หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปัญหาและโลหะที่ใช้ในเครื่องควบแน่น

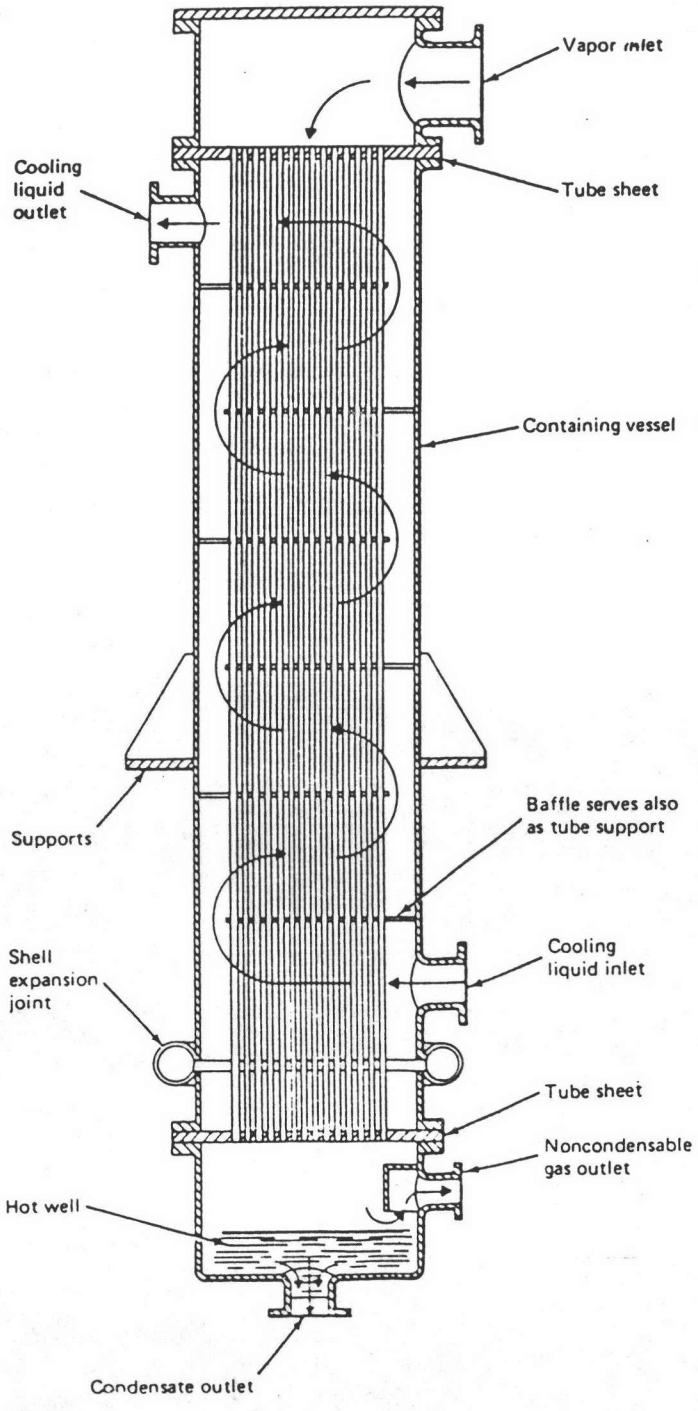
ในขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า สิ่งที่มีความสำคัญได้แก่ การนำเอาไอน้ำไปหมุนกังหันหรือเทอร์ไบน (Turbine) ซึ่งเป็นต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่เนื่องจากในการผลิตไอน้ำมีขั้นตอนที่ยุ่งยาก และเสียค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นไอน้ำภายหลังจากการหมุนกังหันแล้วจะถูกควบแน่นเป็นน้ำเพื่อนำกลับเข้าไปใช้ในระบบใหม่อีกครั้งหนึ่ง หนึ่งในระบบที่ทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำนั้นได้แก่ ระบบควบแน่นที่ใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็น (Cooling water system) ระบบดังกล่าวมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องมือแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger equipment) และน้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น (Cooling water) เราเรียกเครื่องมือที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นและไอน้ำนี้ว่า เครื่องควบแน่น (Condenser) White (1972) ได้แบ่งประเภทของเครื่องควบแน่นออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Box หรือ Atmospheric condenser (รูปที่ 2.1) เครื่องควบแน่นประเภทนี้ น้ำหล่อเย็นจะไหลอยู่ภายนอกท่อควบแน่น (Condenser tube) ในขณะที่ไอน้ำร้อนจะอยู่ภายในท่อควบแน่น อีกประเภทหนึ่งคือ Shell & tube condenser (รูปที่ 2.2) เครื่องควบแน่นประเภทนี้ น้ำหล่อเย็นจะไหลอยู่ภายในท่อควบแน่น ในขณะที่ไอน้ำร้อนจะอยู่ภายนอกท่อควบแน่น

2.1 ชนิดและประเภทของระบบหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น

Strauss and Puckorious (June, 1984) และ Butter and Ison (1966) ได้แบ่งเครื่องควบแน่นที่ใช้น้ำเป็นตัวหล่อเย็นออกเป็น
3 ระบบได้แก่

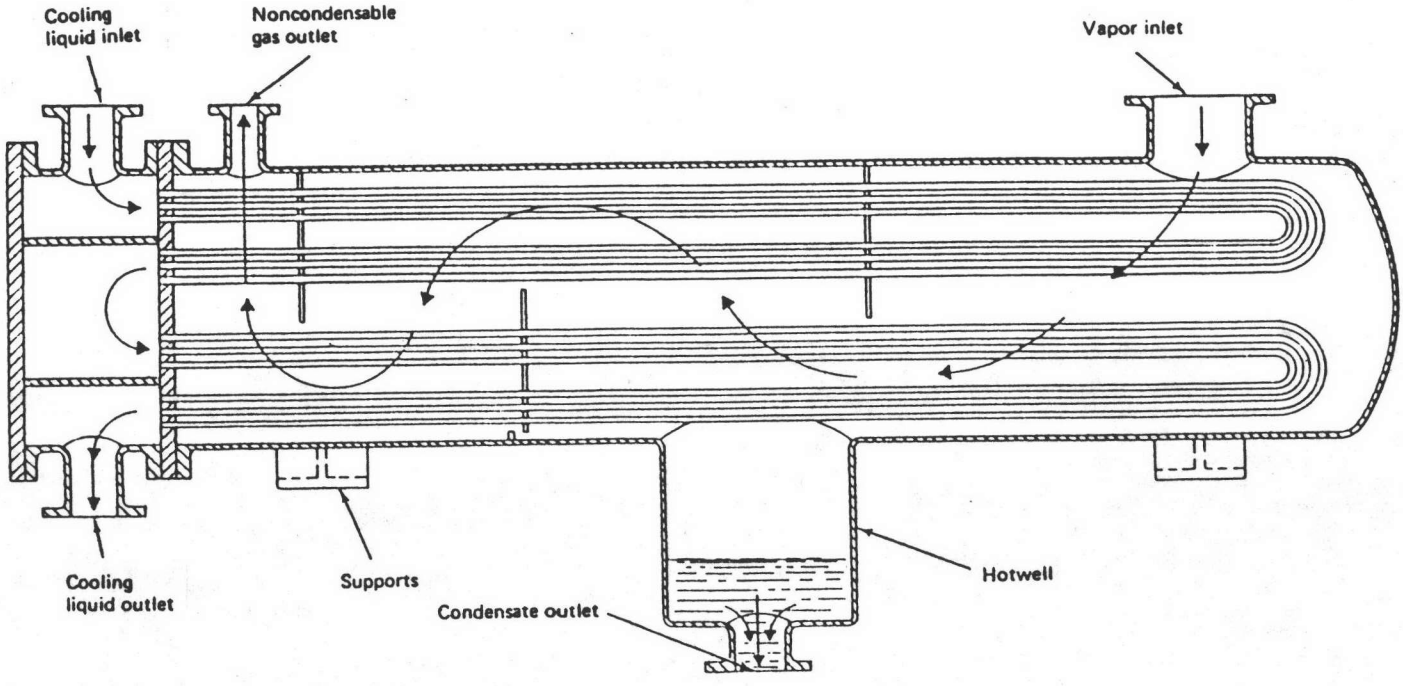
1) ระบบ Once through คือระบบที่น้ำหล่อเย็นไหลผ่านเครื่องควบแน่นเพียงครั้งเดียว เป็นระบบที่ต้องใช้น้ำหล่อเย็นเป็นจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่แล้วแหล่งน้ำที่นำมาใช้ได้แก่ แม่น้ำ ทะเลสาบ หรือทะเล ดังนั้นการใช้เครื่องควบแน่นระบบนี้จะต้องพิจารณาเรื่องลักษณะสมบัติของน้ำที่จะนำมาใช้ Strauss และ Puckorious (June, 1984) ให้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1 เครื่องควบแน่นแบบ Atmospheric condenser

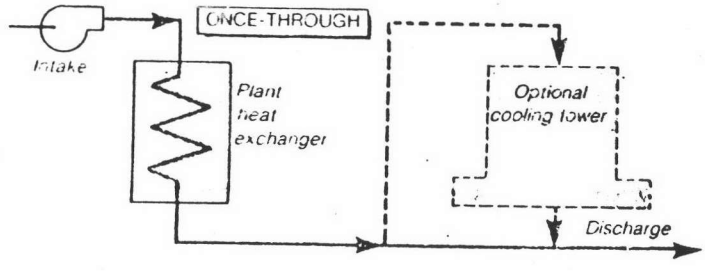
(จาก White, 1972, p.528)



รูปที่ 2.2 เครื่องควบแน่นแบบ Shell & tube condenser

(จาก White, 1972, p.529)

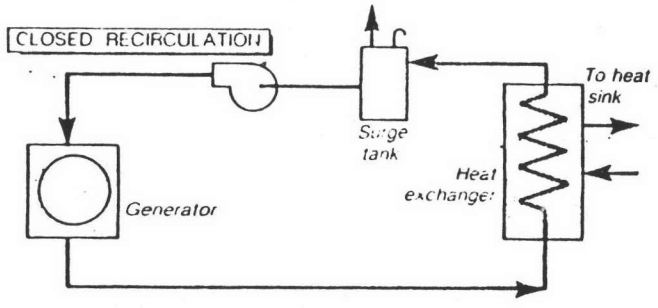
ความเห็นว่า ปัจจุบันนี้การออกแบบ พยายามที่จะหลีกเลี่ยงการออกแบบระบบ Once through เพราะระบบนี้จะต้องใช้น้ำจำนวนมาก ซึ่งเป็นการเปลืองค่าใช้จ่ายมากเพื่อบำบัดน้ำหล่อเย็นให้ได้ลักษณะสมบัติที่เหมาะสม



รูปที่ 2.3 ระบบควบแน่น Once through
(จาก Strauss, 1984, p.S-2)

ในการออกแบบท่อโลหะที่นำมาใช้ในระบบควบแน่นแบบ Once through นี้ ต้องมีความสามารถทนต่อความกัดกร่อน และโลหะที่นิยมเลือกใช้ ได้แก่ โลหะผสมของทองแดง (Copper alloys) Stainless steel หรือ Titanium

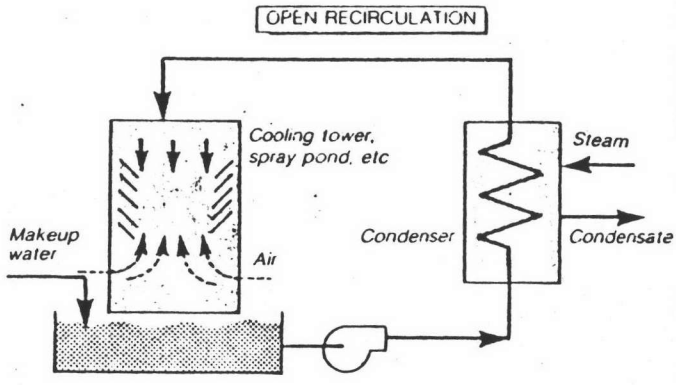
2) ระบบ Closed reciculation คือระบบที่น้ำหล่อเย็นไหลอยู่ภายในท่อปิด และน้ำหล่อเย็นภายหลังจากการควบแน่นไอน้ำจะถูกทำให้เย็นลงโดยใช้อากาศ (Air cooling) เช่นระบบ Chilled water ในระบบ Closed recirculation จะมีความสูญเสียของน้ำหล่อเย็นน้อยมาก ทำให้ปริมาณแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำหล่อเย็นคงที่



รูปที่ 2.4 ระบบควบแน่นแบบ Closed recirculation
(จาก Strauss, 1984, p.S-2)

การใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในระบบนี้จะได้ผลเป็นอย่างมาก เนื่องจากไม่มีการสูญเสียของน้ำหล่อเย็นออกไปจากระบบ

3) ระบบ Open recirculation เป็นระบบที่น้ำหล่อเย็นถูกนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งหนึ่งคล้ายกับระบบ Closed recirculation น้ำหล่อเย็นภายหลังจากการควบแน่นไอน้ำจะถูกทำให้เย็นลงโดยใช้อากาศที่ Cooling tower ซึ่งเป็นระบบเปิดสู่อากาศ ตามรูปที่ 2.5 น้ำหล่อเย็นที่ไหลผ่าน Cooling tower นี้จะมีการสูญเสียของน้ำเนื่องจากการระเหยของน้ำสู่อากาศ จึงทำให้ปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ในน้ำมีความเข้มข้นสูงมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมน้ำ (Make up water) เพื่อทดแทนน้ำที่สูญเสียไป ระบบ Open recirculation เป็นระบบที่ได้รับความนิยมมากที่สุดระบบหนึ่ง มักใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องทาง Petrochemical โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานถลุงเหล็ก และโรงงานกระดาษเป็นต้น

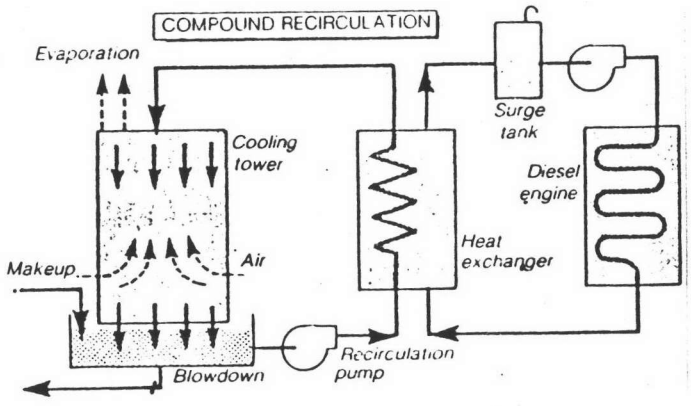


รูปที่ 2.5 ระบบควบแน่น Open recirculation
(จาก Strauss, 1984, p.S-2)

ในปัจจุบันระบบควบแน่นแบบ Recirculation เป็นระบบที่นิยมใช้มากกว่าระบบอื่นๆ เนื่องจากมีความเกี่ยวพันกับความต้องการน้ำหล่อเย็นน้อยกว่าระบบอื่นๆ ทำให้การแก้ไขปัญหาการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในเครื่องควบแน่น สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ การนำระบบ Recirculation มาใช้นั้น ในบางครั้งมีการนำมาใช้รวมกันระหว่าง Open และ Closed recirculation ตามรูปที่ 2.6 ซึ่งเราเรียกว่าระบบ Compound recirculation

2.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องควบแน่น

ปัญหาและความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องควบแน่นระบบต่างๆ ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของระบบที่ใช้ รวมทั้งลักษณะสมบัติของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ และการใช้วัสดุที่เกี่ยวข้องกับน้ำหล่อเย็น Strauss และ Puckorious (June, 1984) ได้แบ่งแยกปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเครื่องควบแน่นออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่



รูปที่ 2.6 ระบบควบแน่นแบบ Compound recirculation
(จาก Strauss, 1984, p.S-3)

2.2.1) <u>ปัญหาการตกตะกอน</u> (Deposit problem)

Strauss และ Puckorious (June, 1984) ได้แบ่งปัญหาการตกตะกอนออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. การเกิด Fouling ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมตัวของตะกอนหรือจุลชีพที่มีอยู่ในน้ำหล่อเย็นบนผิวของท่อควบแน่น ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของระบบลดน้อยลง เพราะการแลกเปลี่ยนความร้อนถูกปิดบังโดยการสะสมตัวของตะกอนหรือจุลชีพ ในบางครั้งเราพบว่าการสะสมตัวของตะกอนมีมากจนทำให้เกิดการอุดตันของท่อและก่อให้เกิดความเสียหายร้ายแรง ความเร็วของน้ำหล่อเย็นในเครื่องควบแน่น จะมีผลโดยตรงต่อการเกิด Fouling คือ ถ้าน้ำหล่อเย็นไหลช้าก็จะทำให้สารแขวนลอยต่างๆ ในน้ำตกตะกอนในระบบได้ง่ายขึ้น

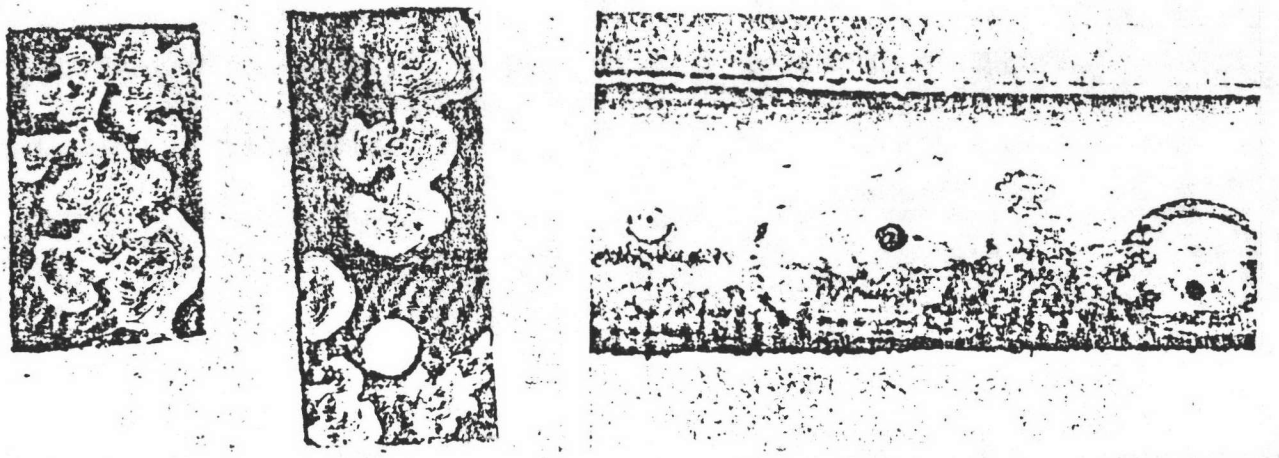
Strauss และ Puckorious (June, 1984) ได้แบ่งการเกิด Fouling ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ Microbiological Fouling เกิดขึ้น

เนื่องจากการสะสมตัวของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทั้งจากพืชและสัตว์ที่มีขนาดเล็ก เช่น Algae, Fungi และ Bacteria เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสมสิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะเจริญเติบโตและก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การเจริญเติบโตของ Algae บนชั้นของ Cooling Tower ซึ่งมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมทั้งแสงแดด ความชื้น และอ๊อกซิเจน การสะสมตัวของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ซึ่งสร้างเมือกห่อหุ้มเซลล์เหล่านี้รวมเรียกว่า Slime การเกิด Slime จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบลดลง และก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน เนื่องจากมี Bacteria บางชนิดสามารถผลิตกรดและของเสีย ซึ่งสามารถทำลายผิวโลหะได้โดยตรง เช่น Sulfate reducing bacteria ซึ่งสามารถเจริญเติบโตได้ในที่ที่ไม่มีอ๊อกซิเจน โดยเปลี่ยนสารประกอบของ Sulfate ที่ละลายอยู่ในน้ำเป็น H_2S ซึ่งสามารถกัดกร่อนได้ เรามักพบ Sulfate reducing bacteria ในน้ำทะเล, น้ำสะอาด, ในดิน ซึ่งโดยส่วนใหญ่ถูกปกคลุมโดยพวก Slime Bacteria และอีกชนิดหนึ่งที่พบได้แก่ Iron bacteria ซึ่งสามารถเปลี่ยน Ferrous Iron Salt ที่สามารถละลายในน้ำเป็น Ferric Iron Oxide ที่ไม่ละลายน้ำและเคลือบอยู่ที่ผิวท่อ

Glaze (1985) ได้สรุปรวบรวมความเกี่ยวเนื่องระหว่างการกัดกร่อนและการเกิด Fouling โดยแยกตามระบบควบแน่นที่นำมาใช้ไว้ในตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงแนวโน้มของการเกิดปัญหาการตกตะกอนในระบบควบแน่น

แนวโน้มของการเกิดปัญหา	ชนิดของระบบน้ำหล่อเย็นที่นำมาใช้		
	Open recirculation system	Once-through system :Fresh water	Once-through system :Brackish
Suspended solid Fouling	ไม่ค่อยพบ	บ่อย	บ่อย
Bio-fouling	ไม่ค่อยพบ	บ่อย	บ่อย
Scaling	บ่อยครั้งมาก	มักไม่ค่อยพบ	มักไม่ค่อยพบ
Corrosion (Cu-base alloys)	ไม่ค่อยพบ	นานๆ ครั้ง	บ่อยครั้งๆ มาก



รูปที่ 2.7 การกัดกร่อนแบบ Fingerprint โดย Sulfate Reducing Bacteria

Fouling อีกประเภทหนึ่งเรียกว่า Macrobiological Fouling เกิดขึ้นเนื่องจากสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่จากแหล่งน้ำที่นำมาใช้ โดยส่วนใหญ่เราใช้ Intake Barrier ในการควบคุม แต่สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ก็ยังสามารถเล็ดลอดเข้าไปเจริญเติบโตและทำความเสียหายให้แก่ระบบได้ เช่น พวกหอย (Clam), หอยเปลือก 2 ชั้น (Mussel) และพวก Corbienla Clam ซึ่งสามารถเจริญเติบโตที่ Tube sheet และในท่อด้วย การเข้าสู่ระบบของสิ่งมีชีวิตดังกล่าว สามารถเข้าไปได้ในขณะที่ยังเป็นตัวอ่อน (Larvae) หรือขณะที่ตัวยังเล็กๆ และเจริญเติบโตขึ้นภายในระบบ

ตารางที่ 2.2 สาเหตุและวิธีการควบคุมการเกิด Fouling
(จาก Strauss, 1984, p.S-7)

A. Naturally occurring foulants		
In water	In air	
Mud and silt	Gases	
Natural organics	Dust/dirt (from soil)	
Dissolved solids	Vegetation (organics)	
Microorganisms	Microorganisms	
Macroorganisms	Macroorganisms	
B. Foulants produced artificially		
In water	In air	In the system
Coagulants flocculants	Gases (organic)	Corrosion products
Phosphates	Ammonia	Inhibitor reactants
Detergents	Hydrogen sulfide	Process contaminants
Sewage	Sulfur dioxide	Wood preservatives
C. Foulant-control-treatment types		
Dispersants		
Sludge Fluidizers		
Surfactants		

Strauss และ Puckorious (June, 1984) ได้เสนอวิธีการควบคุมการเกิด Fouling ในระบบควบแน่นไว้ 2 วิธีคือ

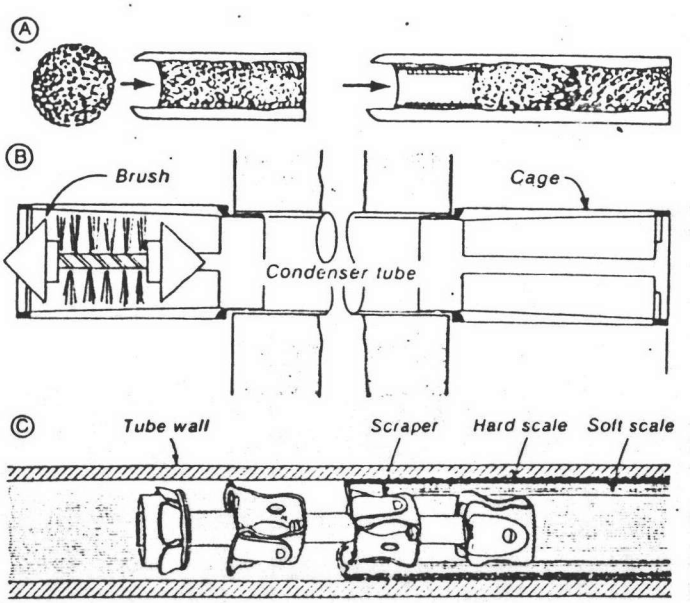
ก) <u>วิธีทางกล</u> (Mechanical method)

ได้แก่วิธีการป้องกันสิ่งมีชีวิตเข้าสู่ระบบ โดยใช้ Long Standing, Trash bars หรือ Stainer ซึ่งจะป้องกันพวกสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ โดยปกติมักนิยมใช้ Coarse Screen และตามด้วย Fine Screen ขนาดเล็กที่สุดของ Fine Screen ที่เคยมีการใช้ได้แก่ ขนาด 0.5 ม.ม สำหรับระบบ Once through มักนิยมใช้เครื่องกรองชนิดหยาบเช่น Trash racks, Bar screen หรือ Travelling screen และในบางครั้งเราใช้ Foulant ในการทำความสะอาดระบบ ตามรูปที่ 2.8 โดยการผ่านลูกบอลยางขนาดเล็กเข้าไปในท่อเพื่อทำความสะอาดท่อ ลูกบอลยางดังกล่าวจะผ่านเข้าระบบทางด้านน้ำเข้า (Inlet) และใช้ตะแกรงดักเก็บลูกบอกเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ภายหลังจากการทำความสะอาดท่อในระบบ ทางด้านน้ำออก (Outlet)

ข) <u>วิธีทางเคมี</u> (Chemical method)

เป็นวิธีการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กสามารถกระทำได้โดยใช้สารเคมีพวก Heavy metal เพื่อเจาะทะลุผนังเซลของสิ่งมีชีวิตเข้าไปใน Cytoplasm และทำลาย Protein group ที่จำเป็นในการดำรงชีพ หรือทำลายความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability) ซึ่งจะป้องกันการซึมผ่านของสารอาหารที่จำเป็น (Nutrient) และการซึมออกของของเสีย หรืออาจใช้สาร Cathonic Microbiocide เช่น Quaternary Ammonium Compound หรือ Chlorinated Phenolic Compound เพื่อทะลุผนังเซล และทำปฏิกริยากับ Cytoplasm เป็นสารแขวนลอย (Colloidal suspension) ซึ่งทำให้ Protein ถูกแยกออกจาก Cytoplasm หรืออาจใช้สารเคมีชนิดอื่นๆ เช่น Organosulfur Compound ซึ่งจะยับยั้งการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต

014393



รูปที่ 2.8 การใช้ Foulant ในการทำความสะอาด

(A) Abrasive sponge balls ใช้ในการทำความสะอาดท่อควบแน่น

(B) แปรงทำความสะอาดท่อควบแน่น

(C) Scrapers ใช้ระหว่างการหยุดการทำงาน (Shut down)

(จาก Strauss, 1984, p.S-7)

ในบางครั้งเราใช้สาร Dispersant ในการควบคุมการเกิด Fouling โดยทำลายการยึดเกาะตัวกันของ Fouling ให้แตกกระจายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำได้ สารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ Lignin และ Tannin แต่การใช้สารเคมีทั้งสองชนิดดังกล่าวจะต้องใช้อย่างต่อเนื่องในปริมาณสูง 50 ถึง 200 ppm. หรืออาจมากกว่า ข้อเสียของการใช้สาร Dispersant เนื่องจากสาร Dispersant เป็น Natural product ซึ่งเป็นอาหารอย่างดีสำหรับพวกสิ่งมีชีวิต ทำให้ต้องใช้สาร Dispersant เพื่อควบคุมการเกิด Fouling ในปริมาณที่มากขึ้น สาร Dispersant จะทำปฏิกริยากับคลอรีนและเกลือของเหล็กได้เกลือที่ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้สาร Dispersant ยังทำปฏิกริยาอย่างรวดเร็วกับสาร Biocide Flocculant และสารเคมีชนิดอื่นที่มีประจุไฟฟ้าลบ สารเคมีที่นิยมใช้อีกชนิดหนึ่งได้แก่สาร Synthetic polymer และที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบันได้แก่ สาร Poly acrylates ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล ระหว่าง 900 ถึง 100,000 น้ำหนักโมเลกุลของสาร Poly acrylates ประมาณ 1,000 จะได้ผลสำหรับพวกโคลน ฝุ่น ความสกปรก และเหล็กอ๊อกไซด์ ข้อเสียของการใช้สาร Synthetic polymer คือการทำปฏิกริยากับสาร Biocide ที่มีประจุไฟฟ้าลบ และสาร Flocculant อย่างรุนแรง

การควบคุมโดยใช้สารเคมีดังกล่าวจะได้ผลต่อเมื่อมีการใช้สารเคมีอย่างสม่ำเสมอต่อเนื่องและสัมพันธ์กับการเกิด Fouling เราไม่สามารถใช้สารเคมีเพียงชนิดเดียวในการควบคุมการเกิด Fouling การใช้สารเคมีจะต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง ไม่ใช้น้อยหรือมากเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดผลเสียมากกว่าผลดี

ตารางที่ 2.3 ระดับความเข้มข้นของ Inhibitor ที่นิยมใช้
(จาก Strauss, 1984, p.S-7)

Type	Level mg/l (active)
<u>Scale inhibition</u>	
Phosphates	3 - 5
Polyacrylates	3 - 5
Polymaleics	1 - 2
Sulfonated polystyrene	1 - 2
<u>Fouling Inhibition</u>	
Polyacrylates	4 - 5
Polyacrylamides	0.2 - 0.5
Surfactants	10 - 20

2. การเกิด Scale เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเสมอกับระบบที่มีการใช้น้ำจำนวนมาก เช่น เครื่องควบแน่น ได้แก่การเกิดตะกรันของแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำ การเกิดตะกรันขึ้นภายในท่อของเครื่องควบแน่น จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของระบบลดน้อยลง เนื่องจากตะกรันเป็นฉนวนในการถ่ายเทความร้อน ตารางที่ 2.4 เป็นตะกรันที่พบบ่อยในเครื่องควบแน่น มั่นสิน ตัณฑุลเวศน์ และ ไพพรรณ พรประภา (1981) ได้แบ่งประเภทของตะกรันออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ตะกรันสนิม (Pipe scale) หมายถึงตะกรันที่เป็นโลหะอ๊อกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากปฏิกริยาของการกัดกร่อน มักเกิดขึ้นภายในท่อหรือส่วนอื่นๆ ของระบบ และตะกรันหินปูน (Mineral scale) หมายถึงตะกรันที่เกิดจากการตกผลึกของแร่ธาตุต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ตะกรันที่พบบ่อยได้แก่ ตะกรันของ Calcium carbonate

ซึ่งเกิดจากการแตกตัวและตกผลึกของอิออนลบของ HCO_3^- หรือ CO_3^- เมื่อมีปริมาณถึงจุดอิ่มตัว อัตราการแตกตัวของอิออนลบดังกล่าวขึ้นอยู่กับ

- อุณหภูมิของน้ำ เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นอัตราการเกิดตะกรันจะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำได้ของหินปูนลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

- ระดับของความเป็นด่าง (Alkalinity) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของน้ำที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของสารประกอบประเภทด่างที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่นถ้าในน้ำหล่อเย็นมีสภาพเป็นด่างมากเกินไปโอกาสที่จะเกิดตะกรันก็มีมาก

- ปริมาณของสารที่สามารถตกผลึกได้ (Scale - forming materials) ซึ่งได้แก่ ค่าของแข็งละลายน้ำ (Total dissolved solid) และปริมาณของสารละลายแคลเซี่ยมในน้ำ (Hardness)

- ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH.) ถ้า pH ของน้ำอยู่ในสภาพเป็นกรดมักกัดกร่อนโลหะ แต่ถ้า pH อยู่ในสภาพเป็นด่างมักจะเกิดการสร้างตะกรัน

ตารางที่ 2.4 Scale ที่พบในระบบควบแน่น

Scale ที่พบโดยทั่วไป	Scale ที่มักไม่ค่อยพบ
Calcium carbonate	Iron oxide
Calcium sulfate	Zinc phosphate
Calcium phosphate	Calcium fluoride
Magnesium silicate	Iron carbonate
Silica (SIO_2)	

รูปที่ 2.9 ลักษณะการเกิด Scale บน Tubesheet ของเครื่องควบแน่น
(จาก Strauss, 1984, p.S-4)

เราสามารถหาค่าแนวโน้มของการเกิดตะกรันของ Calcium carbonate ได้จากตารางที่ 2.5 และนอกจากตะกรันของ Calcium carbonate ก็ยังมีตะกรันที่พบบ่อยอีกประเภทหนึ่งได้แก่ตะกรันของ Calcium Sulfate และ Calcium Phosphate ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของอิออนลบของ Sulfate และ Orthophosphate

ตารางที่ 2.5 ดรรชนีย์การตกผลึกของ Calcium carbonate

(จาก Strauss, 1984, p.S-4)

Langelier (saturation) index: $LSI = pH_{act} - pH_s$	+ indicates scaling tendency - or 0 indicates non-scaling
Ryznar (stability) index: $RSI = 2pH_s - pH_{act}$	> 6 indicates scaling tendency < 6 indicates non-scaling
Puckorius (modified stability) index: $PSI = 2pH_s - pH_s^*$	> 6 indicates scaling tendency < 6 indicates non-scaling

* :pH_s is the equilibrium pH, based on total alkalinity

pH_{act} คือ pH ของน้ำที่ไว้พิจารณา

2.2.2) <u>ปัญหาการกัดกร่อน</u> (Corrosion problem)

Strauss และ Puckorious (1984) ให้ความคิดเห็นว่า การกัดกร่อนเป็นการกลับคืนสู่สภาพตามธรรมชาติของวัตถุโดยขบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electro chemical) การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในเครื่องควบแน่นจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ท่อควบแน่น ทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนซ่อม การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในเครื่องควบแน่นแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. General attack หรือ Uniform attack คือการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าของท่อควบแน่น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. Localized attack หรือ Pitting เป็นการกัดกร่อนที่สำคัญที่สุดเพราะเป็นการกัดกร่อนที่เกิดอยู่ในบริเวณที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะทำให้ท่อควบแน่นทะลุอย่างรวดเร็ว

3. Galvanic attack เกิดขึ้นเมื่อโลหะ 2 ชนิดใช้งานร่วมกัน และสามารถต่อถึงกันได้ โลหะที่มีค่า Electrode Potential สูงกว่าจะเป็นผู้ให้อิเลคตรอนและผุกร่อน ในขณะที่โลหะอีกชนิดหนึ่งจะเป็นผู้รับอิเลคตรอนและไม่ผุกร่อน ตามรูปที่ 3.1 แสดงการเกิดปฏิกริยาแบบ Galvanic ซึ่งพอสรุปสาเหตุของน้ำหล่อเย็นที่มีผลต่อการกัดกร่อนได้ดังนี้คือ

- ปริมาณของ O_2 หรือ DO. ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อการเกิดปฏิกริยาที่ Cathode

$$2H^+ + O_2 \longrightarrow 2OH^-$$

แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของ O_2 หรือ DO. จะทำให้อัตราการกัดกร่อนสูงมากขึ้น

- การเพิ่มขึ้นของปริมาณ Suspended solids หรือ Dissolve solids จะเพิ่มอัตราการกัดกร่อนขึ้น เนื่องจากความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (Conductivity) เพิ่มขึ้น และ Suspended Solids ยังทำให้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) ของท่อโลหะอีกด้วย

- การเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ จะเพิ่มอัตราการแตกตัวของโลหะที่ Anode ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนเพิ่มมากยิ่งขึ้น

- ความเร็วของน้ำ จะเพิ่มอัตราการกัดกร่อน โดยจะนำเอา O_2 ไปให้แก่ปฏิกริยาของกัดกร่อนเร็วขึ้น และทำให้เกิดการกัดเซาะของผิวโลหะเนื่องจากของแข็งที่ปะปนมากับน้ำมากยิ่งขึ้น แต่การที่ความเร็วของน้ำต่ำจะทำให้เกิดการตกตะกอนของแข็งแขวนลอยต่าง ๆ

- การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก ๆ 25 ถึง 50 °F จะสามารถเพิ่มอัตราการกัดกร่อนได้ถึง 2 เท่า

ในการเลือกวิธีที่จะใช้ควบคุมการกัดกร่อนนั้นมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของระบบควบแน่นที่ใช้ และความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ Strauss และ Puckorius (June, 1984) ได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับวิธีการในการควบคุมการกัดกร่อนดังนี้

1. การออกแบบรายละเอียดจะต้องพิจารณาว่าสภาพแวดล้อมจะมีผลต่อการกัดกร่อนหรือไม่มากน้อยเพียงใด

2. ใช้วิธีการเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อน เช่น การทาสี, การใช้สี Epoxy หรือการใช้ Metal plating

3. ใช้วิธี Cathodic protection เพื่อป้องกันการกัดกร่อนแบบ Galvanic corrosion

4. การสร้างผิวป้องกันการกัดกร่อน (Protective Film) โดยการใช้สารเคมีที่ใส่เข้าไปในน้ำหล่อเย็น

2.2.3) <u>ปัญหาเนื่องจากสิ่งมีชีวิต</u> (Biological problem)

เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็ก และสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่ ถึงแม้ว่าจะใช้ตะแกรงกั้น (Barrier) ในการป้องกันแล้วก็ตาม สิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กก็ยังสามารถหลุดลอดเข้ามาเจริญเติบโตในเครื่องควบแน่น และก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ได้ ในระบบ Once through พวกหอยขนาดเล็กสามารถลอดผ่านตะแกรงกั้นและเข้าไปเจริญ เติบโตอย่างรวดเร็วในบริเวณทางเข้าท่อควบแน่น (Tube Sheet) Leidheiser (1971) และ WALTERS (1968) ได้แบ่งขบวนการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากสิ่งมีชีวิตไว้ดังนี้

1. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นโดยทางตรงจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่การที่สิ่งมีชีวิตผลิตสารที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนโลหะ เช่น H_2S, Organic หรือ Inorganic acid เป็นต้น

2. โดยขบวนการ Metabolism ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งช่วยให้ปฏิกริยาการกัดกร่อนสมบูรณ์ โดยจะเป็นตัว Catalyst หรือ Depolarization ของปฏิกริยาการกัดกร่อน

3. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Sulfate reducing bacteria ซึ่งสามารถสรุปรวบรวมสมการกัดกร่อนได้ดังนี้

$$8H_2O \longrightarrow 8OH^- + 8H^+ \quad \text{.....(1)}$$

ที่ Anode : $4Fe^{\circ} \longrightarrow 4Fe^{++} + 8e^- \quad \text{.....(2)}$

ที่ Cathode : $8H^+ + 8e^- \longrightarrow 8H^{\circ} \quad \text{.....(3)}$

และโดย Sulfate reducing bacteria ซึ่งย่อยสลาย SO_4 ที่ละลายอยู่ในน้ำในขบวนการ Chathodic depolarization ทำให้เกิดปฏิกริยาต่อเนื่องดังนี้

$$SO_4^{--} + 8H^{\circ} \xrightarrow{\text{by Sulfate reducing bacteria}} S^{--} + 4H_2O \quad \text{...(4)}$$

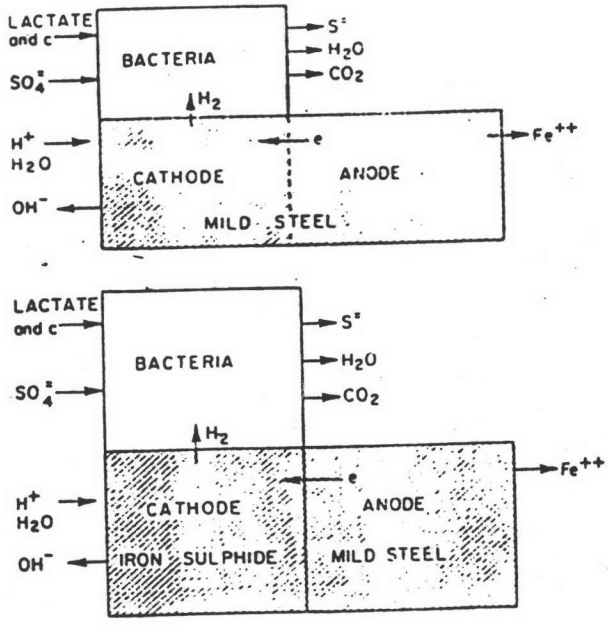
ดังนั้นที่ Anode : $Fe^{++} + S^{--} \longrightarrow FeS \quad \text{.....(5)}$

และ $3Fe^{++} + 6(OH)^- \longrightarrow 3Fe(OH)_2 \quad \text{.....(6)}$

ดังนั้นสรุปรวมสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 6 ได้สมการการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นดังนี้

$$4Fe^{\circ} + SO_4^{--} + 4H_2O \xrightarrow{\text{Sulfate reducing bacteria}} FeS + 3Fe(OH)_2 + 2(OH)^-$$

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Sulfate reducing bacteria จำเป็นต้องใช้ Hydrocarbon ที่มีอยู่ในน้ำเป็นอาหาร (Primary nutrient source) และภายหลังขบวนการการกัดกร่อนแล้วจะได้ Sulfide ตามแนวคิดของ Hamilton (1983)



รูปที่ 2.10 แสดงภาพการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Sulfate reducing bacteria [จาก Miller and King (1972), "Microbial Aspects of the deterioration of Material"]

4. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมตัวของตะกอนหรือจุลชีพ (Fouling) และทำให้เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของอ๊อกซิเจน (Differential aeration and concentation cells corrosion)

2.3 โลหะที่ใช้ในเครื่องควบแน่น

โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางประกงที่ใช้เป็นสถานที่ศึกษาในครั้งนี้ใช้โลหะอะลูมินัมบราส (Aluminium Brass) ซึ่งเป็นโลหะผสมของทองแดง (Copper alloy) ชนิดหนึ่งเป็นท่อควบแน่น ดังนั้นจะได้กล่าวถึงรายละเอียดคุณสมบัติของทองแดงและอะลูมินัมบราส เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการพิจารณาสรุปต่อไป

2.3.1) <u>ทองแดง และคุณสมบัติของทองแดง</u>

ทองแดงเป็นโลหะที่มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านวิศวกรรม ทั้งในรูปของโลหะผสม (Alloys) และโลหะไม่ผสม (Unalloys) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้ทำท่อควบแน่น (Condenser tubes) เนื่องจากมีความสามารถในการนำความร้อนได้ดี Leidheiser (1971) โดย Gilbert ให้ข้อคิดเห็นว่า "ท่อควบแน่นที่ใช้ในเครื่องควบแน่นนั้น สำหรับน้ำสะอาดแนะนำให้ใช้ท่อทองแดง, 70:30 Brass, Admiralty brass แต่สำหรับน้ำทะเลหรือน้ำกร่อยที่มีความเข้มข้นของของแข็งมากกว่า 2,000 ppm. มักนิยมใช้ท่อ Aluminium brass, 70:30 หรือ 90:10 Copper-Nickel Alloys แทน" ทองแดงเป็นโลหะที่มี Conductivity สูง สามารถแปรรูปได้ทั้งในขณะร้อน (550 °- 750 °ซ) และเย็น (โดยต้องทำการอบก่อนที่ 500 °- 600 °ซ) คุณสมบัติที่เด่นที่สุดของทองแดงได้แก่ ความสามารถในการนำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี สารมลทินที่พบโดยส่วนใหญ่ได้แก่ Bismuth (Bi) และตะกั่ว (Pb) ส่วนสารมลทินอื่น ๆ ที่พบบ้างได้แก่ Al, Fe, Ni, Zn, Ag, Cd, As เป็นต้น สารมลทินดังกล่าวจะลดความสามารถในการนำความร้อนและไฟฟ้าของทองแดง แต่จะทำให้ทองแดงแข็งและแข็งแรงขึ้น

ตามมาตรฐานอังกฤษได้แบ่งชนิดของทองแดงตามความบริสุทธิ์ของเนื้อโลหะได้ 5 ชนิดดังนี้

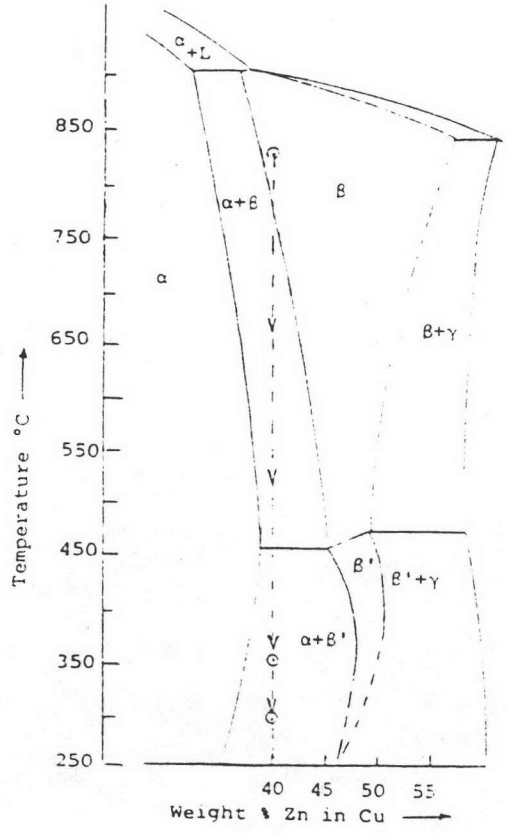
1. Tough Pitch ทองแดงชนิดนี้เป็นชนิดที่มีมลทินปะปนอยู่ ทำให้คุณสมบัติในการนำไฟฟ้าลดลง และจะมี O_2 ผสมอยู่ประมาณ 0.03 ถึง 0.05%

2. Dioxidized Copper ทองแดงชนิดนี้ได้แยกเอา O_2 ออกโดยการเติมฟอสฟอรัสลงไป ส่วนใหญ่ใช้สำหรับการเชื่อมและการบัดกรีแข็ง

3. High conductivity (H.C.) เป็นทองแดงที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.9% มีคุณสมบัติโดยทั่วไปในการนำไฟฟ้าได้ดี

4. Oxygen - free high conductivity เป็นทองแดงที่ได้จากการนำไปหลอมใหม่ และนำเอา O_2 ออก เหมาะกับการใช้งานขึ้นรูปหรือรีด เพื่อให้วัสดุ

เปลี่ยนแปลงอย่างถาวรที่อุณหภูมิต่ำ (Cold work)



รูปที่ 2.11 แผนภาพสมดุลย์ของ Cu-Zn

2.3.2) <u>อะลูมินัมบราส</u> (Aluminium brass)

The Copper Development Associated (CDA) โดย Smith (1981) ได้จัดให้โลหะอะลูมินัมบราสเป็นโลหะผสมชนิดหนึ่งของ Copper - Zinc alloys (Brass) ซึ่งเกิดจากการผสมของ 77.5 Cu., 20.5 Zn, 2.0 Al และ 0.1 As นิยมนำมาใช้ทำท่อควบแน่นของระบบน้ำหล่อเย็นกันมาก และ Roger (1968) ได้แบ่ง Copper - Zinc alloys (Brass) ออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลักษณะของ

โครงสร้างคือ

1. Single - phase brass (Alpha) ซึ่งมีส่วนผสมของ Zn ตั้งแต่ 0 ถึง 37% ชนิดของ Alpha brass ที่สำคัญได้แก่ Cartridge brass (70/30, Cu/Zn) ซึ่งนิยมใช้ทำเปลือก, ฝาอุปกรณ์ต่าง ๆ, ปลอกกระสุนปืน, ขั้วหลอดไฟ เป็นต้น หรือ Admiralty brass (70 Cu./29 Zn./1 Sn.) และ Aluminium brass (77.5 Cu, 20.5 Zn,2.0 Al และ 0.1 As) ความแข็งแรงของโลหะ Alpha brass ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของ Zn (บัณฑิต ใจขึ้น, 2527)

2. Two - phase brass (Alpha - Beta) มีส่วนผสมของ Zn ตั้งแต่ 37.5% ถึง 45% Alpha-Beta brass จะมีความเปราะและนำมาใช้งานในสภาวะที่โลหะเย็นไม่ได้ ต้องใช้ความร้อนขณะทำการแปรรูป ชนิดของ Alpha - Beta brass ที่สำคัญได้แก่ Muntz Metal หรือทองเหลือง (60:40) ใช้ทำข้อต่อของท่อน้ำ, เครื่องใช้ในบ้าน เป็นต้น หรือ Leaded brass ซึ่งมักนำไปใช้ทำลิ้นปิดเปิดและทำข้อต่อต่าง ๆ และ Noval brass ซึ่งมักนิยมใช้ทำฟันเฟืองต่าง ๆ และมีความต้านทานการกัดกร่อนได้ดี เพราะใส่ดีบุกลงไป 1%

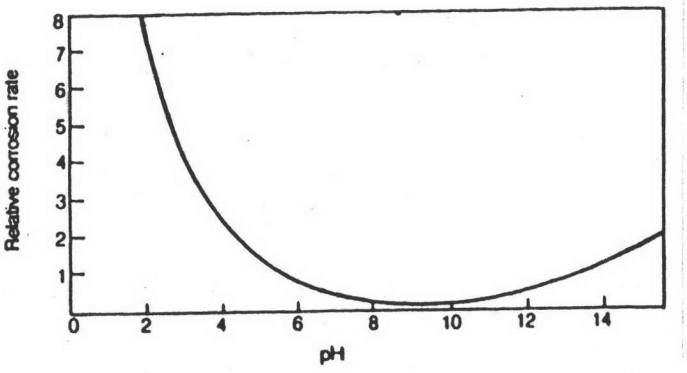
3. Single - phase brass (Beta) มีส่วนผสมของ Zn ตั้งแต่ 46% ถึง 50% ส่วนใหญ่แล้วมีที่ใช้น้อย มักนำมาใช้ในการบัดกรีแข็ง

ถ้าส่วนผสมของ Zn สูงกว่า 50% จะมีชื่อเรียกว่า γ , ϵ และ Brass ตามลำดับ ซึ่งโลหะดังกล่าวจะมีคุณสมบัติเปราะและแตกง่าย (Brittle) จึงนำมาใช้ประโยชน์ได้น้อย

คุณสมบัติทางกายภาพของโลหะอะลูมินัมบราสที่สำคัญได้แก่

- เนื้อของโลหะมีความแข็งแรง
- เนื้อของโลหะมีความเหนียว (Tough)
- สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีในน้ำทะเลสะอาด และทนต่อความเร็วของน้ำได้ถึง 3.048 เมตร/วินาที โดยไม่มีการกัดกร่อน
- สามารถนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดี

2) pH ของน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนของท่อควบแน่นอะลูมินัมบราส และ pH ของน้ำหล่อเย็น

3) อุณหภูมิ การกัดกร่อนของท่อควบแน่นอะลูมินัมบราสจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นสูงขึ้น

4) Sulfide ที่พบในน้ำหล่อเย็น ทำให้เกิดการกัดกร่อนของท่อควบแน่นได้ โดยรวมตัวกับโลหะได้ Cu_2S ซึ่งมีลักษณะทางโครงสร้างแตกต่างกับ Cu_2O ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอกันที่ผิวของ Film (Crystal - lattic defect) ทำให้คุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนของผิวป้องกันเสียไป

5) Biofouling ซึ่งขัดขวางการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่นและก่อให้เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากความแตกต่างของ O_2 ระหว่างผิวของโลหะ และภายใต้การจับเกาะ (Deposit) ของสิ่งมีชีวิต