศาสตร์ของไหลนั้นพารามิเตอร์ ที่ใช้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและแรงจากความเฉื่อยที่มาทำให้การไหลเปลี่ยนจากlaminarไปเป็นturbulent คือ Reynolds number มีค่าเป็น

$$\mathrm{Re}_x = \frac{\rho v_\infty x}{\mu} = \frac{v_\infty x}{\nu} \qquad (2.1)$$

เมื่อ Re_x คือ Reynolds number ตรงจุดที่อยู่ห่างจากต้นของไหลเป็นระยะทาง x, ไร้ มิติ

v_∞ คือ ความเร็วของของไหลอิสระ, m/s

x คือ ระยะที่วัดจากขอบทางด้านต้นของของไหล, m

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล, kg/m^3

μ คือ ความหนืดไดนามิกส์, $N.s/m^2$

ν คือ ความหนืดเนแมติคส์ , m^2/s

การไหลในท่อเป็นการไหลที่สำคัญมาก การไหลในท่อจะเป็น laminar หรือ Turbulent ขึ้นกับค่า Reynolds number [4]

$$\mathrm{Re}_D = \frac{\rho v D}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \qquad (2.2)$$

เมื่อ Re_D คือ Reynold number ที่หาจากเส้นผ่านศูนย์กลาง D ของท่อ, ไร้มิติ

v คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหล, m/s

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ, m

กรณีการไหลในท่อจะเปลี่ยนจาก laminar เมื่อ $\mathrm{Re_D}$ = 2,300 และเมื่อ $\mathrm{Re_D}$ = 6,000 แล้วการไหลจะเป็น turbulent โดยสมบูรณ์และ 2,000 < $\mathrm{Re_D}$ < 4,000 เป็นช่วง transistion ปกติค่า Reynold number ขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวท่อ และระดับความเป็น turbulent ของของไหล

ในกรณีที่ไม่ใช่ท่อกลม จำเป็นต้องใช้รัศมีชลศาสตร์ R_h (hydraulic radius) ในการหาค่า Reynolds- number โดยที่

$$R_h = \frac{A}{P} \qquad (2.3)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของการไหล

P คือ เส้นขอบเปียก(wetted parimeter) ซึ่งเป็นความยาวของเส้นขอบหน้าตัดที่ของเหลวสัมผัสกับผิวของท่อ

ในกรณีท่อกลมจะได้ว่า

$$R_h = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} \text{ หรือ } \frac{D}{4} \qquad (2.4)$$

จะเห็นได้ว่ารัศมีชลศาสตร์ไม่ใช่รัศมีของท่อ ดังนั้นถ้าหากไม่เป็นท่อกลมจะคำนวณค่า R โดยแทนค่า D ด้วย 4 R_h

หรือ $R_h = \frac{D_H}{4}$

หรือ $D_H = 4\frac{A}{P}$ (2.5)

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัด

P คือ เส้นขอบเปียก

2.1 ความต้านทานในท่อ [4]

2.1.1 ในท่อตรง

ในขณะที่อากาศไหลในท่อตรง ความดัน ที่สูญเสียส่วนใหญ่มาจากความเสียดทานซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการของ

$$h_L = f_D\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (2.6)$$

แต่ $h_L = \frac{\Delta p}{\gamma}$

ดังนั้น $\Delta p = f_D\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{v^2}{2g}\right)\gamma$ (2.7)

เมื่อ Δp คือ ความดันรวมที่สูญเสีย , Pa

h_L คือ ความเสียดทานของการไหลในท่อ ซึ่งระบุค่าการสูญเสียเฮดในรูปของเฮดความเร็ว (velocity head ; $\frac{v^2}{2g}$)

v คือ ความเร็ว , m/s

f_D คือ แฟคเตอร์ความเสียดทาน, ไร้หน่วย

L คือ ความยาวท่อ , m

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ , m

γ คือ Specific weight N/m^3

หากว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบ (ตัวเลขเรย์โนลด์, Re มีค่าน้อยกว่า 2000) จะสามารถคำนวณค่าแฟคเตอร์ความเสียดทานได้จาก [4]

$$f_D = \frac{64}{\mathrm{Re}_D} \qquad (2.8)$$

ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วนสามารถคำนวณหาแฟคเตอร์ความเสียดทานได้จาก

$$\frac{1}{f_D^{0.5}} = -2\log\left[\left(\frac{\varepsilon}{3.7D}\right)+\left(\frac{2.51}{\mathrm{Re}\, f_D^{0.5}}\right)\right] \qquad (2.8)$$

เมื่อ ε คือ แฟกเตอร์ความขรุขระของผิวท่อ , mm

เนื่องจากความไม่สะดวกในการใช้สมการทำให้มีการพัฒนาแผนภูมิ เพื่อใช้หาค่าความดันที่สูญเสียในท่อ สำหรับความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ $20\,^{\circ}c$ ความหนาแน่นอากาศ 1.204 kg / m^3 แฟกเตอร์ความขรุขระของผิวท่อ 0.15 mm ดังแสดงในรูปที่ ผ - 1

2.1.2 การสูญเสียรอง [4]

2.1.2.1 การสูญเสียเนื่องจากการลดพื้นที่หน้าตัดของท่อ

การสูญเสียรองที่เกิดจากาการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อมีอยู่ 2 กรณี คือการลดขนาดโดยฉับพลัน กับการค่อยๆลดขนาดในลักษณะของทรงกรวยเมื่อพิจารณาการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดโดยฉับพลันจะพบว่าความดันตรงช่วงที่ลดขนาดนั้น ลดลงอย่างมากเนื่องมาจากความเร็วเพิ่มขึ้น และเกิดการสูญเสียเฮดเนื่องจากความปั่นป่วนของการไหล ในลักษณะเช่นนี้สามารถเขียนสมการของการสูญเสียเฮดเนื่องจากการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อโดยฉับพลันได้โดย

$$h_c' = k_c \frac{v^2}{2g} \qquad (2.10)$$

โดยที่ k_c คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดเนื่องจากการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อโดยฉับพลัน ซึ่งขึ้นอยู่กับสัดส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเล็ก (D_2) ต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อใหญ่ (D_1) ดังแสดงในตารางที่ ก-2

ในกรณีที่พื้นที่หน้าตัดของท่อค่อยๆลดลงในลักษณะทรงกรวยนั้น สามารถลดการสูญเสียเฮดลงไปจากกรณีข้างต้นได้อย่างมาก ซึ่งการค่อยๆลดลงของพื้นที่หน้าตัดนี้อาจลดลงในลักษณะโค้งมนเป็นปากแตร หรือจะลดลงในลักษณะทรงกรวยก็ได้ ในกรณีที่ลดลงโดยผนังท่อโค้งมนเป็นปากแตรนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์ $k_c = 0.05$ ส่วนกรณีที่ลดลงโดยมีช่วงต่อทรงกรวยตรงซึ่ง มีมุมยอด 20° - 40° จะมีค่า k_c ประมาณ 0.10 แต่ถ้ามุมยอดของทรงกรวยเล็กกว่าหรือใหญ่กว่าพิสัยดังกล่าวแล้ว จะทำให้ค่า k_c สูงขึ้นทั้งสองกรณี

2.1.2.2 การสูญเสียเนื่องจากการขยายพื้นที่หน้าตัดของท่อ [4]

การสูญเสียรองที่เกิดจากการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อมีอยู่ 2 กรณี คือ การขยายขนาดโดยฉับพลัน กับการค่อยๆขยายขนาดในลักษณะของทรงกรวยความดันในท่อที่ขยายขึ้นนั้นจะมากกว่าเดิมเพราะความเร็วลดลงและจะมีการสูญเสียเนื่องจากาการไหลเป็นแบบปั่นป่วน เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียเฮดพบว่า การสูญเสียเนื่องจากการขยายพื้นที่หน้าตัดโดยฉับพลันมีค่ามากกว่ากรณีของการลดพื้นที่หน้าตัดโดยฉับพลัน

สมการการสูญเสียเฮดเนื่องจากการขยายขนาดพื้นที่หน้าตัดโดยฉับพลันอยู่ในรูปของ

$$h'_x = (v_1-v_2)^2/2g \qquad (2.11)$$

โดยที่ v_1 คือความเร็วของของไหลที่ท่อเล็ก

v_2 คือความเร็วของของไหลที่ท่อใหญ่

h'_x คือเฮดความสูญเสียระหว่างความแตกต่างของความดัน

ในกรณีที่พื้นที่หน้าตัดของท่อค่อยๆขยายขึ้นในลักษณะทรงกรวย กรณีนี้สามารถลดการสูญเสียที่เกิดจากการลดลงของความเร็วได้การสูญเสียเฮดจะขึ้นอยู่กับขนาดมุมยอดของทรงกรวยและสัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดของท่อทั้งสอง แต่ถ้าหากกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ D_1 และD_2 แล้วเมื่อมุมยอดของทรงกรวยเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความยาวของช่วงต่อลดลงและหากพิจารณาสมการการสูญเสียเฮดเนื่องจากความเสียดทานของท่อ ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูปของ

$$h_L = \int \frac{fv^2}{D2g} dL \qquad (2.12)$$

สมการการสูญเสียเฮดในกรณีนี้คือ

$$h' = k \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \qquad (2.13)$$

โดยที่ k' คือสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมยอดของทรงกรวย ดังแสดงในรูป ก- 2

2.1.2.3 การสูญเสียตรงปากทางเข้า [4]

เมื่อของเหลวไหลจากถังเก็บกักเข้าสู่ท่อ ตรงปากทางเข้าของท่อนั้นจะเกิดการหดตัวของลำการไหล ซึ่งการหดตัวที่เกิดขึ้นที่ปากทางเข้านี้เป็นตำแหน่งที่มีความเร็วสูงสุดแต่มีความดันต่ำที่สุดจึงทำให้เกิดการสูญเสียเฮด ซึ่งคำนวณเฮดการสูญเสียเนื่องจากความปั่นป่วนตรงปากทางเข้าท่อ คือ

$$h'_e = k_e \frac{v^2}{2g} \qquad (2.14)$$

เมื่อ h'_e คือ การสูญเสียเนื่องจากความปั่นป่วนตรงปากทางเข้าท่อ

k_e คือ สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียเฮดตรงปากทางเข้าท่อซึ่งหาได้จากรูป ผ-2

2.1.2.4 การสูญเสียที่ปลายท่อ [4]

เมื่อของเหลวไหลออกจากท่อด้วยความเร็ว v เข้าสู่ถังเก็บกักขนาดใหญ่พลังงานจลน์ของลำการไหลจากท่อจะสลายไปทั้งหมดเมื่อไหลเข้าสู่ถัง ดังนั้นการสูญเสียเฮดตรงทางออกที่ปลายท่อคือ

$$h'_d = \frac{v^2}{2g} \qquad (2.15)$$

หากต้องการลดการสูญเสียจำเป็นต้องลดความเร็วโดยการให้ปลายของท่อยื่นเข้าไปในผนังของถัง

2.1.2.5 การสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ท่อ [4]

อุปกรณ์ท่อหมายถึงส่วนต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการติดตั้งระบบท่อ เช่น ข้อต่อต่างๆ ข้องอ วาล์ว และประตูน้ำ เป็นต้น อุปกรณ์ท่อเหล่านี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของการไหลดังนั้นการสูญเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์ท่อจึงสามารถระบุได้ในรูปของ

$$h_L = k\frac{v^2}{2g} \qquad (2.16)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วในท่อซึ่งมีขนาดเท่ากับอุปกรณ์นั้นๆ

k คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียเฮดของอุปกรณ์ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ ก-1

2.1.2.6 สมการมูลฐานของการไหล [5]

สมการมูลฐานของการไหล (Fundamental equations of fluid motion) ที่จะกล่าวถึงนี้ประกอบด้วยสมการหลักที่สำคัญ 3 สมการ คือสมการอนุรักษ์มวลสารหรือสมการสภาพต่อเนื่อง (Continuity equations) และสมการพลังงาน (Energy equations) สมการทั้ง 2 นี้สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของของไหลได้ครอบคลุมทั้งในภาคทฤษฎีและในการประยุกต์ใช้งานดัง

สมการสภาพต่อเนื่องในการไหลแบบคงตัวมิติเดียว (Continuity equations for One Dimensional Steady Flow) ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้หลักการอนุรักษ์มวลสาร ซึ่งกล่าวว่าภายในขอบเขตจำกัดมวลสารจะไม่มีการสูญหาย

$$m = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \qquad (2.17)$$

สมการที่ (2.23) คือสมการสภาพต่อเนื่องซึ่งอาจกล่าวได้ว่าในการไหลแบบคงตัว อัตราการไหลผ่านหน้าตัดใดๆของลำการไหลจะมีค่าคงที่เสมอและหน่วยของสมการที่ (2.23) คือ kg/s ถ้าหากต้องการทราบค่าอัตราการไหลเชิงน้ำหนัก (weight flow rate) สามารถทำได้โดยการคูณสมการที่ (2.23) ด้วย g จะได้ (volume flow rate) สำหรับของไหลที่กดอัดไม่ได้ (ความหนาแน่นคงที่) จะได้

$$G = gm = \gamma_1 A_1 v_1 = \gamma_2 A_2 v_2 \qquad (2.18)$$

หรือในกรณีที่ต้องการทราบอัตราการไหลเชิงปริมาตร[5]

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \qquad (2.19)$$

หน่วยของสมการที่ (2.24) และ (2.25) ในระบบ SI คือ N/s และ m^3/s ตามลำดับ

สมการพลังงานพื้นฐานในการไหลแบบคงตัว (Basic Energy Equation for Steady Flow) เป็นสมการการไหลแบบคงตัวของของไหลที่กดอัดไม่ได้สมการพลังงานมีพื้นฐานมาจากกฎข้อที่ 1 ของวิชาอุณหพลศาสตร์ ซึ่งกล่าวว่าสำหรับการไหลแบบคงตัวงานที่ได้รับจากระบบรวมกับพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่หรือออกจากระบบ จะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบ นั่นคือ

$$\text{Work} + \text{Heat} = \Delta\text{Energy}$$

โดยที่งาน (Work) ความร้อน (Heat) และ พลังงาน(Energy) จะต้องอยู่ในหน่วยเดียวกัน จึงจะสามารถถ่ายเทระหว่างกันได้ภายในเงื่อนไขที่เหมาะสม

จะได้ $$\left(z_1 + \frac{p1}{\gamma_1} + \frac{v_1^2}{2g} + I1\right) + h_m + Q_H = \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma_2} + \frac{v_2^2}{2g} + I_2\right) \qquad (2.20)$$

กำลังที่ได้รับจากของไหล

$$\left.\begin{aligned} Power &= \frac{energy}{time} = \frac{energy}{weight} x \frac{weight}{time} \\ &= HG = H\gamma Q \end{aligned}\right\} \qquad (2.21)$$

ระบบ SI : กำลังม้า hp = $\frac{\gamma HQ}{746}$

โดยที่ γ = น้ำหนักจำเพาะของของไหล ; N/m^3

Q = อัตราการไหล ; m^3/s

H = เฮดรวม ; m

1 hp = 746 watt

2.2 เครื่องสูบ (Pumps) [6]

เครื่องสูบหรือปั๊มจะทำหน้าที่ในการสูบของเหลว จากจุดที่มีเฮดความกดดันต่ำ (Low pressure head) โดยส่งของเหลวดังกล่าวออกไปตามระบบท่อ ด้วยเฮดความกดดันที่สูงกว่าเดิม (High pressure Head) โดยปกติแล้วการที่จะให้ของเหลวไหลจากจุดที่มีเฮดความกดดันต่ำกว่าไปยังจุดที่มีเฮดความกดดันสูงกว่านั้น จะต้องใช้เครื่องสูบทำหน้าที่ในการป้อนพลังงานกลให้แก่ของเหลวนั้นๆ เพื่อที่จะทำให้ของไหลนั้นมีพลังงานที่จะใช้ในการขับเคลื่อนตัวเองโดยสามารถเอาชนะความต้านทานที่จะเกิดขึ้นต่อการไหลภายในระบบนั้นๆ เครื่องสูบจะสูบของไหลจากด้านดูด(suction)และปล่อยออกไปยังอีกด้านหนึ่ง(Delivery) โดยรับพลังงานจากเครื่องต้นกำลังอาทิ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น ถ้าแบ่งตามคุณลักษณะทางด้านไฮดรอลิคส์ของเครื่องสูบชนิดนั้นๆ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะคือ

1. แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pumps)
2. แบบโรตารี (Rotary Pump)
3. แบบเลื่อนชัก หรือแบบลูกสูบ (Reciprocating Pump)
4. แบบพิเศษ (Specialized Pump)

กำลังและประสิทธิภาพของเครื่องสูบ [6]

ค่าประสิทธิภาพของเครื่องสูบ(η)เราสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง แรงม้าไฮดรอลิคส์ (Hydraulic Horsepower,whp) กับแรงม้าเบรค (Brake Horsepower,bhp)

โดยที่ $$\eta = \frac{whp}{bhp}$$

และ $$whp = \frac{Q * TDH * \gamma}{746}$$

เมื่อ whp = แรงม้าไฮดรอลิคส์,hp

γ = น้ำหนักจำเพาะของของไหล ,N/m^3

TDH = เฮดปล่อยรวม,m

Q = อัตราการไหลของของไหลผ่านท่อ,m^3/sec

ในการขับเคลื่อนเครื่องสูบให้สามารถทำงานได้ จะต้องใช้แหล่งต้นกำลังจากภายนอก อาทิ มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งกำลังงานของแหล่งต้นกำลังก็คือ ค่าแรงม้าเบรค(bhp)

2.3 พัดลม (Fans) [6]

พัดลมคือเครื่องสูบซึ่งใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน โดยจะทำการขับเคลื่อนอากาศหรือแก๊สต่างๆให้เคลื่อนที่ด้วยค่าความกดดันต่ำๆ พัดลมแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

พัดลมกรงกระรอก (centrifugal fan) ซึ่งดูดลมเข้าทางด้านข้าง จากนั้นส่งลมผ่านใบพัดออกด้านหน้า พัดลมกรงกระรอกยังสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะของใบพัดอีก คือ forward-curved, backward-curved และ radial หรือ straight พัดลมกรงกระรอก

พัดลมแบบใบพัด (axial fan) ซึ่งดูดลมเข้าทางด้านหลังใบพัด จากนั้นส่งผ่านใบพัดออกไปตามแนวแกนใบพัด พัดลมแบบใบพัดนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ คือ แบบ propeller, tubeaxial และ vaneaxial

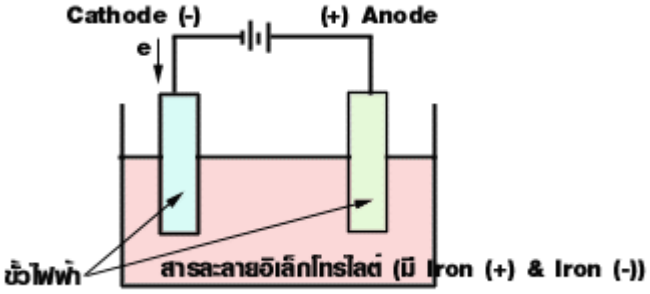
สำหรับการนำไปใช้งานนั้น ถ้าเป็นการส่งลมที่มีระบบท่อลมก็ใช้พัดลมกรงกระรอกหรืออาจจะใช้แบบ tubeaxial และ vaneaxial ก็ได้ ถ้าเป็นการส่งลมที่ไม่มีระบบท่อลมและความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของลมมีน้อย ก็ให้ใช้แบบใบพัดธรรมดา เป็นที่น่าสังเกตว่าในเครื่องส่งลมเย็นแบบ self-contained จะใช้พัดลมกรงกระรอก โดยไม่จำเป็นต้องมีระบบท่อลม ซึ่งพัดลม

ชนิดกรงกระรอกนิยมใช้กันมาก เนื่องจากส่งลมได้เงียบและประสิทธิภาพในการส่งลมมีมาก การควบคุมปริมาณการส่งลมของพัดลมทำได้โดยปรับสายพาน หรือระบบที่ขับเคลื่อนพัดลม สำหรับพัดลมแบบใบพัดเหมาะสำหรับใช้งานกับการส่งลมปริมาณลมมากๆซึ่งความสำคัญเป็นอันดับรองลงมา

2.4 อิเล็กโตรไลซิส (Electrolysis) [9]

อิเล็กโตรไลซิส (Electrolysis) คือกระบวนการผ่านกระแสไฟฟ้า (D.C.) จากภายนอกเข้าไปในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ แล้วทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ตัวอย่างเช่น อิเล็กโตรลิซึม และการชุบ (ขบวนการที่ผ่านกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี)

เครื่องมือที่ใช้แยกสารละลายด้วยไฟฟ้าเรียกว่า เซลล์อิเล็กโตรไลต์ หรืออิเล็กโตรลิติกเซลล์ ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า ภาชนะบรรจุสารละลายอิเล็กโตรไลต์ และเครื่องกำเนิดกระแสตรง(D.C) เช่น เซลล์ไฟฟ้า หรือ แบตเตอรี่ ดังรูปที่ 2.1



รูป 2.1 แสดงส่วนประกอบของอิเล็กโตรไลซิส [9]

ขั้วไฟฟ้า (Electrode) คือแผ่นตัวนำที่จุ่มในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ แล้วต่อกับเซลล์ไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ แบ่งเป็นแอโนด และ แคโทดสารละลายอิเล็กโตรไลต์ คือสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ เพราะมี Iron (+) + Iron (-) Iron (+) วิ่งไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงเรียกขั้วลบว่า แคโทด และเรียกไอออนบวกว่า แคตไอออน (cathion)Iron (-) วิ่งไปให้ e- ที่ขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า แอโนด และเรียก Iron (-) ว่า แอนไอออน (Anion)

2.5 มาตรฐานอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม [8]

มาตรฐานอากาศเสียที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดให้ชนิดของสารเจือปนที่เป็นตะกั่วที่เกิดจากการผลิตโดยทั่วไปมีปริมาณสารเจือปนในอากาศมีค่าไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยระดับค่าปริมาณของสารที่เจือปนในอากาศ ให้คำนวณเทียบที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

คัดแปลงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2536 เรื่องกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน ลงวันที่ 20 กรกฎาคม 2536 ใช้บังคับเฉพาะโรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดกรุงเทพฯ สมุทรปราการ นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรสาคร นครปฐม ชลบุรี ระยอง เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สงขลา กระบี่ ภูเก็ต

วิธีการตรวจวัดมาตรฐานค่าสารตะกั่ว (Pb) (mg/m^3)โดยวิธี US.EPA method 12: วิธีการตรวจวัดปริมาณก๊าซ์ไฮโดรเจนคลอไรด์ภายในปล่องโรงงานอุตสาหกรรม (Determination of Inorganic Lead Emissions from Stationary Sources) ที่องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกากำหนดไว้ หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

2.6 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมกำหนดให้ชนิดของโลหะหนัก (Heavy Metal)ที่เป็นตะกั่วมีค่ามาตรฐานไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ โดยวิธีAtomic Absorption Spectro Photometry ชนิด Direct Aspiration หรือวิธี Plasma Emission Spectroscopy ชนิด Inductively Coupled Plama : ICP

แหล่งที่มาประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13ง ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539