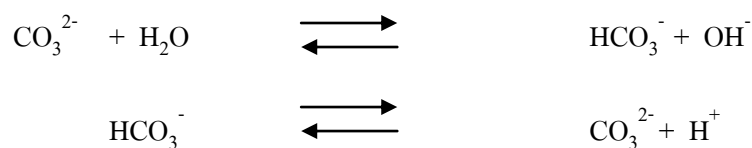




## ตะกรัน และดัชนีทำนายการเกิดตะกรันแคลเซียมคาร์บอเนต

ตะกรัน เกิดจากสารละลายที่มีเกลือของแร่ธาตุต่างๆตกผลึกแยกออกจากน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นจำพวกหินปูน อาจมีสารอินทรีย์อุดตันรวมอยู่ด้วย จะเกาะและพอกพูนในท่อน้ำหรือถังเก็บน้ำ มีลักษณะเป็นรูปผลึกของแข็งผสมกันคล้ายกับซีเมนต์ พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันเช่น ตะกรันที่เกาะก้นด้านในกาต้มน้ำ เนื่องจากน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติมีแร่ธาตุมากมายเจือปน แร่ธาตุที่ก่อตัวเป็นตะกรัน อาทิ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมฟอสเฟต ซิลิกา ไฮดรอกไซด์และซัลไฟด์ของเหล็ก และแมกนีเซียม เป็นต้น เราสามารถบ่งบอกสภาพการละลายของเกลือในน้ำได้มากขึ้นเพียงใด ด้วยค่าผลคูณของการละลายของเกลือชนิดนั้นๆ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$  กับ  $\text{SO}_4^{2-}$  เมื่อใดที่เกลือแคลเซียมซัลเฟต (calcium sulphate,  $\text{CaSO}_4$ ) ละลายอยู่มากจนทำให้ผลคูณของการละลายเกินกว่าค่าคงที่ของการละลาย (solubility product constant,  $k_{sp}$ ) ซึ่งบ่งบอกถึงสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด เกลือ  $\text{CaSO}_4$  จะแยกตัวตกผลึก และก่อตัวเป็นตะกรัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ พีเอช (pH) ความดัน การระเหยของน้ำ หรือการเติมผลึกของแข็งเจือปนเข้าไป จะอิทธิพลต่อการละลายได้มากขึ้นหรือน้อยลง หรือตกผลึกแยกตัวออกมา เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะ เช่น ต้มน้ำ เมื่อน้ำระเหยไป ทำให้ความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น เราสามารถทำนายการเกิดตะกรันได้ โดยที่เราทราบปริมาณของเกลือตั้งต้นแล้วพิจารณาผลคูณของการละลายของเกลือ แต่กรณีของแคลเซียมคาร์บอเนตเราไม่สามารถทำนายการเกิดตะกรันด้วยค่าผลคูณของการละลายของเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำจะมีปฏิกิริยาสมดุลระหว่างคาร์บอเนตกับไบคาร์บอเนต( $\text{HCO}_3^-$ ) และไบคาร์บอเนตกับกรดคาร์บอนิก ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้



น้ำที่ใช้ในครัวเรือนหรืออุตสาหกรรม มาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งล้วนมีความเป็นด่างไบคาร์บอเนต (bicarbonate alkalinity) และ มีค่าพีเอชน้อยกว่า 8.2 ในสภาวะดังกล่าวที่แคลเซียมไบคาร์บอเนต(calcium bicarbonate) ละลายน้ำ เมื่อนำน้ำมาใช้โดยสภาวะเปลี่ยนแปลง เช่น อุณหภูมิเพิ่มขึ้น หรือเมื่อน้ำเป็นด่างมากขึ้น แคลเซียมไบคาร์บอเนต จะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งละลายน้ำได้น้อยกว่า ตกผลึกแยกตัวออกจากน้ำ ปฏิกิริยาปรับเข้าสู่สมดุลใหม่โดยไบคาร์บอเนตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอเนตมากขึ้น อีกนัยหนึ่งการเปลี่ยนแปลงสภาวะกระทบสมดุลระหว่างคาร์บอเนต และ ไบคาร์บอเนต ดังนั้นเรานิยมใช้ค่าดัชนีในการทำนายการเกิดตะกรันของแคลเซียมคาร์บอเนต อาทิ Langelier Saturation Index, Ryznar Stability Index, และ



Stiff and Davis Stability Index ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าพีเอช ความเป็นด่าง แคลเซียม และสารละลายทั้งหมด ตลอดจนอุณหภูมิ

การก่อตัว(nucleation)ของตะกรันอาจเกิดที่ผิวท่อที่มีชั้นบางๆของสนิม หรือบริเวณผิวที่ไม่เรียบมีเมือกเกาะ การเติบโตของแบคทีเรียเป็นจุดเริ่มของการก่อตัวที่ผิวสัมผัสได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังต้องมีเวลาที่เพียงพอที่น้ำจะสัมผัสกับจุดก่อตัว (nucleating site) แล้วเกิดตะกรัน อย่างไรก็ตามเราสามารถหน่วงอัตราเร็วของการเกิดตะกรันแม้วาน้ำนั้นจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดหรือยับยั้งการเกิดตะกรันได้โดยการเติมสารหน่วงการเกิดตะกรัน (scale inhibitor) หรืออาจจะปรับสภาพน้ำ ตลอดจนปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพลต่อการเกิดตะกรัน เช่น การปรับพีเอชโดยการเติมกรด ซึ่งจะมีผลให้เกลือของแคลเซียมจะละลายน้ำได้มากขึ้น

ปัญหาตะกรันที่เกิดขึ้นในระบบต่างๆของโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เนื่องมาจากเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) เช่นการเกิดตะกรันในระบบน้ำหล่อเย็น การเกิดตะกรันสะสม อาจก่อปัญหาการอุดตันตามอุปกรณ์ ท่อส่งน้ำ และหากเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับความร้อน เช่นหม้อไอน้ำ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องระเหย ตะกรันจะกลายเป็นฉนวนก่อกำเนิดปัญหาในการถ่ายเทความร้อน เมื่อตะกรันพอกหนามากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งอาจรุนแรงถึงขั้นระเบิดได้ถ้าไม่มีการแก้ไขและป้องกัน ตลอดจนขาดการดูแล / บำรุงรักษาอย่างถูกวิธี ดังนั้นเราจำเป็นต้องทราบแนวโน้มของการเกิดตะกรัน เพื่อจะได้สามารถป้องกันมิให้ส่งผลกระทบต่อระบบ/อุปกรณ์ และความปลอดภัย

ดัชนีที่นิยมใช้ในการทำนายการเกิดตะกรัน เช่น Langelier Saturation Index, Ryznar Stability Index, หรือ Stiff and Davis Stability Index เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### Langelier Saturation Index

การคำนวณค่า Langelier Saturation Index (LSI) เพื่อทำนายการเกิดตะกรันของแคลเซียมคาร์บอเนต

$$LSI = pH - pH_s$$

โดย pH คือ pH ที่แท้จริงของน้ำหรือสารละลายที่ต้องการทราบว่าเกิดตะกรัน หรือมีสภาพการกัดกร่อน และ  $pH_s$  คือ pH ที่สภาวะอิ่มตัว และสามารถคำนวณได้จาก

$$pH_s = pCa + pAlk + C$$

$$pCa = \text{Calcium Hardness Factor}$$

$$pAlk = \text{M- alkalinity Factor}$$

$$C = \text{Total Dissolved Solid Constant} \text{ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของน้ำ}$$



เมื่อหาค่า LSI = 0 หมายถึงอยู่ที่จุดสมดุล คือไม่เกิดตะกรัน และมีการกัดกร่อนน้อยที่สุด หากค่า LSI มีค่าเป็นบวก (LSI = +) ซึ่ง  $pH > pH_s$   $CaCO_3$  อยู่ในสภาพอิ่มตัวยิ่งยวด ที่ภาวะ alkalinity และ total dissolved solid (TDS) ณ อุณหภูมินั้น หมายถึงมีแนวโน้มในการเกิดตะกรัน และเมื่อค่า LSI มีค่าเป็นลบ (LSI = -) ซึ่ง  $pH < pH_s$  แคลเซียมคาร์บอเนตจะละลายน้ำ ซึ่งทำนายได้ว่าอยู่ในสภาพกัดกร่อนถ้าไม่มีการป้องกัน การทำนายคุณสมบัติของน้ำว่าจะเกิดตะกรันหรือไม่ แสดงไว้ในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. การทำนายการเกิดตะกรัน/การกัดกร่อน ด้วยค่า Langelier Saturation Index <sup>(1)</sup>

Langelier Saturation Index (LSI)	แนวโน้มของคุณสมบัติของน้ำ
+2.0	เกิดตะกรัน และไม่กัดกร่อน
+0.5	เกิดตะกรันเล็กน้อย และไม่กัดกร่อน
0.0	สมดุล แต่อาจกัดกร่อนเล็กน้อย
-0.5	กัดกร่อนเล็กน้อย และไม่เกิดตะกรัน
-2.0	กัดกร่อนสูง และไม่เกิดตะกรัน

แต่เราไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าจะเกิดตะกรันอย่างแน่นอน หรือเกิดรวดเร็วเพียงใด การทำนายการเกิดตะกรันด้วยค่า LSI ได้ยอมรับกันโดยทั่วไป ต่อมา มีรายงานปัญหาเกิดการกัดกร่อนในเส้นท่อขึ้น แม้ว่าค่า LSI จะเป็นบวก คือมีค่าประมาณ +1 <sup>(2)</sup> ซึ่งเสมือนว่าขัดแย้งกับคุณสมบัติน้ำดังแสดงในตารางที่ 1 ภายหลังจึงพบว่าปัญหาดังกล่าวเกิดกับน้ำที่มี pH สูงมาก

### Ryznar Stability Index

Ryznar Stability Index เป็นดัชนีที่ได้จากข้อมูลเชิงประจักษ์ (empirical data) และได้รับการปรับปรุงมาจาก LSI โดยรวบรวมข้อมูลจากการเดินระบบ และประสบการณ์ในด้านการเกิดตะกรันและสภาพการกัดกร่อน เพื่อให้สามารถเห็นความแตกต่างของน้ำจาก 2 แหล่งที่มีค่า LSI เท่ากัน ซึ่งเป็นไปได้ที่น้ำที่มีค่าความกระด้าง (hardness) ต่ำ และน้ำที่มีค่าความกระด้างสูง จะมีค่า LSI เท่ากัน

การคำนวณหาค่า Ryznar Stability Index (RSI) เพื่อทำนายการเกิดตะกรันของแคลเซียมคาร์บอเนต

$$RSI = 2 pH_s - pH$$

สามารถทำนายคุณสมบัติของน้ำจากค่า Ryznar Stability Index ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.



ตารางที่ 2. การทำนายการเกิดตะกอน/การกัดกร่อน ด้วยค่า Ryznar Stability Index <sup>(1)</sup>

Ryznar Stability Index (RSI)	แนวโน้มของคุณสมบัติของน้ำ
4.0-5.0	เกิดตะกอน
5.0-6.0	เกิดตะกอนน้อย
6.0-7.0	เกิดตะกอนเล็กน้อย
7.0-7.5	กัดกร่อนอย่างมีนัยสำคัญ
7.5-9.0	กัดกร่อนมาก
9.0 และสูงกว่า	กัดกร่อนรุนแรงมาก

### Stiff and Davis Stability Index

Stiff and Davis Stability Index (SDI) พัฒนามาจาก Langelier Saturation Index เพื่อใช้ในการทำนายการเกิดตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตในน้ำที่มี TDS สูง

$$SDI = pH - pCa - pAlk - K$$

K = ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับ ionic strength และ อุณหภูมิ

ปัจจุบันยังคงนิยมใช้ดัชนีคุณภาพน้ำทั้ง 3 แบบ เพื่อการทำนายการเกิดตะกอนอันเนื่องมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตเบื้องต้น ดังเช่น การใช้ LSI ในการทำนายการเกิดตะกอนบนผิวเมมเบรน (membrane) เพื่อการออกแบบเครื่องกรองน้ำระบบรีเวอร์สออสโมซิส (reverse osmosis system, RO) อย่างไรก็ตามการที่จะเกิดตะกอนหรือกัดกร่อน ควรให้ความสนใจเรื่องชนิดไอออนของสารละลายทั้งหมดด้วย เนื่องจากไอออนบางตัวจะส่งเสริมการกัดกร่อนอย่างรุนแรง และบางตัวก็ส่งเสริมให้เกิดตะกอน Ryznar Stability Index เป็นดัชนีที่ได้จากข้อมูลเชิงประจักษ์ (empirical data) และได้รับการปรับปรุงมาจาก LSI โดยรวบรวมข้อมูลจากการเดินระบบ และประสบการณ์ในด้านการเกิดตะกอนและสภาพการกัดกร่อน เพื่อให้สามารถเห็นความแตกต่างของน้ำจาก 2 แหล่งที่มีค่า LSI เท่ากัน ซึ่งเป็นไปได้ที่น้ำที่มีค่าความกระด้าง (hardness) ต่ำ และน้ำที่มีค่าความกระด้างสูงจะมีค่า LSI เท่ากัน

### เอกสารอ้างอิง

1. Carrier Air Conditioning Company, 1965. Handbook of Air Conditioning System Design. McGraw-Hill Books. New York, U.S.A.
2. Rossum, J.R., Fundamental of Metallic Corrosion in Fresh Water. Internet website [www.Roscoemoss.com/tech-manuals/fmcf/pdf](http://www.Roscoemoss.com/tech-manuals/fmcf/pdf). Visited: 7/10/2001
3. Rafferty, K. "Scaling in Geothermal Heat Pump Systems," GHC Bulletin, (March, 2000), 11-13.