การควบคุม
การกัดกร่อนของท่อ
(CONTROL OF PIPELINE CORROSION)

นายปฐมบวร ประภัทรชาญ
วิศวกรที่ปรึกษาและออกแบบระบบ
CATHODIC PROTECTION
การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

การกัดกร่อนคืออะไร

มีผู้คนกล่าวกันว่า Corrosion คือการ Oxidation บางคนก็ว่าเป็น Chemical Attack มีหลายคนพูดว่า Corrosion คือ Electrical Phenomenon เป็น Electrolysis กล่าวรวมได้ว่า Corrosion Process ที่เกิดขึ้นกับงานท่อ (Pipeline Work) มีพื้นฐานจาก Electrochemical และมี Oxygen เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

กลไกของการกัดกร่อน

(THE BASIC CORROSION MECHANISM)

การเกิด Corrosion ได้นั้นจะต้องประกอบด้วย

1. มี Anode และ Cathode
2. มี Electrical potential ระหว่าง Anode และ Cathode
3. มีสื่อไฟฟ้าต่อเชื่อมโดยตรงระหว่าง Anode และ Cathode เป็นวงจรไฟฟ้าภายนอก

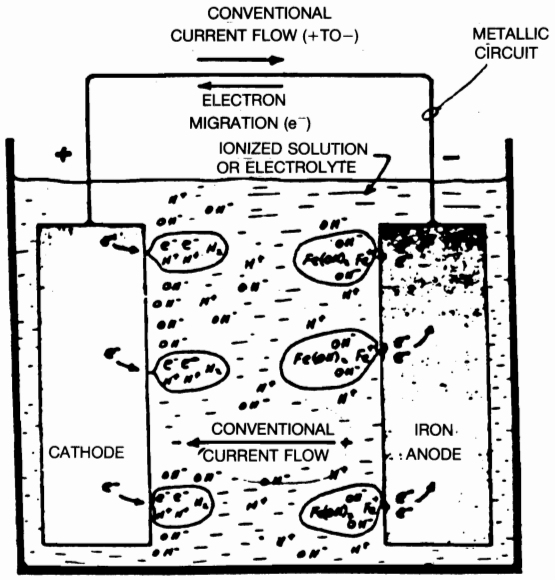

Figure -- Diagramatic representation, corrosion of iron

4. มี Electrolyte อีกด้านหนึ่งของวงจรเป็นวงจรไฟฟ้าภายใน เช่น น้ำ, ดิน เป็นต้น

ข้อควรจำเกี่ยวกับทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้า

1. กระแสไหลจาก (+) ไป (–) ตามวงจรไฟฟ้าภายนอกที่เป็นโลหะคือ ไหลจาก Cathode ไป Anode
2. กระแสไหลจาก Anode ไปที่ Cathode โดยผ่าน Electrolyte ซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าภายใน Cell
3. ส่วนที่เป็น Anode ซึ่งกระแสไฟไหลออกสู่ Electrolyte จะเกิดการกัดกร่อนขึ้น
4. Cathode ซึ่งรับกระแสไฟจาก Anode โดยผ่าน Electrolyte จะไม่ถูกกัดกร่อน

กระแสไฟมีผลต่อการกัดกร่อนอย่างไร

1. กระแสไฟเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการกัดกร่อน กระแสไฟสูง การกัดกร่อนยิ่งมาก
2. กระแส DC-Current 1 Ampere ซึ่งคลายประจุ (Discharge) ผ่าน Electrolyte จะทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็ก 20 ปอนด์ ในเวลา 1 ปี
3. กระแส 1 Milliampere หรือ 1 mA ทำให้ท่อเหล็กขนาด ϕ 2 นิ้ว (ซึ่งมีความหนาปกติตามมาตรฐาน) ถูกกัดกร่อนเป็นรูขนาด ϕ 1/4 นิ้ว จำนวน 7 รูได้ภายในเวลา 1 ปี

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและกระแสไฟ

1. โดยกฎของโอห์ม (Ohm's Law) เมื่อความต้านทานต่ำ กระแสไฟจะสูง เกิดการกัดกร่อนสูง
2. ความต้านทานของวงจรมี 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ
   -ความต้านทานที่เราจัดให้มีขึ้นได้แก่ Anode, Cathode, สายไฟ, Connector เป็นส่วนที่ 1
   -ส่วนที่ 2 คือความต้านทานจาก Polarization (Hydrogen) Film ซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวของ Cathode
3. ความต้านทานต่าง ๆ เมื่อแยกแยะออกได้ดังนี้
   -ความต้านทานภายในตัว Anode และ Cathode
   -ตัวนำสายไฟที่ต่อเชื่อม ก็มีความต้านทานเช่นกัน
   -จุดต่อเชื่อมต่าง ๆ
   -Electrolyte
   -Coating
   -Polarization Film
   -อื่น ๆ

POLARIZATION FILM AND CURRENT FLOW

Polarization Film ทำให้เกิด Insulating Layer ขึ้นที่ผิวของ Cathode ทำให้เกิดความต้านทานทางไฟฟ้าขึ้น ทำให้การไหลของ Corrosion Current ลดลง และมี Voltage Drop ที่ Polarization Film

TABLE ––Electromotive Force Series of Metals[1]

Metal	Volts[2]
Magnesium	–2.37
Aluminum	1.66
Zinc	–0.76
Iron	–0.44
Tin	–0.14
Lead	–0.13
Hydrogen	0.00
Copper	+0.34 to +0.52
Silver	+0.80
Platinum	+1.20
Gold	+1.50 to +1.68

(1) From Handbook of Chemistry and Physics. 41st Edition, 1959-1960, Chemical Rubber Publishing Co., Page 1733.

(2) Half-cell potential in solution of own salts, measured with respect to hydrogen reference electrode.

TABLE ––Practical Galvanic Series

Metal	Volts (1)
Commercially pure magnesium	–1.75
Magnesium alloy (6% A1, 3% Zn, 0.15% Mn)	–1.6
Zinc	–1.1
Aluminum alloy (5% zinc)	–1.05
Commercially pure a aluminum	–0.8
Mild steel (clean and shiny)	–0.5 to –0.8
Mild steel (rusted)	–0.2 to 0.5
Cast iron (not graphitized)	–0.5
Lead	–0.5
Mild steel in concrete	–0.2
Copper, brass, bronze	–0.2
High silicon cast iron	–0.2
Mill scale on steel	–0.2
Carbon, graphite, coke	+0.3

(2) Typical potential normally observed in neutral soils and water, measured with respect to copper sulfate reference electrode.

รูปแบบของการกัดกร่อน

(TYPES OF CORROSION CELLS ON PIPELINE)

1. Dissimilar Corrosion Cells
   เป็น Corrosion Cell ที่เกิดจากโลหะต่างชนิดกัน (ดูจาก Table Practical Galvanic Series) ค่า Potential (Volt) ที่ติดลบสูงจะเป็น Anode (ถูกกัดกร่อน)

2. Dissimilar Soil
   ซึ่งมีผลจากดินต่างชนิดกัน

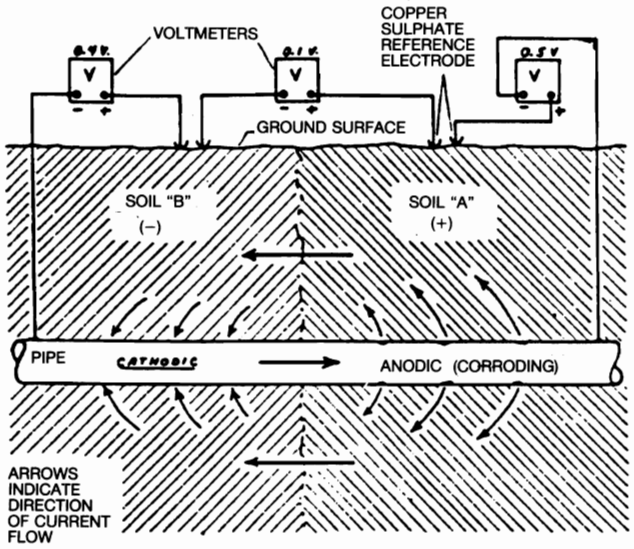

Figure -- Corrosion from dissimilar soils

3. Differential Aeration Corrosion Cells
   เมื่อมีอากาศแทรกอยู่ใน Electrolyte มากน้อยต่างกัน

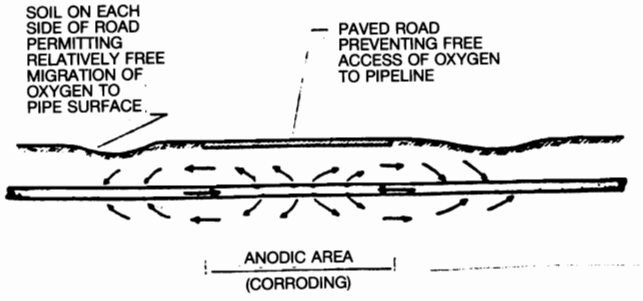

Figure -- Corrosion from differential aeration (Arrows indicate direction of current flow)

4. การกัดกร่อนเมื่อท่อใหม่และท่อเดิมต่อร่วมกัน
ท่อใหม่มี Potential สูงกว่าอัตราการกัดกร่อน
ในระยะต้นจะมากกว่า

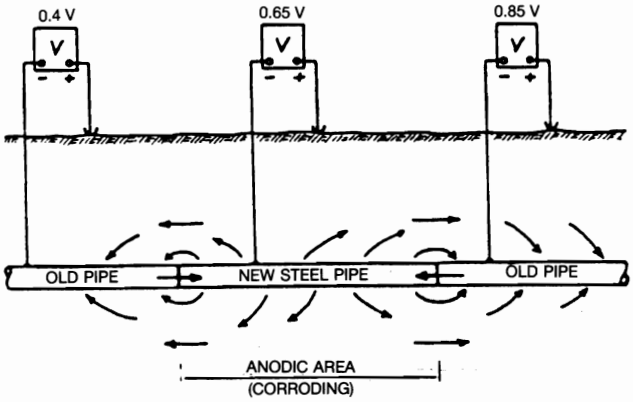

Figure -- Corrosion of new steel in contact with old steel

5. การกัดกร่อนเนื่องมาจาก MILLSCALE

Milscale ของท่อรีดร้อน (Hot Rolled Steel) หรือสนิมเหล็กที่ติดอยู่บนผิวท่อ เมื่อเทียบกับตัวท่อแล้ว Millscale จะเป็น Cathode ตัวท่อจะเป็น Anode ท่อจะถูกกัดกร่อนและจะรุนแรงในที่ที่เป็น Low Resistivity Environment

ความสัมพันธ์ของขนาดพื้นผิว ANODE และ CATHODE

(RELATIVE SIZE OF ANODIC AND CATHODIC AREA)

1. กรณีที่ Anode มีพื้นผิวน้อยกว่า Cathode มาก จะเกิดการกัดกร่อนรุนแรงที่ Anode

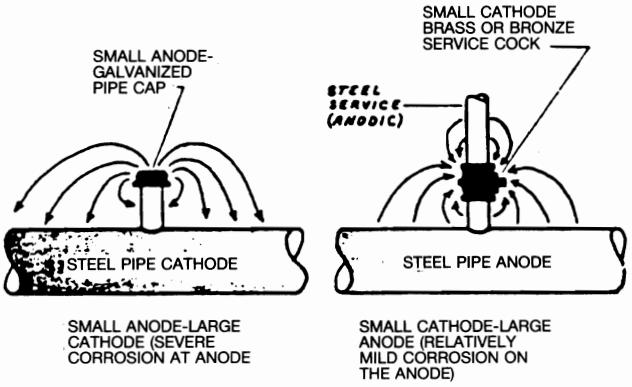

Figure -- Effect of unequal anode - cathode areas

2. กรณี Cathode มีพื้นผิวน้อยกว่า Anode มาก จะเกิดการกัดกร่อนเบาบางที่ Anode

วิธีควบคุมการกัดกร่อน

(CORROSION CONTROL METHODS)

มีหลักการอยู่ 3 ข้อคือ

1. ใช้ Coating ปิดพื้นผิวไม่สัมผัสกับ Electrolyte
2. ใช้ Insulated Joint ป้องกันไม่ให้มีการต่อเชื่อมกันทางไฟฟ้ากับท่ออื่นๆ
3. ใช้ Cathodic Protection

การป้องกันการกัดกร่อน โดยวิธี

CATHODIC PROTECTION

Cathodic Protection ที่หลายๆ คนบ่นว่ายาก ซับซ้อนนั้น มีหลักการพื้นฐานง่ายๆ เท่านั้น สิ่งที่ยุ่งยากสลับซับซ้อนนั้น เนื่องจากมีการประยุกต์หลักการพื้นฐานมาใช้ควบคุมการกัดกร่อนของโลหะ เช่น ท่อเหล็ก ให้มีผลอย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งในหัวข้อนี้จะเกี่ยวข้องกับทฤษฎีของ Cathodic Protection โดยจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานพอสังเขป

ทฤษฎีเบื้องต้นของ CATHODIC PROTECTION

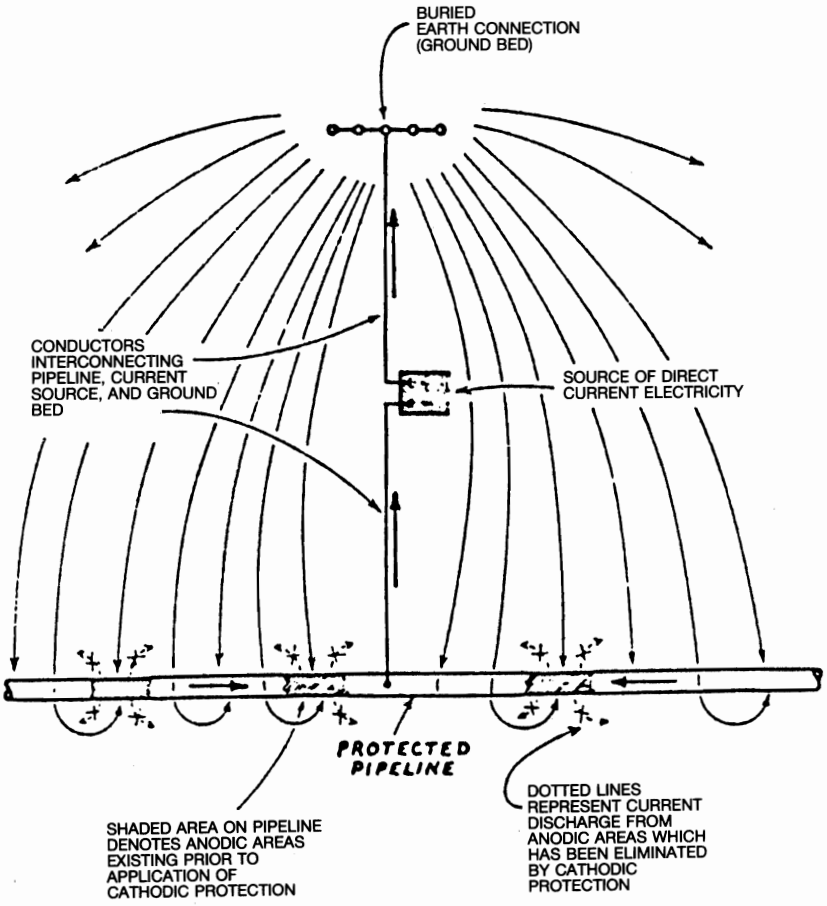

Figure -- Basic cathodic protection installation

Anode และ Cathode จะต้องมีส่วนต่อเชื่อมถึงกันทางไฟฟ้าและโดยผ่าน Electrolyte ซึ่งเป็นปฏิกริยาไฟฟ้าเคมี ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลจาก Anode ผ่าน Electrolyte ไปยัง Cathode โดยการผลักดันของ Driving Voltage ของระบบฯ ที่เสริมเข้ามามีพอเพียงและมากกว่า Driving Voltage ของ Corrosion ที่เกิดขึ้น

มีสิ่งที่ควรทำความเข้าใจว่าระบบ CP นั้นไม่ได้กำจัด Corrosion ที่มีอยู่ แต่เป็นการป้องกัน, ชลอ หรือหยุดการเกิด Corrosion ไม่ให้เพิ่มขึ้น ดังนั้น โครงสร้างโลหะต่าง ๆ เช่น ท่อเหล็กจะต้องขจัด Corrosion (สนิม) ที่มีอยู่เดิมออกเสียก่อน จึงจะมีประสิทธิภาพการป้องกันที่ดีจากระบบ CP

การนำระบบ CATHODIC PROTECTION มาใช้งาน

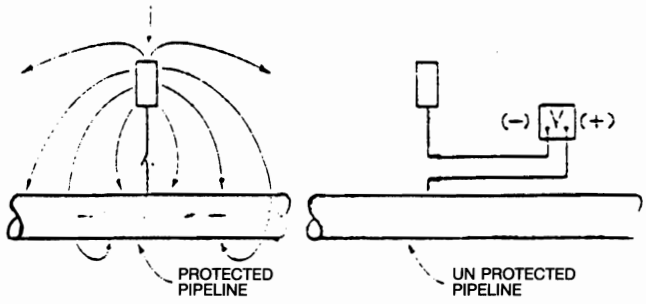

Figure --Cathodic protection with galvanic anodes

1. CP โดยใช้ GALVANIC ANODE

จากตาราง Pratical Galvanic Series เมื่อโลหะต่างชนิดสัมผัสหรือต่อกันทางไฟฟ้า และมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้แล้ว โลหะที่มี Galvanic Series สูงกว่าจะเป็น Anode เกิดการกัดกร่อนที่ตัว Anode เราเรียกตัว Anode นี้ว่า Galvanic Anode

Galvanic Anode มีกระแสไฟและแรงดันไฟฟ้าในขอบเขตจำกัด จึงเหมาะกับปริมาณงานที่ไม่ใหญ่นัก เช่น ท่อช่วงสั้น ๆ โดยสัมพันธ์กับ Coating ด้วย เช่น ท่อความยาว 100 เมตร ที่มี Coating ที่ดี การติดตั้งที่ดีมีคุณภาพจะได้รับการป้องกันการกัดกร่อนด้วยระบบ CP โดยสมบูรณ์ หากว่าไม่มี Coating ที่ตัวท่อแล้ว การป้องกันอาจครอบคลุมได้เพียง 1-2 เมตรเท่านั้น

2. ระบบ CP โดยใช้ IMPRESSED CURRENT

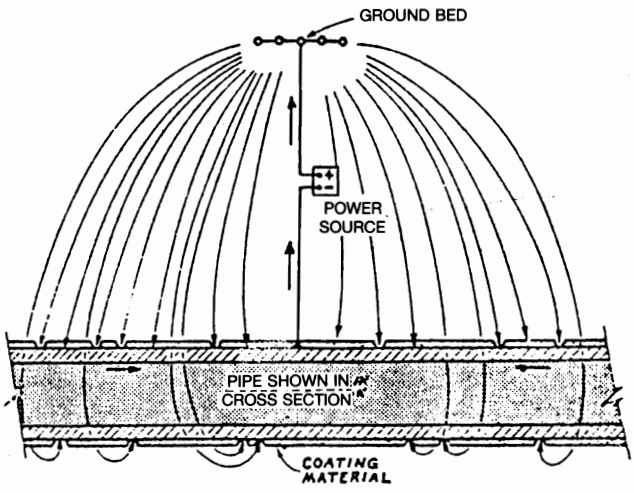

Figure -- Cathodic protection of coated pipeline

คือการใช้ Voltage จากกระแสไฟตรงซึ่งเป็นพลังงานภายนอก (Outside Direct Current Power Source) โดยติดตั้งอยู่ในระบบ CP ระหว่าง Anode และ Cathode (ตามรูป) ซึ่งจะสามารถจัดหา Power Capacity โดยมี Driving Voltage สูง-ต่ำตามที่ต้องการได้

โดยทั่วไปแล้วจะใช้ Power Source ที่เรียกว่า Rectifier ซึ่งจะแปลงกระแสไฟสลับที่มีอยู่ทั่วไปเป็นกระแสไฟตรง (Direct Current) ที่มี Voltage ต่ำ และสามารถปรับ DC Output Voltage ให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ต่ำกว่า 10 Volts หรือมากกว่า 100 Volts ก็ได้ แต่โดยทั่วไปจะมีช่วงใช้งานระหว่าง 10-50 Volts กระแสไฟที่ใช้มีค่าต่ำกว่า 10 Amperes จนถึงหลายร้อย Amperes

Power Source อื่น ๆ ก็มีใช้กัน เช่น Battery, Solar Cell, Thermocouple ฯลฯ ทั้งนี้โดยสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ, ความเหมาะสมและความจำเป็น

CRITERIA FOR CATHODIC PROTECTION

จากทฤษฎีเบื้องต้นที่ว่า Cathode เป็นส่วนที่ได้รับการป้องกันการกัดกร่อนนั้น อาจมีผู้สงสัยว่า "แล้วเราจะรู้หรือแน่ใจได้อย่างไร?" จากผลของการใช้งานได้ปฏิบัติมานานกว่าสี่สิบปีที่มีการใช้ระบบ CP ได้มีการพัฒนาแก้ไขปรับปรุงหลักเกณฑ์ต่าง ๆ จากผลที่เกิดจากการปฏิบัติในสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ๆ เช่น การวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage or Potential) ที่พื้นดินที่ตัวท่อ (Cathode) ฝังดินอยู่ จนทราบ Criteria ที่เหมาะสมที่จะป้องกันตัวท่อไม่ให้เกิดการกัดกร่อนขึ้นได้

Potential Criteria เป็น Criteria ที่สำคัญอันหนึ่งในระบบ CP โดยกำหนดค่าติดลบ(-0.85 volt) หรือค่าติดลบที่มากกว่านี้ ทั้งนี้โดยเทียบกับ Cu_2SO_4 Electrode (Copper Copper Sulfate Electrode)

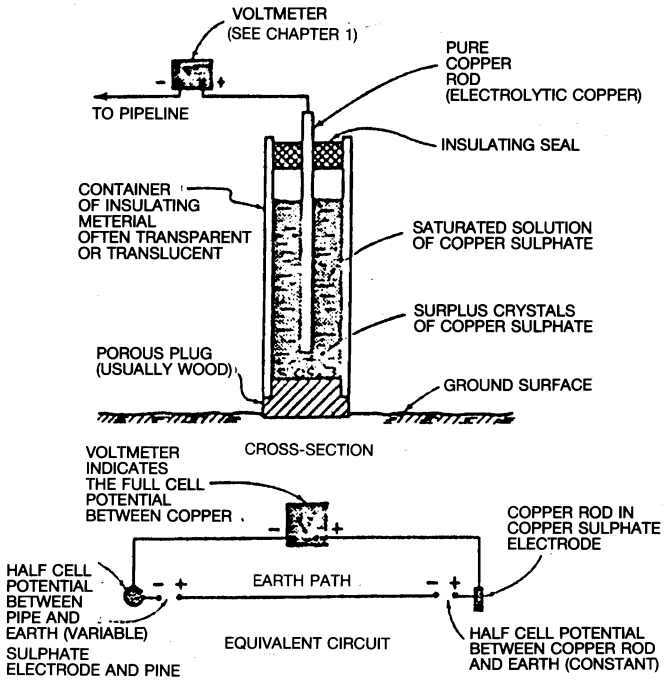

Figure -- Copper sulfate electrode

สรุป : ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นทฤษฎีพื้นฐานของการกัดกร่อนและการป้องกันการกัดกร่อน โดยใช้วิทยาการ Cathodic Protection ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้เริ่มศึกษาและผู้เกี่ยวข้องที่จะวิเคราะห์การกัดกร่อนในส่วนนี้ได้อย่างมีหลักการ อนึ่งการป้องกันการกัดกร่อนโดยวิธี CP นี้ ได้กล่าวถึงการป้องกันการกัดกร่อนที่พื้นผิวโลหะภายนอกท่อ แต่ก็จะสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นผิวภายในท่อหรือ Vessels และโครงสร้างโลหะอื่น ๆ ที่มี Electrolyte โดยอาศัยเทคนิคทางปฏิบัติที่เหมาะสม

อ้างอิง : **ดูเอกสารประกอบการบรรยายข้างต้นได้รวบรวมจากตำรา** Corrosion ต่าง ๆ เช่น ตำราของ NACE (National Association of Corrosion Engineer) ประกอบกับประสบการณ์การทำงานของผู้เขียน