เกลือในกำแพงอิฐ

Salts in Brick Walls

อาจารย์ ดร. นวลลักษณ์ วัสสันตชาติ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
Nuanlak Watsantachad, Ph.D.
Lecturer, Faculty of Architecture, Silpakorn University

บทคัดย่อ

อิฐเป็นวัสดุสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพงและผนังอาคาร ซึ่งถูกน้ำและเกลือทำให้เสื่อมสภาพได้ง่าย น้ำที่ซึมเข้าสู่อิฐมาจากสิ่งแวดล้อม เช่น ความชื้นในอากาศ น้ำใต้ดิน น้ำฝน หรือเป็นน้ำที่ใช้ประกอบในการก่อสร้าง เป็นต้น ส่วนเกลือในอิฐมาจากหลายแหล่งที่มา บางครั้งเกลือก็มาจากวัสดุที่ใช้ในการผลิตอิฐ จากวัสดุก่อสร้างที่อยู่ติดกับอิฐเช่นปูนก่อหรือปูนฉาบ หรือมาจากสิ่งแวดล้อม ตัวของน้ำเองนอกจากจะทำลายอิฐได้หลายทางแล้ว น้ำยังเป็นตัวการที่นำเกลือเข้าสู่อิฐในรูปของสารละลายเกลืออีกด้วย เมื่อน้ำระเหยไปเกลือก็จะตกผลึกภายในรูเล็กๆ ของเนื้ออิฐนั้น (เรียกผลึกเกลือในรูพรุนนี้ว่า “Crypto-florescence”) หรือตกผลึกเป็นคราบเกลือบนผิวหน้าของอิฐ (ซึ่งเรียกคราบเกลือนี้ว่า “Efflorescence”) ผลึกเกลือในรูเล็กๆ ของเนื้ออิฐนี้เป็นอันตรายต่ออิฐมากกว่าคราบเกลือ เพราะเมื่อเกลือตกผลึกในรูเล็กๆ นั้นปริมาตรของผลึกเกลือที่เพิ่มขึ้นจะมีแรงดันที่ทำให้ผนังของรูเล็กๆ นั้นแตกและทำให้อิฐป่นซุย (Disaggregating และ Crumbling) หรือโป่งพอง (Blistering) แล้วหลุดเป็นแผ่นๆ (Exfoliation) นอกจากนั้นเกลือยังทำให้อิฐด่างแยกชั้นอิฐออกจากกัน ทำให้ขอบอิฐแตกเป็นชิ้นเล็กๆ และไม่เรียบ ทำให้อิฐระเบิด หรือแม้กระทั่งทำให้ปูนก่อขยายตัวและเสื่อมสภาพ และส่งผลทำให้กำแพงหรือผนังอิฐแตกร้าวเสียหายได้

คำสำคัญ : กำแพงอิฐ ผนังอิฐ เกลือในอิฐ คราบเกลือ การเสื่อมสภาพของอิฐ การอนุรักษ์โบราณสถานอิฐ

Abstract

Brick, one of the important materials that have been used to construct walls, is susceptible to water and salt attacks. Water enters bricks as moisture in the air, groundwater, rainwater, water used in construction, and so on, while salts come from various sources. Salts sometimes present as original materials in brick or they are derived from adjacent materials, such as mortar or lime dressing, or from the environment. Water itself not only deteriorates bricks in many ways, such as causing cracks and exfoliation of the bricks, but also transports salts into brick pores as salt solutions, and, after its evaporation, salts crystallise either within the pores—called “crypto-florescence”—or on the surface—called “efflorescence”. Crypto-florescence is more harmful to bricks than efflorescence because when salts crystallise in the pores it exerts forces resulting in either disaggregating and crumbling of thin surface layers of the bricks or lifting them up as the blister of exfoliation sheets. Moreover, depending on their types, salts stain brick’s surface, splits brick’s layers, spall brick’s edges, burst the brick, or even expand and deteriorate brick’s mortar resulting in deforming and cracking of brick walls.

Keywords : Bricks, brick walls, salts in brick, efflorescence, brick deterioration, brick conservation

อิฐเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างมาตั้งแต่ประมาณ 4000 ปีก่อนคริสตกาล โดยชาว Chaldaeans และชาวอียิปต์ (ยมนาค, ๒๕๔๕[1]) ในประเทศไทยเองก็เริ่มใช้อิฐมาตั้งแต่สมัยทวารวดี ต่อมาถึงสมัยลพบุรี สุโขทัย อยุธยา ธนบุรี และรัตนโกสินทร์ ซึ่งจะเห็นได้จากงานสถาปัตยกรรมในยุคต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเจดีย์ ปรางค์ โบสถ์ วิหาร หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ แม้กระทั่งในปัจจุบันอิฐก็ยังเป็นที่นิยมในการนำมาก่อสร้างอาคารบ้านเรือน ซึ่งส่วนใหญ่คือการนำอิฐมาก่อผนังกั้นห้องเพื่อให้เกิดพื้นที่ใช้สอยภายในโดยไม่ได้ใช้อิฐเป็นโครงสร้างหลักเพื่อรับน้ำหนักเหมือนอย่างสมัยโบราณแล้ว (ยกเว้นอิฐบางชนิดที่ระบุไว้ว่าใช้เป็นกำแพงรับน้ำหนักได้ เช่น อิฐบางบัวทองหรืออิฐบล็อกบางชนิด) แต่ไม่ว่าจะเป็นยุคสมัยใดหรือเทคนิคการก่อสร้างและการใช้งานจะเปลี่ยนไปอย่างไร ปัญหาคราบเกลือบนโครงสร้างอิฐก็ยังคงอยู่ และเป็นตัวการสำคัญตัวหนึ่งซึ่งทำให้อิฐเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควร ดังนั้นในการที่เราจะอนุรักษ์โบราณสถานอิฐสักแห่งนั้น สิ่งหนึ่งที่เราควรจะให้ความสำคัญก็คือการขจัดเกลือที่อยู่บนโบราณสถานนั้นออกไปและป้องกันไม่ให้เกลือเหล่านี้กลับมาในอิฐได้อีก ซึ่งก่อนที่เราจะทำการดังนี้ได้เราก็ควรจะต้องทำความรู้จักกับคราบเกลือเหล่านี้เสียก่อน เพื่อที่เราจะได้ทราบถึงสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดคราบเกลือเหล่านี้ และหาวิธีแก้ไขให้เหมาะสมต่อไป

[1] ในบทความนี้ ในส่วนของแหล่งอ้างอิง ตัวเลขไทยแสดงปีพุทธศักราชที่พิมพ์ และตัวเลขอารบิกแสดงปีคริสตศักราชที่พิมพ์

การเกิดเกลือบนกำแพงอิฐนั้นประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น เกลือ สภาพแวดล้อม และที่สำคัญที่สุดคือน้ำ ซึ่งในบทความนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดของแหล่งที่มาของเกลือและน้ำ สภาพแวดล้อมที่เอื้อให้เกิดเกลือ และกระบวนการที่ทำให้เกิดเกลือบนผนังอิฐ รวมไปถึงกระบวนการเสื่อมสภาพของอิฐที่เกิดจากเกลือด้วย

เกลือคืออะไร

เกลือในทางวิทยาศาสตร์คือสารเคมีที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างกรดกับด่างแล้วได้เกลือกับน้ำ (อรัณยะนาค, ๒๕๒๙) เช่นเมื่อนำกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งเป็นกรดเกลือมาทำปฏิกิริยากับโซดาไฟ (NaOH) จะได้สารผลลัพธ์คือเกลือแกง (โซเดียมคลอไรด์ NaCl) และน้ำ (H_2O) หรือการเกิดปฏิกิริยาฝนกรดในอากาศคือการที่น้ำฝน (H_2O) ทำปฏิกิริยากับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศซึ่งเป็นมลพิษในเมืองแล้วได้สารผลลัพธ์คือกรดซัลฟุริก (H_2SO_4) ซึ่งเมื่อน้ำฝนที่มีกรดซัลฟุริกนี้ตกใส่วัสดุซึ่งมีหินปูน ($CaCO_3$) เป็นส่วนประกอบ ผลที่ได้คือเกิดเป็นเกลือยิปซั่ม ($Ca_2SO_4 . 2H_2O$) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) เป็นต้น

เกลือประกอบไปด้วยอิออนบวกของด่างและอิออนลบของกรด ตัวอย่างเช่นเกลือแกงที่เราใช้ปรุงอาหารคือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งมีโซเดียม (Na) เป็นอิออนบวกและคลอไรด์ (Cl) เป็นอิออนลบ ตัวอย่างเกลือที่เราพบเห็นได้บ่อยบนโบราณสถานในประเทศไทย ได้แก่ เกลือคลอไรด์ เกลือซัลเฟต เกลือไนเตรท เกลือคาร์บอเนต และเกลือฟอสเฟต (อรัณยะนาค, ๒๕๒๙) ซึ่งพบอยู่ในรูปของโปตัสเซียมคลอไรด์ (KCl) โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แมกเนเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) และแคลเซียมซัลเฟต ($Ca_2SO_4 . 2H_2O$) หรือยิปซั่มที่เรารู้จักกันดีนั่นเอง

แหล่งที่มาของเกลือในกำแพงอิฐ

การศึกษาเกลือในกำแพงอิฐที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งคือการค้นหาแหล่งที่มาและแหล่งที่มาของเกลือในกำแพงอิฐที่สำคัญแหล่งหนึ่งก็คือมาจากเนื้อของอิฐเองอิฐทำมาจากดินเหนียวหรือดินโคลนและวัสดุประกอบอื่นๆ เช่น แกลบ ขี้เลื่อย ทราย นำมาปั้นขึ้นรูปเป็นก้อน ผึ่งให้แห้งแล้วเผาไฟ ซึ่งจากการที่อิฐทำมาจากดินนี่เอง ทำให้เนื้ออิฐประกอบไปด้วยแร่คาโอลิไนต์ (Kaolinite) ไมกา (Mica) คลอไรต์ (Chlorites) และควอทซ์ (Quartz) (Holdridge, 1963 ; Lach and Bures, 1974) และถ้าแยกแร่เหล่านี้เป็นองค์ประกอบทางเคมีก็จะประกอบไปด้วยซิลิกอนในรูปของควอทซ์ (Silicon Dioxide หรือ SiO_2) อลูมิเนียมในรูปของอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และมีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ร่วมอยู่ด้วย

นอกจากดินเหนียวซึ่งเป็นวัตถุดิบในการทำอิฐแล้ว ดินตามธรรมชาติเองก็มีเกลือและแร่ธาตุอื่นๆ เป็นส่วนประกอบด้วย อินทรียสารที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตในดิน (Humus) ก็อาจทำให้ดินเป็นกรดได้ง่ายขึ้น และเมื่อดินเป็นกรดแล้วทำปฏิกิริยากับน้ำและแร่ธาตุต่างๆ ในดินก็จะทำให้เกิดเกลือในดินเพิ่มขึ้นอีก (อรัณยะนาค, ๒๕๒๖) ดังนั้นเมื่อกำแพงหรือโบราณสถานอิฐถูกสร้างขึ้นบนดินโดยไม่ได้มีการเสริมฉนวนกันความชื้นจากใต้ดินเข้าสู่ตัวอาคาร น้ำใต้ดินจะละลายเกลือที่อยู่ในดินกลายเป็นสารละลายเกลือและซึมเข้าสู่กำแพงหรือตัวโบราณสถานอิฐ ดังนั้นดินที่โบราณสถานอิฐนั้นๆ ตั้งอยู่ก็เป็นแหล่งที่มาของเกลือในกำแพงอิฐที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง (กระบวนการที่น้ำหรือสารละลายเกลือซึมเข้าสู่เนื้ออิฐจะกล่าวถึงโดยละเอียดต่อไป) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าน้ำใต้ดินละลายเกลือที่อยู่ในดินแล้วกลายเป็นสารละลายเกลือ ดังนั้นน้ำใต้ดินก็เป็นแหล่งที่มาของเกลือในกำแพงอิฐด้วย

ในการก่อกำแพงหรือก่อสร้างอาคารอิฐนั้นสิ่งสำคัญที่ขาดไม่ได้อีกหนึ่งอย่างก็คือปูนสอ (Mortar) และถ้าเป็นโบราณสถานในประเทศไทย ส่วนมากก็จะต้องมีปูนฉาบและปูนปั้นด้วย ปูนสอ ปูนฉาบ และปูนปั้นในสมัยโบราณทำมาจากปูนขาว (Lime) ซึ่งก็คือการนำหินปูน (Limestone) มาเผาไฟให้ได้ปูนดิบ (CaO) แล้วนำไปหมักจนกระทั่งได้ที่เป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) แล้วนำมาตำกับทรายและส่วนผสมอื่นๆ ก่อนนำมาใช้งาน ซึ่งแม้ว่าปูนขาวจะมีเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย แต่ถ้าเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งใช้เป็นปูนสอและปูนฉาบในปัจจุบันแล้ว ปูนขาวมีปริมาณเกลือที่น้อยมาก (จึงสิริอารักษ์, ๒๕๔๐) ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้นนอกจากจะมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นส่วนประกอบแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ อีก เช่น แคลเซียมซัลเฟต (ซึ่งเติมเพิ่มเข้าไประหว่างการผลิตปูนเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวหน่วงปฏิกิริยาแล้วทำให้ปูนแข็งตัวช้าลง) หรือโซเดียมซัลเฟต (ซึ่งเป็นสารพลอยได้จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำระหว่างการผสมปูนเพื่อใช้งาน) ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดเกลือต่างๆ ของซัลเฟตขึ้นในกำแพงและโครงสร้างอิฐ และเกลือของซัลเฟตนี้เองที่มีอานุภาพในการทำให้อิฐเสื่อมสภาพได้มากกว่าเกลือชนิดอื่นๆ ซึ่งเราจะพบว่ากำแพงอิฐโบราณที่ได้รับการซ่อมแซมด้วยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นปูนสอและปูนฉาบจะเกิดปัญหาการเสื่อมสภาพของอิฐและกำแพงโบราณมากกว่าก่อนที่จะได้รับการซ่อมแซมเสียอีก (นอกจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะสร้างปัญหาให้กำแพงอิฐในเรื่องการเพิ่มเกลือซัลเฟตให้กับอิฐแล้ว ยังมีปัญหาทางด้านอื่นๆ อีกด้วย เช่น การรับแรงที่มากเกินกว่าตัวอิฐโบราณแล้วทำให้อิฐร้าวหรือแตกหักได้ง่ายขึ้น การที่ปูนซีเมนต์ยอมให้อากาศและน้ำในกำแพงอิฐผ่านได้ยากกว่าปูนขาว แล้วทำให้เกิด

ปัญหาปูนฉาบเดิมซึ่งเป็นปูนขาวระเบิด และยังก่อให้เกิดความชื้นสะสมในกำแพงอิฐซึ่งส่งผลให้เกิดเกลือในกำแพงอิฐมากขึ้น เป็นต้น ซึ่งปัญหาจากปูนซีเมนต์นี้ถ้ามีโอกาสจะนำมาอธิบายอย่างละเอียดอีกครั้ง หรือผู้อ่านอาจหาความรู้จากบทความวิชาการอื่นๆ เพิ่มเติมได้)

นอกจากนี้เกลือในกำแพงอิฐอาจมาจากแหล่งอื่นๆ เช่น มากับน้ำฝนดังที่กล่าวมาข้างต้น มาจากมูลสัตว์ที่ถ่ายรดบนกำแพงอิฐหรือบริเวณใกล้เคียง มาจากวัชพืชหรือต้นไม้ที่ขึ้นอยู่บนกำแพงหรือบริเวณโดยรอบ มาจากสภาพแวดล้อม เช่น บริเวณที่ใกล้ทะเลจะมีละอองของผลึกเกลือโซเดียมคลอไรด์ปะปนมาในอากาศ (Schaffer, 2004 ; Feilden, 1982) มาจากจุลินทรีย์ เช่น รา ไลเคนส์ หรือตะไคร่น้ำ และพืชชั้นต่ำ เช่น มอสที่ขึ้นอยู่บนกำแพง ฯลฯ จะเห็นได้ว่าเกลือในกำแพงอิฐมาได้จากหลายแหล่งทั้งจากตัวของเนื้ออิฐเอง หรือจากวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ที่ใช้ในการก่อสร้างกำแพง และมาจากสภาพแวดล้อมที่กำแพงหรือโครงสร้างอิฐนั้นตั้งอยู่ แต่ทั้งนี้เกลือเหล่านี้จะไม่สามารถทำอันตรายกำแพงอิฐได้เลย ถ้าปราศจากน้ำหรือความชื้นเป็นตัวช่วย ดังนั้นในการศึกษาเรื่องเกลือในกำแพงอิฐจึงจำเป็นต้องศึกษาแหล่งที่มาของน้ำและความชื้นและวิธีการที่น้ำหรือความชื้นเข้าสู่กำแพงอิฐด้วย

กระบวนการเข้าสู่กำแพงอิฐของเกลือ

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าเกลือเข้าสู่กำแพงอิฐโดยอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง ในประเทศไทยแหล่งของน้ำที่สามารถซึมเข้าสู่กำแพงอิฐมากที่สุดคือ น้ำฝน น้ำใต้ดิน และความชื้นในอากาศ ทั้งนี้เพราะน้ำมีอยู่ทั่วไปในบรรยากาศในรูปของความชื้นซึ่งสามารถกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะอยู่ตามพื้นผิวของอิฐหรือวัสดุอื่นๆ ได้โดยตรง หรือความชื้นในอากาศกลั่นตัวเป็นก้อนเมฆและกลายสภาพเป็นน้ำไหลลงมาสู่พื้นโลกในรูปของน้ำฝน ซึ่งอาจจะกระทบกับกำแพงอิฐโดยตรง หรือเป็นน้ำฝนที่ไหลลงมาจากหลังคา ชายคา หรือกันสาดลงสู่กำแพง หรือไหลลงสู่พื้นดินกลายเป็นห้วย หนอง คลอง บึง แม่น้ำ และทะเล ซึ่งจะกลายมาเป็นน้ำที่ถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐหรือก่อกำแพงต่อไป หรือซึมลงสู่ใต้ดินกลายเป็นน้ำใต้ดินหรือน้ำบาดาลและถูกดูดเข้าสู่กำแพงอิฐในเวลาต่อมา นอกจากน้ำในบรรยากาศแล้วน้ำซึ่งมาจากกระบวนการสังเคราะห์อาหารและหายใจของพืชและสัตว์ก็เป็นแหล่งของความชื้นในอากาศที่สามารถซึมเข้าสู่กำแพงอิฐได้ด้วย ซึ่งการคำนวณหาปริมาณความชื้นในอากาศก็คือการการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative Humidity หรือ %RH) ด้วยไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) นั่นเอง ซึ่งค่าที่ได้คือร้อยละของอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นจริงในอากาศ (Actual Water Content) ณ อุณหภูมิหนึ่ง กับปริมาณความชื้นสูงสุดในอากาศ (Saturated Water Content) ที่อุณหภูมินั้นๆ จะรับได้ (Bry-Air, nd)

แต่อย่างไรก็ดี น้ำจากแหล่งต่างๆ นี้จะไม่สามารถเข้าสู่กำแพงอิฐได้เลยถ้าอิฐไม่ใช่วัสดุที่มีรูพรุน (Porous Material) และดูดซึมน้ำได้ (Hydrophilic Material) ธรรมชาติของอิฐที่สำคัญอย่างหนึ่งคือการที่อิฐมีรูพรุน รูเล็กๆ (Pores) ในเนื้ออิฐนี้โดยทั่วไปจะมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ก็อาจมีรูพรุนบางรูที่มีขนาดใหญ่พอที่จะสังเกตเห็นได้ รูเล็กๆ เหล่านี้มิใช่เป็นเพียงแค่หลุมแค่บ่อที่ปรากฏบนผิวนอกของอิฐ แต่จริงๆ แล้วคือท่อเล็กๆ ที่ต่อเนื่องกันไปทั่วเนื้ออิฐทั้งก้อน และท่อเล็กๆ เหล่านี้นี่เองที่ทำหน้าที่เสมือนท่อลำเลียงน้ำหรือสารละลายเกลือเข้าสู่ตัวอิฐโดยกระบวนการที่เรียกว่า “คาปิลารีแอคชั่น” (Capillary Action หรือ Capillarity) ซึ่งก็คือการที่น้ำถูกดูดเข้าสู่ท่อเล็กๆ โดยอาศัยแรงดึงดูดระหว่างน้ำกับผิวของท่อ ผู้อ่านคงพอจำได้ว่าตอนที่เราเรียนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นนั้น เราเคยทดลองนำต้นกระสังมาแช่ในน้ำหมึก แล้วต้นกระสังสามารถดูดน้ำหมึกเข้าไปในลำต้นซึ่งก็คือท่อลำเลียงน้ำของต้นกระสังได้ นี่คือตัวอย่างง่ายๆ ของกระบวนการที่เรียกว่า “คาปิลารีแอคชั่น” นั่นเอง ซึ่งการที่แรงดึงดูดน้ำเข้าสู่ท่อเล็กๆ ในอิฐ หรือแรงดึงดูดที่ต้นกระสังดูดน้ำหมึกเข้าสู่ลำต้นนั้นมีขนาดมากกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่น้ำใต้ดินสามารถซึมเข้าสู่กำแพงอิฐได้ ทั้งๆ ที่เป็นการไหลของน้ำจากที่ต่ำขึ้นสู่ที่สูงและผิดจากหลักแรงโน้มถ่วงของโลกที่น้ำต้องไหลลงสู่ที่ต่ำ ทั้งนี้แรงดึงดูดของน้ำกับผิวของท่อเล็กๆ นี้จะมากขึ้นเมื่อขนาดของท่อเล็กลง ยิ่งท่อเล็กเท่าใดน้ำก็จะถูกดูดไปได้ไกลมากเท่านั้น ซึ่งความไกลของน้ำที่ถูกดูดซึมจะแปรผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อนั่นเอง (Winkler, 1994) และยิ่งอิฐมีความพรุน (porosity) มากและท่อยิ่งมีขนาดเล็กเท่าใด อิฐนั้นๆ จะมีความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพเพราะความชื้นและเกลือมากขึ้นเท่านั้น

กล่าวโดยสรุปก็คือ เกลือเข้าสู่กำแพงอิฐเมื่อฝนตกและสัมผัสกับผิวหน้าของอิฐ หรือเมื่อความชื้นในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะบนผิวอิฐ น้ำก็จะถูกดูดเข้าสู่ก้อนอิฐโดยตรงด้วยแรงดึงดูดของคาปิลารีแอคชั่นของรูพรุนในอิฐ หรือเมื่อก่อกำแพงอิฐบนดิน น้ำใต้ดินก็จะถูกดูดเข้าสู่ก้อนอิฐด้วยกระบวนการคาปิลารีเช่นกัน และถ้าน้ำนั้นมีสภาพเป็นสารละลายเกลืออยู่แล้ว หรือเพิ่งละลายเกลือที่เกาะอยู่บนผิวของอิฐ เกลือจากมลพิษในอากาศ หรือเกลือที่อยู่ในดิน จนกลายสภาพเป็นสารละลายเกลือแล้วซึมเข้าสู่เนื้ออิฐ เกลือก็เข้าสู่เนื้ออิฐไปพร้อมกับน้ำนั่นเอง รวมทั้งถ้าน้ำธรรมดาซึมผ่านปูนสอ ปูนฉาบ หรือวัสดุที่อยู่ใกล้เคียงก่อนซึมเข้าสู่ตัวอิฐ เกลือในวัสดุเหล่านั้นก็จะละลายและถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้ออิฐด้วย

คราบเกลือ (Efflorescence) บนกำแพงอิฐเป็นหลักฐานอย่างหนึ่งที่แสดงว่าในกำแพงนั้นมีเกลืออยู่ ซึ่งคราบเกลือที่เราเห็นบนกำแพงอิฐนั้นก็เกิดขึ้นจากการระเหยของน้ำและการตกผลึกของเกลือในสารละลายที่เข้าสู่กำแพงอิฐนั่นเอง กล่าวคือ ถ้าอัตราการ

ระเหยของน้ำในสารละลายเกลือที่ถูกดูดเข้าไปในรูพรุนหรือท่อเล็กๆ ในอิฐนั้นช้ากว่าการเคลื่อนตัวของสารละลายเกลือจากภายในรูพรุนของอิฐออกสู่ผิวของอิฐ ผิวนอกของอิฐนั้นก็จะชื้นไปด้วยสารละลายเกลือ และเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงหรือเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น น้ำในสารละลายเกลือที่ค้างอยู่บริเวณผิวของอิฐก็จะระเหยไปและเกลือในสารละลายนั้นก็จะตกผลึก (Salt Crystallisation) เป็นคราบเกลือ (Efflorescence) บนกำแพง และคราบเกลือส่วนที่ละลายน้ำได้ก็จะถูกชะล้างไปกับฝน (แต่ก็ทำให้น้ำฝนกลายเป็นสารละลายเกลือซึ่งอาจจะซึมเข้าสู่กำแพงอิฐได้อีก) จะเห็นได้ว่าการเกิดคราบเกลือบนกำแพงอิฐนี้ขึ้นอยู่กับการระเหยของน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งเราจะเห็นคราบเกลือบนกำแพงอิฐได้ในฤดูร้อนที่ฝนไม่ค่อยตก โดยเฉพาะกำแพงอิฐด้านที่ถูกแสงแดดทั้งวันซึ่งจะมีอัตราการระเหยของน้ำมากกว่าด้านที่ไม่ถูกแดด และคราบเกลือเหล่านี้จะหายไปในฤดูฝนและอาจกลับมาอีกในฤดูหนาวหรือฤดูร้อนถัดไป ถ้าเกลือเหล่านี้ไม่ได้ถูกกำจัดออกไปและเราไม่ได้ป้องกันไม่ให้เกลือเข้าสู่กำแพงอีก

อย่างไรก็ดี แม้ว่าเราไม่เห็นคราบเกลือบนกำแพงอิฐ (ยกเว้นแต่เราจะทุบหรือทำให้ก้อนอิฐแตกออก) ก็ใช่ว่าในกำแพงนั้นจะไม่มีเกลืออยู่ เพราะจริงๆ แล้วในรูพรุนของอิฐนั้นก็อาจจะมีผลึกเกลือ (Crypto-florescence) อยู่ก็ได้ Crypto - Florescence นั้นจะเกิดภายใต้สภาวะที่ตรงข้ามกับการเกิด Efflorescence กล่าวคือ ถ้าอัตราการระเหยของน้ำในสารละลายเกลือที่ถูกดูดเข้าไปในรูพรุนหรือท่อเล็กๆ ในอิฐนั้นเร็วกว่าการเคลื่อนตัวของสารละลายเกลือจากภายในรูพรุนของอิฐออกสู่ผิวของอิฐ ผิวนอกของอิฐก็จะแห้ง แต่สารละลายเกลือจะยังคงอยู่ในรูพรุนต่อไป ซึ่งเมื่อน้ำในสารละลายเกลือที่อยู่ในรูพรุนนี้ระเหยหรือแพร่ไปสู่ที่อื่น เกลือก็จะตกผลึกอยู่ในรูพรุนของอิฐกลายเป็นผลึกเกลือที่เรียกว่า crypto-florescence ซึ่งการเกิดผลึกเกลือในเนื้ออิฐนี้เป็นอันตรายต่อกำแพงอิฐและทำให้กำแพงอิฐเสื่อมสภาพได้มากกว่าคราบเกลือบนกำแพงอิฐหลายเท่าดังที่จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ขนาดของรูพรุนในเนื้ออิฐเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลทำให้อัตราการระเหยของน้ำและอัตราการเคลื่อนตัวของสารละลายเกลือในอิฐต่างกัน ซึ่งส่งผลให้เกลือตกผลึกในตำแหน่งที่ต่างกันดังที่กล่าวมาข้างต้น อิฐที่เนื้อละเอียดและมีรูพรุนขนาดเล็กมากๆ นอกจากจะเกิดกระบวนการคาปิลารีดูดน้ำเข้าไปในเนื้ออิฐได้มากและเร็วแล้ว ยังสามารถดูดน้ำกลับออกมาสู่ผิวอิฐได้เร็วอีกด้วย ซึ่งก็ทำให้น้ำบริเวณผิวของอิฐระเหยได้มากและเกลือตกผลึกบนผิวของอิฐ (Efflorescence) แต่ในทางกลับกัน อิฐที่เนื้อหยาบและมีรูพรุนขนาดใหญ่จะเอื้อให้น้ำหรือสารละลายเกลือที่ซึมเข้าไปในเนื้ออิฐระเหยโดยการ แพร่หรือการระบายของอากาศได้ดี ซึ่งทำให้เกลือตกผลึกในเนื้ออิฐ (Crypto - Florescence)

อัตราการตกผลึกของเกลือนอกจากจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและความสามารถในการละลายน้ำของเกลือด้วย สารละลายเกลือที่มีความเข้มข้นมากจนเกือบอิ่มตัวจะตกผลึกเร็ว เพราะเพียงน้ำที่เป็นตัวทำละลายระเหยออกไปเล็กน้อยเท่านั้น เกลือก็ตกผลึก ซึ่งปรากฏการณ์นี้ส่งผลให้กำแพงอิฐที่ดูดซึมสารละลายเกลือที่เกือบอิ่มตัวมีแนวโน้มที่จะมีคราบเกลือ (Efflorescence) เกิดขึ้นมากกว่าจะมีการตกผลึกของเกลือในเนื้ออิฐ (Crypto - Florescence)

กล่าวโดยสรุปแล้ว ตำแหน่งที่เกลือในอิฐจะตกผลึกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่ซึมเข้าสู่อิฐ อัตราการระเหยของน้ำและปริมาณน้ำที่ค้างหรือถูกดูดซึมเข้าไปสู่เนื้อในของอิฐ รวมทั้งอัตราการระบายอากาศของผิวหน้าของอิฐด้วย (Amoroso and Fassina, 1983)

เกลือและการเสื่อมสภาพของกำแพงอิฐ

อัตราและความรุนแรงของการเสื่อมสภาพของกำแพงอิฐเนื่องจากเกลือนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดและคุณสมบัติของเกลือ ความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่ถูกดูดซึมเข้าไปในกำแพง ชนิด คุณสมบัติ และสภาพของก้อนอิฐที่ใช้ก่อกำแพง (รวมไปถึงขนาดและร้อยละของรูพรุนในเนื้ออิฐ และความแข็งแรงทนทานของรูพรุนเล็กๆ ในอิฐ) รวมทั้งสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่เอื้อต่อการเสื่อมสภาพของกำแพงอิฐ เป็นต้น

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการอัตราการเสื่อมสภาพของกำแพงอิฐซึ่งจะมองข้ามไม่ได้เลยอีกปัจจัยหนึ่งก็คือตำแหน่งที่เกิดผลึกเกลือในกำแพงอิฐ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าผลึกเกลือในรูพรุนของอิฐ (Crypto - Florescence) ทำอันตรายต่อกำแพงอิฐมากกว่าคราบเกลือ ทั้งนี้เนื่องจากเกลือเมื่อตกผลึกจะมีปริมาตรมากกว่าเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย และปริมาตรของผลึกเกลือบางชนิด เช่น ผลึกเกลือของซัลเฟต มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนเล็กๆ ในอิฐมาก ดังนั้นเมื่อสารละลายเกลือซัลเฟต เช่น สารละลายโซเดียมซัลเฟตตกผลึก ผลึกจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูหรือท่อเล็กๆ ในอิฐ และจะดันให้ผนังของรูหรือท่อเล็กๆ เหล่านั้นแตกออก โดยเฉพาะรูหรือท่อเล็กๆ ที่มีขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน (5×10^{-6} เมตร) (Bell, 1992)[2] และเนื่องจากการตกผลึกนี้จะเกิดขึ้นในบริเวณใกล้ๆ กับผิวนอกของอิฐ เมื่อรูพรุนหรือท่อเล็กๆ ในเนื้ออิฐถูกทำลายลงก็ส่งผลให้ผิวด้านนอกของอิฐปั่นซุย (Disaggregating) เนื้ออิฐส่วนตื้นๆ ใกล้กับผิวด้านนอกปั่นแตก (Crumbling) และเนื้ออิฐส่วนในแตกเป็นแผ่นบางๆ (Exfoliation) หรือโป่งซุย (Blistering) ได้ (Lewin and Charola, 1979 ; Torraca, 1981)

[2] อย่างไรก็ดีมีผู้วิจัยบางท่านกล่าวแย้งว่าการตกผลึกและการถูกละลายใหม่ของผลึกเกลือไม่ได้เป็นตัวการหลักที่ทำให้วัสดุที่มีรูพรุนนั้นแตก เพราะเกลือที่ตกผลึกแล้วมีปริมาตรน้อยกว่าปริมาตรของสารละลายเกลือที่อยู่ในรูพรุนในตอนแรกเสียอีก (Charola, 2000) แต่สิ่งที่ทำให้รูพรุนของวัสดุแตกคือแรงดันที่เกิดขึ้นจากการดูดและคายน้ำ (Hydration-Dehydration) ของผลึกเกลือ เช่น ผลึกเกลือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เมื่อดูดน้ำหรือความชื้นในวัสดุเข้ามาในผลึกเพิ่ม จะกลายเป็นผลึกเกลือโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรต ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) ซึ่งเป็นผลึกเกลือที่มี “น้ำผลึก” (Water of Crystallization) ประกอบอยู่ และเป็นผลึกเกลือซึ่งมีขนาดผลึกที่ใหญ่ขึ้นที่เรียกว่า “ผลึกที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ (Hydrated Crystal)” หลังจากนั้นเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงหรือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลึกเกลือโซเดียมซัลเฟตเดคาไฮเดรตที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบนี้ก็จะคายน้ำผลึกออกและทำให้ผลึกเกลือนั้นมีขนาดเล็กลงกลายเป็นผลึกเกลือแห้ง (Anhydrous Crystal) ของโซเดียมซัลเฟตเหมือนเดิม ซึ่งผลึกเกลือแห้งนี้ก็พร้อมที่จะดูดน้ำผลึก และขยายตัวได้ทันทีที่อุณหภูมิในอากาศลดลงหรือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นอีก และการที่ผลึกเกลือขยายและหดตัวซ้ำๆ เช่นนี้หลายๆ ครั้งต่อวันนี่เองที่ทำให้เกิดแรงดันดันผนังภายในรูพรุนเหล่านั้นให้แตกออก (อรัณยะนาค, ๒๕๒๙)

อัตราการเสื่อมสภาพของกำแพงอิฐเพราะเกลือนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังขึ้นอยู่กับอัตราการ “เปียกและแห้ง” (Wet - Dry Cycling) ของอิฐ และอัตราการตกผลึกของเกลือ (Salt Crystallization) ด้วย (หรือกล่าวในอีกนัยหนึ่งก็คือขึ้นอยู่กับความถี่ที่น้ำฝน น้ำใต้ดิน หรือความชื้นจากอากาศเข้าสู่อิฐและระเหยออกจากอิฐ) การที่กำแพงอิฐเปียกและแห้งและเปียกและแห้งสลับกันไปเรื่อยๆ ก็มีส่วนทำให้กำแพงนั้นเสื่อมสภาพเร็วขึ้น และโดยเฉพาะถ้าน้ำที่เข้าสู่กำแพงอิฐนั้นไม่ใช่น้ำบริสุทธิ์แต่มีเกลือปนเปื้อนมาด้วย การแห้งและเปียกของกำแพงบ่อยๆ ก็จะยิ่งทำให้เกลือตกผลึกบ่อยขึ้น และทุกครั้งที่เกลือตกผลึกก็จะดันให้เนื้ออิฐแตก และทำให้อิฐเสื่อมสภาพเร็วขึ้น รวมทั้งถ้าเกลือในสารละลายที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอิฐมีหลายชนิดก็จะส่งผลให้อิฐเสื่อมสภาพเร็วและรุนแรงขึ้นกว่าการเสื่อมสภาพเพราะเกลือเพียงชนิดเดียว

นอกจากนี้การใช้วัสดุในการก่อสร้างและบูรณะที่ไม่เหมาะสม เช่น การนำวัสดุต่างชนิดกันมาใช้ร่วมกันโดยไม่ได้พิจารณาถึงการเข้ากันได้ของวัสดุแต่ละชนิด (Material Compatibility) ในแง่ของคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเชิงกล และโดยเฉพาะทางเคมีของวัสดุแต่ละชนิด ก็มีส่วนทำให้วัสดุเสื่อมสภาพเร็วขึ้น การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการก่อและฉาบรวมทั้งซ่อมแซมโครงสร้างโบราณสถานอิฐทำให้สารละลายเกลือซัลเฟตจากปูนสอ ปูนฉาบ คานหรือฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ซึมเข้ามาตามขอบของก้อนอิฐที่ใช้ก่อฐานหรือกำแพงแต่ละก้อน เมื่อเกลือตกผลึกก็ทำให้เกิดคราบเกลือตามขอบอิฐแล้วส่งผลทำให้ขอบอิฐแตกเป็นชิ้นเล็กๆ และไม่เรียบ และเนื้ออิฐปั่นแตก นอกจากนั้นเกลือซัลเฟตยังทำให้ปูนก่อเดิมขยายตัวและเสื่อมสภาพ ซึ่งส่งผลในระยะยาวทำให้กำแพงหรือผนังอิฐแตกร้าวเสียหายได้

ตัวอย่างการเสื่อมสภาพของกำแพงอิฐอันเนื่องมาจากเกลือ

จากการสำรวจสภาพโบราณสถานในจังหวัดอยุธยาเมื่อเดือนมีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๐ พบว่าเจดีย์และกำแพงอิฐส่วนใหญ่ประสบปัญหาการเสื่อมสภาพเนื่องมาจากเกลือ ตัวอย่างเช่น ที่เจดีย์ข้างวัดมเหยงค์ซึ่งพบคราบเกลือเกาะติดอยู่บนก้อนอิฐในบริเวณที่เป็นฐานของเจดีย์ที่อยู่ติดกับพื้นดิน ไล่ขึ้นมาจนถึงระดับล่างขององค์เจดีย์ (รูปที่ 1) จากคราบเกลือที่พบทำให้สันนิษฐานได้ว่าอาจเคยมีน้ำท่วมในตัวเมืองอยุธยาถึงระดับล่างขององค์เจดีย์ และน้ำซึ่งเป็นสารละลายเกลือหรือได้ละลายเกลือจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเจดีย์ได้ซึมเข้าสู่องค์เจดีย์ แล้วอาจเกิดคาปิลารีแอคชั่นดูดน้ำขึ้นจนถึงระดับที่คราบเกลือปรากฏอยู่ และเมื่อน้ำลดแล้วน้ำที่ซึมเข้าสู่เจดีย์ได้ระเหยไปทิ้งผลึกเกลือเป็นคราบ

ไว้บนผิวอิฐ หรืออาจเป็นได้ว่ามิได้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมขึ้น แต่น้ำใต้ดินซึ่งเป็นสารละลายเกลือซึมเข้าสู่องค์เจดีย์โดยคาปิลารีแอคชั่นจนถึงระดับความสูงเท่ากับคราบเกลือที่ปรากฏ และในทำนองเดียวกัน เมื่อน้ำระเหยออกไปเกลือก็ได้ตกผลึกบนผิวอิฐ แต่ไม่ว่าน้ำหรือสารละลายเกลือจะเข้าสู่องค์เจดีย์โดยทางใด ผลที่เกิดขึ้นคือเกิดคราบเกลือขึ้นบนเจดีย์และเจดีย์ได้เสื่อมสภาพลง ดังรูปที่ 2 และ 3

รูปที่ 1 (บน)
เจดีย์ข้างวัดมเหยงค์
จ. อยุธยา
รูปที่ 2 (ล่างซ้าย)
ฐานเจดีย์ข้างวัดมเหยงค์
รูปที่ 3 (ล่างขวา)
ส่วนฐานของเจดีย์องค์เดิมซึ่งอยู่ติดกับพื้นดิน (ภาพถ่ายเมื่อเดือน มี.ค. ๒๕๕๐)

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าเนื้ออิฐบางส่วนบริเวณฐานของเจดีย์ได้ถูกเกลือทำให้ป่นและแตกออกโดยเฉพาะบริเวณขอบอิฐ และสาเหตุที่บริเวณส่วนบนที่เป็นการเปลี่ยนระดับของฐานเจดีย์ถูกทำลายไปมากกว่าส่วนล่างของฐาน ก็อาจสันนิษฐานได้ว่าเป็นเพราะบริเวณนี้เป็นบริเวณที่รับน้ำมากกว่ากล่าวคือน้ำในอิฐนอกจากจะถูกดูดขึ้นมาจากน้ำใต้ดินหรือน้ำที่ท่วมแล้ว ยังมีน้ำฝนที่อาจขังอยู่บนฐานและซึมเข้าสู่เนื้ออิฐโดยกระบวนการคาปิลารีร่วมด้วย (คาปิลารีแอคชั่นไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลกเท่านั้น แต่สามารถเกิดขึ้นได้ทุกทิศทาง ซึ่งในที่นี้ก็คือการดูดจากพื้นด้านบนของฐานเข้าสู่ตัวฐาน) จึงทำให้บริเวณนี้เป็นบริเวณที่ชื้นและเกิดการเปียกและแห้งมากกว่าส่วนอื่น

รูปที่ 4 (บน)
กำแพงด้านนอกวัดพระราม จ. อยุธยา
รูปที่ 5 (ล่างซ้าย)
อิฐที่เสื่อมสภาพ
รูปที่ 6 (ล่างขวา)
แนวปูนสอและสภาพอิฐที่เสื่อมสภาพเพราะเกลือ (ภาพถ่ายเมื่อเดือน มี.ค. ๒๕๕๐)

รูปที่ 7 (บนขวา)
เจดีย์ข้างโบสถ์
วัดใหญ่ชัยมงคล
จ. อยุธยา
รูปที่ 8 (บนซ้าย)
ฐานเจดีย์องค์เดิม
รูปที่ 9 (ล่างบน)
สภาพอิฐของฐานเจดีย์
องค์เดิมซึ่งเสื่อมสภาพ
รูปที่ 10 (ล่างสุด)
ฐานวัดไชยวัฒนาราม
จ. อยุธยา
(ภาพถ่ายเมื่อเดือน มี.ค.
๒๕๕๐)

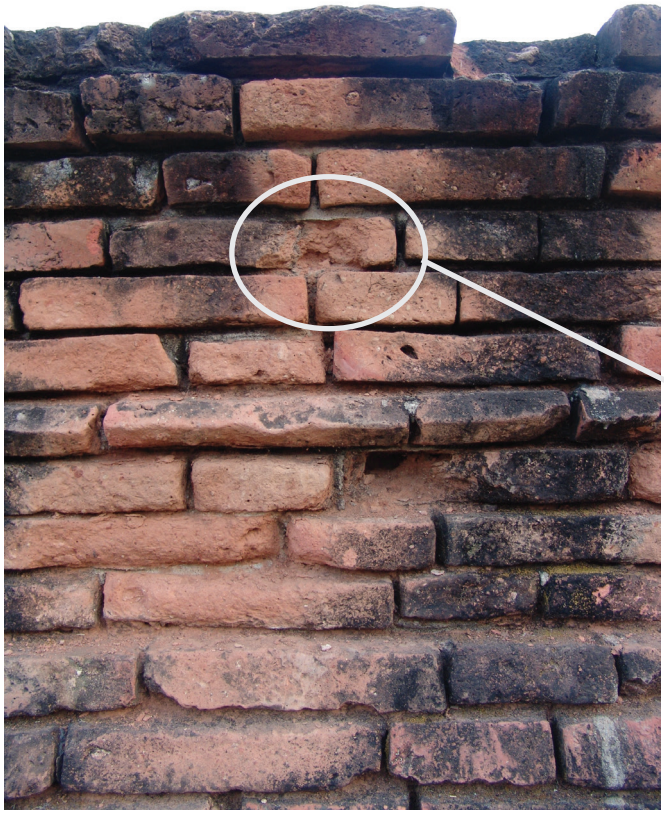
ซึ่งมีผลทำให้เนื้ออิฐถูกทำลายมากกว่าบริเวณอื่นดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อีกบริเวณหนึ่งที่เสื่อมสภาพเพราะเกลือมากคือบริเวณส่วนฐานเจดีย์ที่ติดกับพื้นดิน (รูปที่ 3) ซึ่งเป็นจุดที่อิฐสัมผัสกับดินและน้ำสามารถซึมเข้าสู่เนื้ออิฐได้โดยตรงก่อนที่น้ำจากอิฐแถวล่างสุดจะถูกดูดซึมต่อไปที่อิฐแถวที่สอง แถวที่สาม ฯลฯ ที่อยู่ด้านบนต่อไป ซึ่งส่งผลให้อิฐแถวล่างนี้มีปริมาณน้ำหรือสารละลายเกลือมากที่สุด และเมื่อน้ำระเหยออกไป อิฐแถวล่างนี้ก็จะมีปริมาณผลึกเกลือมากที่สุดด้วย

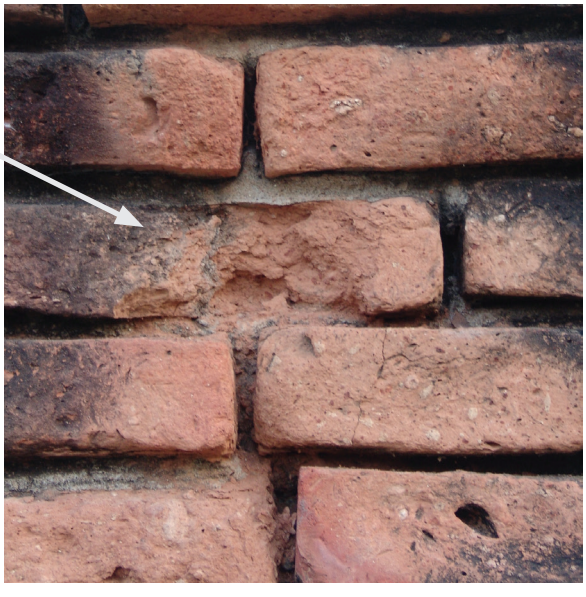
อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าในบางโบราณสถานที่สำรวจนั้นจะไม่มีคราบเกลือปรากฏอยู่ร่องรอยของปัญหาการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นบนเนื้ออิฐก็สามารถบ่งชี้ว่าการเสื่อมสภาพนั้นๆ มีสาเหตุมาจากเกลือได้ รูปที่ 4 เป็นภาพกำแพงด้านนอกของวัดพระราม จะเห็นว่าเนื้ออิฐบนกำแพงนั้นแตกร่อนเป็นแผ่นๆ โป่งซุย และป่นแตก (รูปที่ 5) จากรูปที่ 4 และรูปที่ 6 ทำให้พอสันนิษฐานได้ว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดเกลือน่าจะมาจากปูนสอนั่นเอง เพราะพบปูนสอซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการบูรณะโดยวิธี Re-Pointing ในบางส่วนของกำแพง ซึ่งกรณีเช่นนี้สามารถพบได้ในอีกหลายโบราณสถานอิฐในตัวเมืองอยุธยา เช่นที่เจดีย์ข้างโบสถ์วัดใหญ่ชัยมงคล (รูปที่ 7) เมื่อสังเกตใกล้ๆ จะพบว่าผิวหน้าของอิฐถูกทำลายไปจนป่นแตกจนถึงเนื้อข้างในของอิฐที่โป่งซุยและหลุดร่อนเป็นแผ่น โดยที่ปูนสอยังคงสภาพอยู่อย่างดี (รูปที่ 8 และรูปที่ 9) หรือที่ฐานวัดไชยวัฒนาราม (รูปที่ 10) ซึ่งเห็นได้ชัดว่าก้อนอิฐที่สัมผัสโดยตรงกับปูนสอซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่นำมา Re-Point ในขั้นตอนการบูรณะวัดนั้นจะเสื่อมสภาพมากกว่าก้อนอื่นๆ ในกำแพงเดียวกัน

เกลือที่อยู่ในรูปของสารละลายเป็นอันตรายต่อกำแพงอิฐน้อยกว่าเกลือที่ตกผลึก ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างในรูปที่ 11 ซึ่งเป็นอีกภาพหนึ่งของฐานของวัดไชยวัฒนารามที่แสดงให้เห็นว่าการเปียกและแห้ง (Wet-Dry Cycles) ของกำแพงหรือฐานอิฐส่งผลให้เกลือตกผลึกในปริมาณที่ต่างกัน โดยทั่วไปเมื่อฝนตกมากระทบกับส่วนบนของฐานหรือกำแพงอิฐนอกจากน้ำฝนจะถูกดูดซึมเข้าสู่เนื้อของอิฐแถวบนสุดแล้ว น้ำฝนยังไหลลงสู่ด้านข้างของฐานหรือกำแพงอิฐเพื่อระบายต่อไปยังพื้นดินด้วย ซึ่งเราพอจะสันนิษฐานแนวการไหลของน้ำได้จากแนวตะไคร่น้ำที่ขึ้นอยู่บนฐานหรือกำแพงอิฐนั่นเอง (บริเวณคราบสีดำในรูปที่ 11) เพราะตะไคร่น้ำมักขึ้นอยู่ในบริเวณที่ค่อนข้างจะเปียกชื้นอยู่เสมอ และนั่นก็แสดงว่าบริเวณที่ตะไคร่น้ำขึ้นจะต้องมีน้ำไหลผ่านอยู่บ่อยๆ แต่ทั้งนี้ก็ไม่ใช่ว่าส่วนอื่นๆ ของด้านข้างของฐานหรือกำแพงจะไม่เปียกน้ำเลย เพราะเวลาฝนตกน้ำฝนก็กระทบด้านข้างของฐานหรือกำแพงอิฐได้โดยตรงด้วย เพียงแต่เมื่อเวลาฝนไม่ตกแล้วนั้น บริเวณที่น้ำฝนกระทบเนื้ออิฐ

โดยตรงก็จะแห้งเร็วกว่าบริเวณที่น้ำที่เจิ่งอยู่ส่วนบนของฐานหรือกำแพงยังคงไหลระบายลงสู่พื้นดิน ซึ่งก็ส่งผลให้เกลือตกผลึกในบริเวณที่แห้งกว่ามากกว่าบริเวณที่ยังเปียกชื้นอยู่ และเมื่อเกลือตกผลึกมากกว่า เนื้ออิฐก็ถูกทำลายมากกว่า ดังรูปที่ 12 ซึ่งเป็นภาพขยายบริเวณที่เนื้ออิฐบนฐานนี้ถูกทำลายเนื่องจากการตกผลึกของเกลือมากที่สุดบริเวณหนึ่ง

จากตัวอย่างข้างต้นคงพอจะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดจากเกลือบนกำแพงหรือฐานของโบราณสถานอิฐได้บ้าง แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่เพียงแต่โบราณสถานอิฐเท่านั้นที่เสื่อมสภาพเพราะเกลือ อิฐที่ใช้ก่อสร้างอาคารในยุคปัจจุบันก็สามารถเสื่อมสภาพเพราะเกลือได้ โดยเฉพาะถ้าอิฐนั้นเปลือยและสัมผัสกับสภาพแวดล้อมโดยตรง (ซึ่งอาจเป็นเพราะไม่ได้มีการฉาบปูนบนกำแพงนั้น หรือปูนที่ฉาบหลุดร่อนไปตามกาลเวลาและจากการเสื่อมสภาพ) ดังตัวอย่างในรูปที่ 13 ซึ่งเป็นภาพผนังด้านหลังของอาคารพาณิชย์อายุประมาณ 30 ปีห้องหนึ่งในเขตราษฎร์บูรณะ กรุงเทพมหานคร จะเห็นว่ามีท่อระบาย





รูปที่ 11 (ซ้าย)
ฐานวัดไชยวัฒนาราม
รูปที่ 12 (ขวา)
อิฐก้อนที่เสื่อมสภาพมาก (ถ่ายภาพเมื่อเดือน มี.ค. ๒๕๕๐)

น้ำฝนฝังอยู่ในผนังและมีรางระบายน้ำเสียอยู่บริเวณพื้นดิน และก้อนอิฐในส่วนที่ปูนฉาบหลุดร่อนออกไปแล้วนั้นเสื่อมสภาพอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการเสื่อมสภาพนี้อาจเกิดขึ้นเพราะการเปียกและแห้งของน้ำเพียงอย่างเดียวหรืออาจมีเกลือและการตกผลึกของเกลือร่วมด้วย แต่จากการวิเคราะห์สภาพผนังพบว่ามีตะไคร่จับบริเวณที่ฝังท่อระบายน้ำที่ใกล้กับบริเวณที่อิฐเสื่อมสภาพมากที่สุดและมีคราบเกลืออยู่เป็นหย่อมๆ จึงเป็นไปได้ว่าท่อระบายน้ำบริเวณนี้รั่วซึมและทำให้ผนังบริเวณนี้เปียกชื้นอยู่ตลอดเวลาจนตะไคร่น้ำขึ้น และน้ำที่รั่วซึมอยู่ในผนังบริเวณนี้ได้ถูกดูดซึมเข้าสู่ผนังอิฐข้างเคียงโดยกระบวนการคาปิลารี และละลายเกลือที่อยู่ในวัสดุไม่ว่าจะเป็นในเนื้ออิฐเองหรือเกลือที่ปนเปื้อนอยู่ในปูนฉาบและปูนก่อที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และต่อมาเกลือก็ได้ตกผลึกเป็นคราบเกลืออย่างที่เห็น ซึ่งจะสังเกตเพิ่มเติมได้อีกว่าอิฐที่เปลือยเพราะปูนฉาบหลุดร่อนออกไปนั้น (ผนังอิฐทางด้านซ้ายมือของภาพ) เสื่อมสภาพมากกว่าผนังที่ปูนฉาบยังคงสภาพอยู่ นั่นเป็นเพราะน้ำหรือสารละลายเกลือซึ่งเข้าไปสู่ผนังอิฐแล้วนั้นพยายามหาทางออก และบริเวณที่น้ำหรือ

รูปที่ 13 (ซ้าย)
ด้านหลังอาคารพาณิชย์ ถนนราษฎร์บูรณะ กทม.

รูปที่ 14 (ขวา)
สภาพอิฐที่เสื่อมสภาพเพราะการตกผลึกของเกลือ (ภาพถ่ายเมื่อเดือน มี.ค. ๒๕๕๐)

สารละลายเกลือระบายออกได้ง่ายที่สุดก็จะกลายเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากน้ำและเกลือมากที่สุดนั่นเอง ดังที่ได้กล่าวไปแล้วคร่าวๆ ข้างต้นว่าปูนฉาบโดยเฉพาะปูนฉาบที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้นมีคุณสมบัติในการยอมให้น้ำผ่าน (Permeability Capacity) น้อยกว่าอิฐหรือปูนฉาบที่ทำมาจากปูนขาว ดังนั้นเมื่อน้ำในผนังอิฐต้องการหาทางออกจึงมุ่งไประบายออกบริเวณอิฐที่เปลือยซึ่งเป็นบริเวณที่ยอมให้น้ำผ่านง่ายที่สุด และเมื่อน้ำซึ่งออกมาสู่บริเวณใกล้ๆ กับผิวหน้าอิฐระเหยออกไป เกลือที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำก็จะตกผลึกและทำให้อิฐบริเวณนั้นปั่นซุยและหลุดร่อนเป็นแผ่นๆ พร้อมที่จะแตกออกได้โดยง่าย ฉะนั้นเมื่อฝนตกหรือลมแรงๆ พัดผ่านก็จะชะล้างหรือพัดพาเอาเนื้ออิฐส่วนที่เสื่อมสภาพเพราะผลึกเกลือนั้นหลุดหายไป และเกิดสภาพดังที่เห็นในรูปที่ 13 และรูปที่ 14 ซึ่งเป็นภาพขยายของผนังดังกล่าวนั่นเอง

อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์สาเหตุของการเสื่อมสภาพและการวิเคราะห์แหล่งที่มาของเกลือและน้ำดังตัวอย่างข้างต้น เป็นเพียงการสันนิษฐานจากการเสื่อมสภาพของอาคารอิฐที่พบและจากสภาพแวดล้อมที่อาคารเหล่านั้นตั้งอยู่ด้วยวิธีการสังเกตเท่านั้น(Condition Survey by Observation) จึงอาจมีการผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนได้ แต่การที่จะทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงของการเสื่อมสภาพของกำแพงอิฐ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการทำงานอนุรักษ์ให้เหมาะสมได้นั้น จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และวิจัยอย่างละเอียดและต่อเนื่องเพิ่มเติม เช่น ต้องมีการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ต้องมีการเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือและการทดสอบทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น ซึ่งการวิจัยเพิ่มเติมในลักษณะนี้สมควรได้รับการส่งเสริมเป็นอย่างยิ่ง

บทสรุป

เกลือในกำแพงอิฐมาได้จากหลายที่มา แหล่งของเกลือที่สำคัญคือมาจากเนื้อของวัสดุทั้งจากตัวของอิฐเองหรือจากวัสดุข้างเคียง เช่น ปูนฉาบ ปูนก่อ หรือโครงสร้างอื่นๆ ที่สัมผัสกับกำแพงอิฐ มาจากพื้นดินและจากน้ำใต้ดินที่กร่อย มาจากอากาศ หรือมาจากสภาพแวดล้อมที่กำแพงนั้นๆ ตั้งอยู่ และเนื่องจากอิฐเป็นวัสดุที่มีรูพรุนและดูดซึมน้ำได้ เกลือจึงถูกดูดซึมเข้าสู่กำแพงอิฐโดยปนเปื้อนอยู่ในน้ำในรูปของสารละลายเกลือโดยกระบวนการที่เรียกว่าคาปิลารีแอคชั่น หรือกระบวนการที่ท่อหรือรูพรุนเล็กๆ ในอิฐดูดน้ำหรือสารละลายเกลือเข้าสู่เนื้ออิฐ ซึ่งแรงดึงดูดดังกล่าวมีปริมาณมากกว่าแรงดึงดูดของโลก จึงทำให้น้ำหรือสารละลายเคลื่อนตัวจากด้านล่างขึ้นด้านบน จากด้านข้าง หรือเคลื่อนตัวได้ทุกทิศทางโดยไม่ต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก และเมื่อน้ำซึ่งเป็นตัวทำละลายนั้นระเหยไป เกลือจะตกผลึก โดยที่ตำแหน่งที่เกลือจะตกผลึกนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายเกลือที่อยู่ในเนื้ออิฐ อัตราการระเหยของน้ำ ขนาดของรูพรุนซึ่งมีผลต่อการระบายอากาศของผิวอิฐ เป็นต้น

ตำแหน่งที่เกลือตกผลึกจะมีผลต่อการเสื่อมสภาพของอิฐไม่เท่ากัน เกลือที่ตกผลึกอยู่ที่ผิวของอิฐหรือที่เราพบเห็นเป็นคราบเกลือ (Efflorescence) นั้นเป็นอันตรายต่อกำแพงอิฐน้อยกว่าเกลือที่ตกผลึกอยู่ในรูพรุนเล็กๆ ในเนื้ออิฐ หรือที่เรียกว่า Crypto - Florescence เพราะผลึกเกลือที่อยู่ในรูพรุนทำให้รูพรุนเล็กๆ ของอิฐแตกออก ซึ่งถ้าผลึกเกลือเหล่านี้เกิดขึ้นใกล้กับผิวนอกของอิฐจะทำให้ผิวของอิฐปุ่นซุย (Disaggregating) ถ้าเกิดขึ้นในเนื้ออิฐส่วนตื้นๆ ใกล้กับผิวด้านนอก อิฐจะปุ่นแตก (Crumbling) แต่ถ้าเกิดขึ้นที่ส่วนในของเนื้ออิฐ อิฐจะแตกเป็นแผ่นบางๆ (Exfoliation) หรือโป่งซุย (Blistering) ซึ่งโดยส่วนมากเกลือจะตกผลึกจนถึงเนื้อในและส่งผลทำให้อิฐเสื่อมสภาพกลายเป็นหลุมคว้านลึกลงไป โดยที่ปูนสอจะยังคงสภาพอยู่ ดังที่พบเห็นได้ทั่วไปตามโบราณสถานอิฐและอาคารที่ก่อสร้างด้วยอิฐเปลือย หรือตามผนังอิฐที่ปูนฉาบหลุดร่อนไปจนก้อนอิฐสัมผัสกับสภาพแวดล้อมโดยตรง

ผู้ที่ทำการอนุรักษ์กำแพงอิฐควรจะต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงสาเหตุของการเกิดเกลือและผลกระทบที่เกิดจากเกลือในกำแพงอิฐพอสมควรก่อนที่จะดำเนินการอนุรักษ์ ซึ่งแนวทางการอนุรักษ์ที่เหมาะสมและยั่งยืนแนวทางหนึ่งก็คือการค้นหาแหล่งที่มาของเกลือและหาทางกำจัดหรือจำกัดแหล่งที่มาเหล่านั้น รวมทั้งไม่กระทำการอนุรักษ์ใดๆ ที่เป็นการเพิ่มแหล่งที่มาของเกลือให้กำแพงอิฐ เพื่อป้องกันไม่ให้เกลือกลับมาทำร้ายกำแพงอิฐได้อีกหลังจากดำเนินการอนุรักษ์ไปแล้ว

บรรณานุกรม[3]

สมชาติ จึงสิริอารักษ์. ๒๕๔๐. “การอนุรักษ์โครงสร้างและวัสดุของโบราณสถาน” เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 262-407 การอนุรักษ์อาคารทางประวัติศาสตร์และโบราณสถาน 2 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ต่อพงศ์ ยมนาค. ๒๕๔๕. *วัสดุและการก่อสร้าง: อิฐและคอนกรีต.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. ๒๕๒๖. “บทบาทของเกลือบนโบราณสถาน” ใน รายงานการประชุมทางวิชาการเรื่อง ”การศึกษาวิจัยเพื่อการอนุรักษ์โบราณสถานในอุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย ครั้งที่ 2”, วันที่ 1-4 กรกฎาคม พ.ศ. ๒๕๒๖ ณ หอวชิราวุธานุสรณ์ กรุงเทพมหานคร.

จิราภรณ์ อรัณยะนาค. ๒๕๒๙. “บทบาทของเกลือในการเสื่อมสภาพของโบราณสถาน”, ศิลปากร, 29(6): 33-45.

[3] ตัวเลขไทยในวงเล็บแสดงปีพุทธศักราชที่พิมพ์ และตัวเลขอารบิกแสดงปีคริสตศักราชที่พิมพ์

Amoroso, G C and Fassina, V. 1983. *Stone Decay and Conservation.* Amsterdam: Elsevier.

Bell, F G. 1992. "The Durability of Some Sandstones Used in the United Kingdom as Building Stones, with a Note on Their Preservation", in D J Rodrigues, F Henriques and F T Jeremias (eds) *7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone,* Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, p. 875-885.

Bry-Air. Nd. "Frequently Asked Questions Webpage", http://www.bryair.com/faq.htm. Page consulted 16 November 2005.

Charola, A E. 2000. "Salt in the Deterioration of Porous Materials: An Overview", *Journal of the American Institute for Conservation,* 39(3): 327-343.

Feilden, B M. 1982. *Conservation of Historic Building.* Great Britain: St. Edmundsbury Press Ltd.

Holdridge, D A. 1963. "The Composition of Some British Clays Used in the Fine Ceramic Industries" in *International Clay Conference, Vol.1,* p. 351-364. New York: Macmillan.

Lewin, S Z and Charola, A E. 1979. "The Physical Chemistry of Deteriorated Brick and its Impregnation Technique" in *Il Mattone Di Venezia, Stato Delle Conoscenze Tecnico-Scientisiche,* 22-23 October 1979, p. 189-203.

Schaffer, R J. 2004. "The Weathering of Natural Building Stones", *Building Research Special Report,* 18.

Torraca, G. 1981. *Porous Building Materials: Material Science for Architectural Conservation.* Rome: ICCROM.

Winkler, E M. 1973. *Stone: Properties, Durability in Man's Environment.* New York: Springer-Verlag.

Winkler, E M. 1994. *Stone in Architecture.* London: Springer-Verlag.