วัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์

ดร.พิบูลย์ จินาวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาเทคนิคสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทคัดย่อ

งานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์มีความก้าวหน้าขึ้นอย่างมากตั้งแต่การค้นพบปฏิกิริยาของมันเมื่อได้รับการกระตุ้นจากแสง โดย Fujishima A. และ Honda K. ในปี 1972 บทความนี้ได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเบื้องต้นของ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ โดยเฉพาะและการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างทั้งภายนอกและภายใน ความสามารถเฉพาะของ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ที่ค้นพบเมื่อทำปฏิกิริยาเชิงแสงกับรังสี UV คือ มันสามารถทำความสะอาดตัวเอง ฆ่าเชื้อโรค และช่วยลดอุณหภูมิได้ จึงจัดเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติยังมีข้อจำกัดในการใช้ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์อยู่บ้าง โดยเฉพาะการที่ยังไม่มีมาตรฐานรองรับประสิทธิภาพของ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ที่ใช้ผลิตวัสดุก่อสร้าง และยังไม่มีการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้โดยหน่วยงานที่น่าเชื่อถือ ซึ่งประเด็นดังกล่าวและการพัฒนาวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์ควรได้มีการศึกษาวิจัยต่อไป

คำสำคัญ: โฟโต้คะตาลิสท์ / ไทเทเนียมไดออกไซด์ / วัสดุก่อสร้าง / ซีเมนต์

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง พิบูลย์ จินาวัฒน์. **การประยุกต์ใช้โฟโต้คะตาลิสท์ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง.**

Photocatalysts-based Construction Materials

Pibul Jinawath, Ph.D.

Assistant Professor, Faculty of Architecture, Silpakorn University

Abstract

Research on photocatalyst materials has been proliferated since the discovery of its light-induced chemical reactions by Fujishima A. and Honda K. in 1972. This paper reviews studies on the properties of Titanium Dioxide (TiO_2) photocatalyst and particularly its applications to interior and exterior construction materials. The unique abilities of TiO_2 photocatalyst after exposure to UV light are self cleaning, self disinfection and thermal reduction; therefore, it is considered as one of environmental friendly materials. However, there are some limitations of TiO_2 utilization in practice. The performance of TiO_2 photocatalyst-based construction materials as well as the impact on occupants' health has not been yet assessed and certified by accredited organizations. These issues and the development of photocatalyst materials should be further studied.

Keywords: photocatalyst / titanium dioxide / construction materials / cement

บทนำ

ในปัจจุบัน มีความพยายามวิจัยและทดลองนำโฟโต้คะตาลิสท์ (Photocatalyst) มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างมากขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีหลายประการของโฟโต้คะตาลิสท์ เช่น ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ความสามารถในการทำความสะอาดตัวเอง การช่วยลดอุณหภูมิอาคาร เป็นต้น ความสำเร็จจากการวิจัยดังกล่าวมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตาม โฟโต้คะตาลิสท์ ยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายนัก โดยเฉพาะในหมู่สถาปนิกและวิศวกรไทย ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับวัสดุดังกล่าวจึงเป็นจุดเริ่มต้นที่ดี และทำให้สถาปนิก วิศวกร และผู้ที่สนใจมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ และมีทางเลือกในการใช้วัสดุก่อสร้างมากยิ่งขึ้นในอนาคต

วัตถุประสงค์ของบทความ

เพื่อทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์ คุณสมบัติ และการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง

ขอบเขตการทบทวนวรรณกรรม

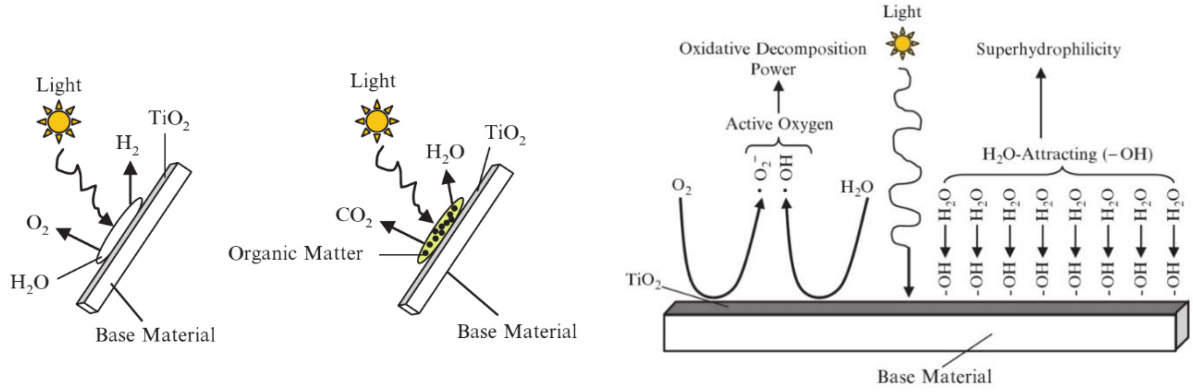
ศึกษาเอกสาร บทความที่เกี่ยวข้องกับวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์ โดยเน้นการศึกษาคุณสมบัติของโฟโต้คะตาลิสท์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างเป็นหลัก

ทฤษฎีพื้นฐาน

โฟโต้คะตาลิสท์ (Heterogeneous photocatalysts) เป็น *วัสดุคะตาลิสท์* ที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากต้องการเพียงพลังงานแสงในการกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ต่างจากวัสดุคะตาลิสท์ดั้งเดิม (Conventional catalysts) ที่ต้องใช้พลังงานความร้อนในการกระตุ้น ความก้าวหน้าในงานวิจัยในศตวรรษที่ผ่านมา ทำให้สามารถนำวัสดุคะตาลิสท์มาใช้ในทางปฏิบัติอย่างได้ผล ตัวอย่างหนึ่งของการใช้งานที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างเชิงแสง (Photocatalytic construction and building materials) (Chen and Poon, 2009) ในปัจจุบัน มีการวิจัยสังเคราะห์ และพัฒนาโฟโต้คะตาลิสท์ จากในรูปเชิงเดี่ยว (Single oxide) เป็นเชิงประกอบ (Composite, cluster, hybrid และอื่นๆ) ที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองการกระตุ้นที่ดียิ่งขึ้น และในช่วงคลื่นแสง (UV-visible lights) ที่กว้างมากขึ้นออกมามากมาย แต่วัสดุโฟโต้คะตาลิสท์อินทรีย์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถผลิตได้ในปริมาณมาก ราคาไม่แพง และมีสมบัติเชิงแสงที่ดีในปัจจุบัน ได้แก่ วัสดุฐาน TiO_2, ZnO, CuO, Fe_2O_3, W, Ag_2O, $SrTiO_3$ และอื่นๆ โดย TiO_2 (Titanium dioxide) เป็นวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์อนินทรีย์ตัวแรก ที่สมบัติเชิงแสงของมันถูกค้นพบโดย Fujishima A. และ Honda K. (Fujishima and Honda, 1972) การค้นพบครั้งนั้นนำมาซึ่งความก้าวหน้าในการวิจัยและพัฒนาโฟโต้คะตาลิสท์ในเวลาต่อมา

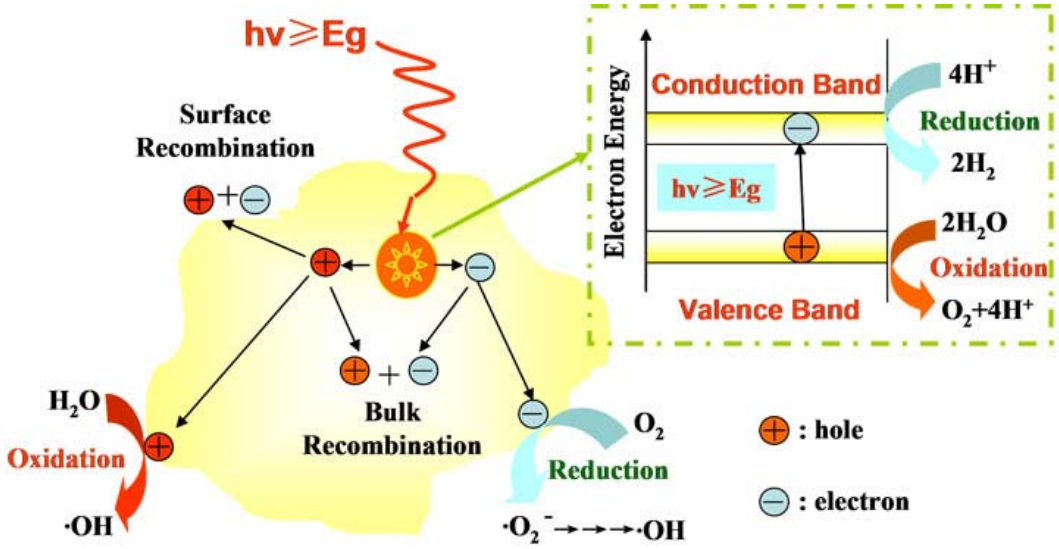
ในปัจจุบัน วัสดุก่อสร้างที่ดัดแปรด้วย TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ (TiO_2 modified building materials) ได้รับความนิยมแพร่หลายมาก ยกตัวอย่างเช่น TiO_2 ในรูปผลึกแบบ Rutile grade (Non-photocatalyst) ถูกใช้เป็นสีขาวในสีทาบ้าน (โดยทั่วไปถูกใช้ในรูปของผงสีขาว) เครื่องสำอาง และอาหาร มานานแล้ว สมบัติเชิงแสงของ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ ได้แก่ ปฏิกิริยารีด๊อกซ์ (Oxidation-reduction – การให้และการรับอิเล็กตรอนที่ทำให้สารอินทรีย์แตกสลาย และในการแตกสลายที่สมบูรณ์ จะให้ CO_2 และ H_2O เป็น End products) และซูเปอร์ไฮโดรลิฟิก (Superhydrophilicity – ชอบน้ำยิ่งยวด) เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง UV (Photo-induced redox reaction and super hydrophilic conversion) และจากรายงานวิจัย

ล่าสุด คณะผู้วิจัยของ National Institute for Materials Science ประเทศญี่ปุ่น (NIMS, Japan) ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทียนจิน ประเทศจีน (Tianjin University, China) สามารถแตกสลาย CO_2 โดยปฏิกิริยา Photocatalytic reduction ($SrTiO_3$ catalyst) ให้เป็น CO หรือ CH_4 ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงได้สำเร็จ (Kang et al., 2015) ภาพที่ 1-3 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาเชิงแสงของ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์

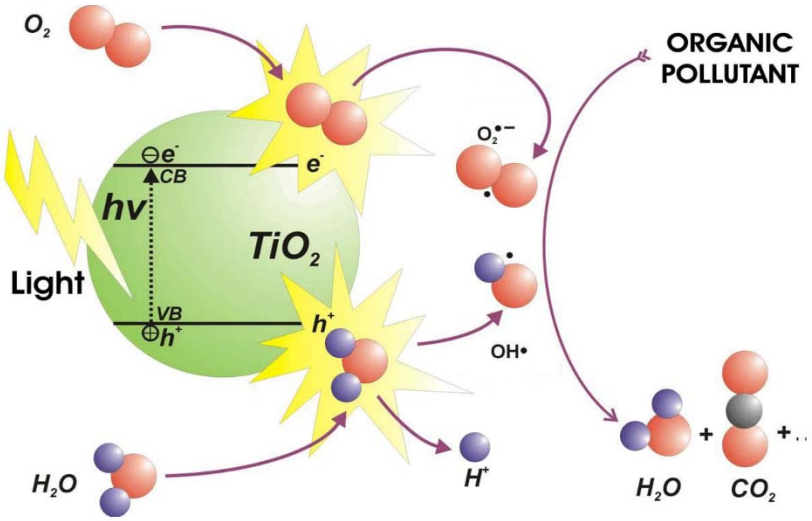


ภาพที่ 1: ปฏิกิริยาเชิงแสงของ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์
ที่มาของรูปภาพ: Ohama, Y. and Gemert, D.V. (2011). *Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Construction Materials*. New York, Springer.

จากภาพที่ 1 (ซ้าย) แสงจะถูกดูดซับโดย TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ H_2O และปล่อย O_2 และ H_2 ออกมา แต่เมื่อมีสารอินทรีย์ที่อยู่บนผิวและทำปฏิกิริยากับ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ จะเกิดปฏิกิริยาโฟโต้คะตาไลสิส (Photocatalysis) เร็วกว่า และจะปล่อย CO_2 และ H_2O ออกมา ส่วนภาพที่ 1 (ขวา) แสดงปรากฏการณ์ Photocatalytic oxidative decomposition power และ Photoinduced superhydrophilication ของ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ที่เกิดขึ้นพร้อมกัน (Ohama and Gemert, 2011, Liu et al., 2012)



ภาพที่ 2: กลไกการเกิดโฟโต้คะตาไลสิสของวัสดุกึ่งตัวนำ (1)
ที่มาของรูปภาพ: Jin, W. (2014). *Photocatylis based on TiO_2 materials.* Retrieved April 23, 2015, from http://wqjin-group.com/?page_id=2#miec.



ภาพที่ 3: กลไกการเกิดโฟโต้คะตาไลสิสของวัสดุกึ่งตัวนำ (2)
ที่มาของรูปภาพ: Ibhadon, A. and Fitzpatrik, P. (2013). “Heterogeneous photocatalysis: recent advances and applications”. *Catalysits*, Vol. 3 No. 1, p.191.

ภาพที่ 2 และ 3 แสดงการกระตุ้นวัสดุกึ่งตัวนำด้วยแสง เมื่อ *hv* คือ พลังงานของ Photon หรืออนุภาคของแสง และ *Eg* คือ ค่าช่องว่างแถบพลังงาน หรือ Energy band gap ระหว่างแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) และแถบเวเลนซ์ (Valence band) โดยแสงจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนในแถบการนำไฟฟ้า (Conduction band) และช่องว่าง (Holes) ในแถบเวเลนซ์ (Valence band) (Ibhadon and Fitzpatrick, 2013) จากภาพ หลังจากฉายแสง UV (λ = 300-400 nm) TiO_2 จะให้อิเล็กตรอน (ประจุลบ, Reduction) และช่องว่าง หรือ Hole (ประจุบวก, Oxidation) ทั้งอิเล็กตรอน และ Hole จะทำปฏิกิริยา Radiacal reaction กับ H_2O หรือสารอินทรีย์ที่สัมผัส ตามลำดับดังนี้ (Chen and Poon, 2009)

$$TiO_2 \xrightarrow{hv} h^+ + e^-$$
$$h^+ + OH^- \rightarrow OH^0$$
$$e^- + O_2 \rightarrow O_2^-$$
$$H^+ + O_2^- \rightarrow HO_2^0$$
$$NO + HO_2^0 \rightarrow NO_2 + OH^0$$
$$NO_2 + OH^0 \rightarrow HNO_3$$

การนำไปประยุกต์ใช้

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น วัสดุก่อสร้างที่ดัดแปรด้วย TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้บำบัดมลภาวะในสิ่งแวดล้อม (Environmental pollution remediation) เพราะมันสามารถทำความสะอาดตัวเอง (Self cleaning) และฆ่าเชื้อโรค (Self-disinfecting) ได้ (Fujishima et al., 2008, Ghosh et al., 2011, Nakajima et al., 2000) ประกอบกับในแสงแดดที่มีความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร (Solar light, λ = 400-800 nm) ก็มีแสง UV ประมาณ 5

เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ น้ำฝนที่ตกตามฤดูกาลยังช่วยในการชะล้างฝุ่น ยิ่งเป็นตัวช่วยให้เกิดความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของวัสดุมากยิ่งขึ้น

คุณสมบัติซูเปอร์ไฮโดรฟิลิก นอกจากจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการทำความสะอาดตัวเองแล้ว ยังอาจสามารถนำไปใช้ในการลดอุณหภูมิของอาคาร โดยการพ่นสเปรย์น้ำจำนวนน้อยอย่างต่อเนื่องลงบนผิวอาคาร หรือหลังคาที่เคลือบด้วย TiO_2 แสงแดดก็จะระเหยน้ำที่เคลือบเป็นฟิล์มบาง (หนา 0.1 มิลลิเมตร) ออกตลอดเวลา ความร้อนแฝงในการระเหยน้ำที่ดูดออกจากผิวกระเบื้องมุงหลังคาและอากาศรอบๆ จะทำให้อุณหภูมิลดลง เป็นผลให้สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศได้ (Chen and Poon, 2009)

สารประกอบ TiO_2 เป็นวัสดุกึ่งตัวนำ (Wide band gap (3.2 eV) semi-conductor) ที่ดูดพลังงานแสงในช่วง UV (λ = 200-400 nm) เท่านั้น มี 3 รูปผลึกที่สำคัญ คือ Rutile, Anatase และ Brookite (Fujishima et al., 2008) โดยรูปผลึกแบบ Anatase เป็นตัวที่ใช้กันมากที่สุด เนื่องจากผลิตง่าย เสถียร และมีสมบัติเชิงแสงดีกว่ารูปผลึกอื่น และดีกว่าวัสดุออกไซด์ชนิดอื่นๆ ด้วย นอกจากนี้ ที่สำคัญคือ Anatase เข้ากันได้ดี (Compatible) กับวัสดุก่อสร้างทั่วไป เช่น ซีเมนต์ คือไม่เปลี่ยนสมรรถภาพของชิ้นงาน และปฏิกิริยาเชิงแสงยังสามารถเกิดได้ภายใต้แสงแดดที่สภาวะปกติ (Ambient atmosphere)

การนำโฟโต้คะตาลิสท์มาใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างเริ่มมีมาตั้งแต่ช่วงคริสต์ทศวรรษ 1990s (ค.ศ.1990-1999) โดยใช้เป็นวัสดุก่อสร้างภายนอกอาคารก่อน ตามมาด้วยวัสดุตกแต่งภายใน (Miyauchi, 2014) ยกตัวอย่างเช่น กระเบื้องบุผนังภายนอก บล็อกปูพื้น กระจก และผ้า PVC ตารางที่ 1 แสดงประเภทของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ มาเป็นส่วนประกอบในการผลิต

ตารางที่ 1: ประเภทของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ TiO_2 โฟโต้คะตาลิสท์ มาเป็นส่วนประกอบในการผลิต (Classification of TiO_2-based photocatalytic construction and building materials)

Categories	Products	Function
Exterior construction materials	Tiles, glass, tents, plastic films, panels	Self-cleaning
Interior furnishing materials	Tiles, wall paper, window blinds, paints, finishing coatings	Self-cleaning, anti-bacterial
Road construction materials	Soundproof walls, tunnel walls, road blocks, concrete pavements	Air-cleaning, self-cleaning

ภาพที่ 4-15 แสดงตัวอย่างวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ และการใช้งานจริง

ภาพที่ 4: The new soccer stadiums ในประเทศบราซิล เพื่อใช้ในการแข่งขันฟุตบอล World Cup 2014 แสดงการใช้ผืนหลังคาผ้า (Fabric) ที่ฉาบผิวด้วย TiO_2

ที่มาของรูปภาพ: (2014). *Stadiums – FIFA World Cup Brazil 2014.* Retrieved April 23, 2015, from http://www.aboutbrasil.com/modules/brazil-brasil/world_cup_2014.php?hoofd=7&sub=40&art=438

ภาพที่ 5: Temple of nano science Rome’s Dio Padre Misericordioso Church (Jubilee church)

ที่มาของรูปภาพ: (2006). *Marvelous Architecture.* Retrieved April 23, 2015, from http://marvelousarchitectures.blogspot.com/2006/11/jubilee-church-in-rome.html

ภาพที่ 6: (ซ้าย) แผงกั้นทางด่วน ทำด้วยโฟโต้คะตาไลติคซีเมนต์ (Photocatalytic cement) ซึ่งสามารถปกป้องพื้นที่ข้างเคียงจากมลภาวะทางอากาศ เสียง และแสงจากทางด่วนได้ (ขวา) กระเบื้องเซรามิก ขึ้นรูปด้วยแรงดันสูงเพื่อให้ได้คุณภาพเทียบเท่ากับหินอ่อน

ที่มาของรูปภาพ (ซ้าย): Gonchar, J. (2007). *Building even better concrete.* Retrieved April 23, 2015, from http://continuingeducation.construction.com/article_print.php?L=5&C=381

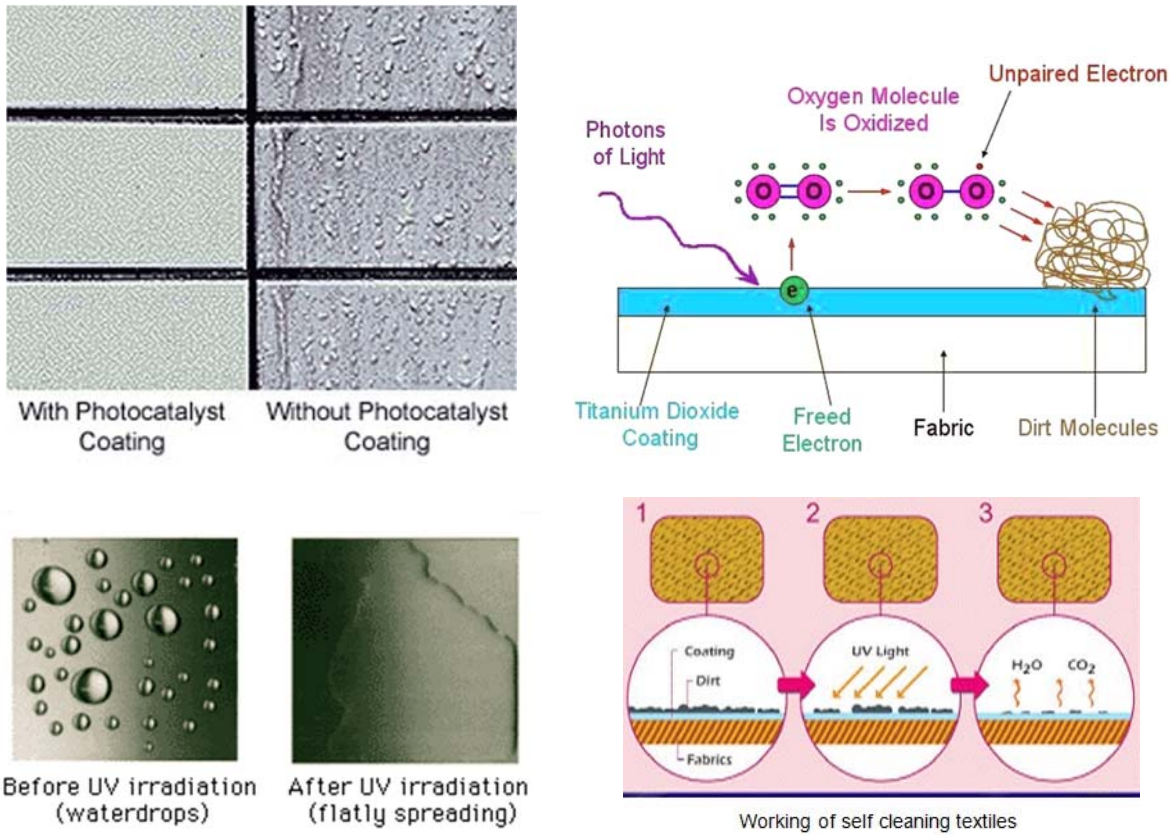
ที่มาของรูปภาพ (ขวา): JAPAN PRODUCTS (2015). *Tagawa Sangyo Co., Ltd. – Surface coatings with using Japanese traditional Shikkui.* Retrieved April 23, 2015, from http://japan-product.com/ads/tagawa-sangyo/

ภาพที่ 7: วัสดุประเภทซีเมนต์ (ซ้าย) Coverlite (ขวา) วัสดุโฟโต้คะตาลิสท์ผสมในคอนกรีตหล่อสำเร็จรูป

ที่มาของรูปภาพ (ซ้าย): Coverlite. Retrieved April 23, 2015, from http://www.coverlite.it/Gallery/10.jpg

ที่มาของรูปภาพ (ขวา): Cabiablia, P. (2012). *Cemento fotocatalitico: storia, costi e vantaggi*. Retrieved April 23, 2015, from http://www.incubustreet.org/blog/cemento-fotocatalitico/

จากภาพที่ 7 Coverlite ถูกใช้เป็นส่วนผสมในยางมะตอย (Asphalt) ราดพื้นถนน ทำให้ไม่เกิดควันหมอก (Anti-smog) ทำมาจาก Microemulsion ที่มีน้ำเป็นส่วนผสมหลัก ผสมกับ TiO_2 ทำการผสมสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน ซึ่งทำให้พื้นถนนยางมะตอยมีคุณสมบัติของโฟโต้คะตาลิสท์ที่ดีขึ้น โฟโต้คะตาลิสท์ยังถือเป็นเครื่องมือในการลดมลภาวะแบบใหม่ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์กระตุ้นปฏิกิริยาทางเคมี โดยไม่มีการสูญเสียในระหว่างกระบวนการ การผสมโฟโต้คะตาลิสท์ในคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตสามารถทำความสะอาดตัวเองได้



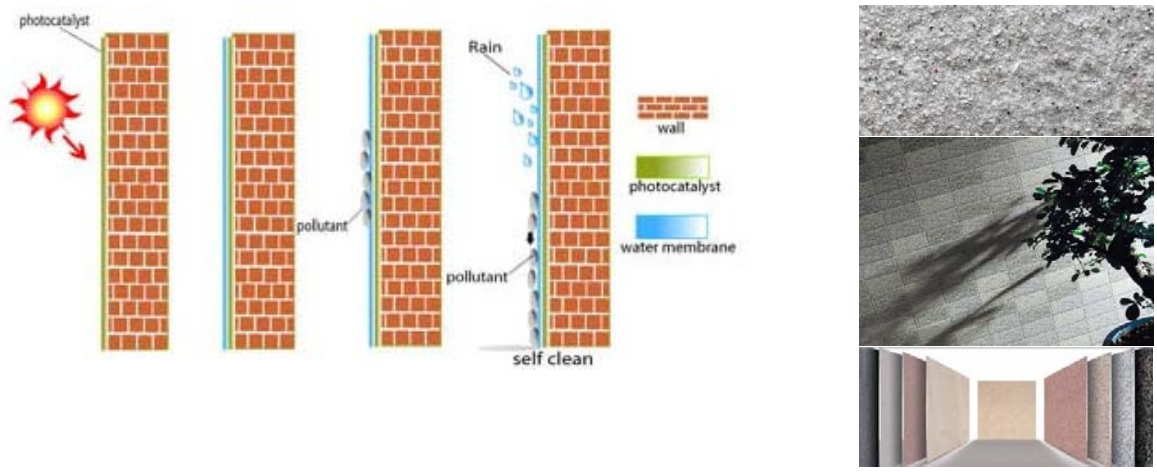
ภาพที่ 8: การทำปฏิกิริยาเพื่อทำความสะอาดตัวเองของผิววัสดุต่างๆ

ที่มาของรูปภาพ (ซ้ายบน และซ้ายล่าง): Innovative Sealing Solutions Inc. *Nano protection*. Retrieved April 23, 2015, from http://innovativesealingsolutions.biz/Photocatalyst-FAQs.php

ที่มาของรูปภาพ (ขวาบน): (2014). *Self cleaning fabric: Now a reality*. Retrieved April 23, 2015, from http://texartical.blogspot.com/2014/03/self-cleaning-fabric-now-reality.html

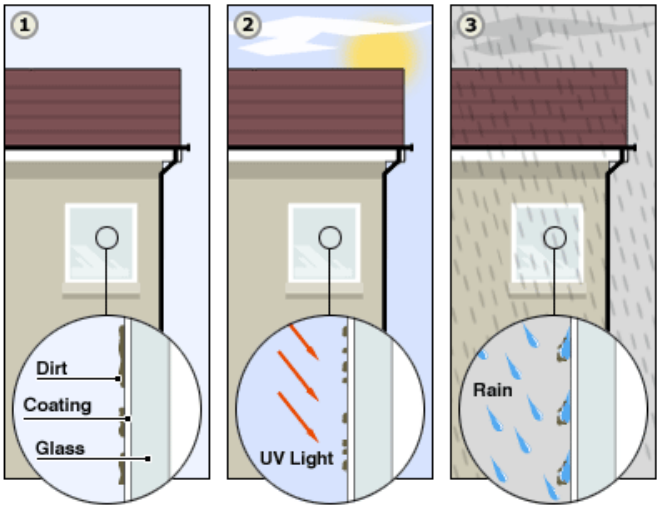
ที่มาของรูปภาพ (ขวาล่าง): Chavan, K. and Salunkhe, G. (2013). *Self cleaning cloths.* Retrieved April 23, 2015, from http://textilecentre.blogspot.com/2013/07/self-cleaning-cloths.html

ภาพที่ 8 เปรียบเทียบพื้นผิวที่เคลือบและไม่ได้เคลือบด้วยวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์ การทำความสะอาดตัวเองเกิดเมื่อ Photon หรืออนุภาคของแสงตกกระทบกับผิวของ TiO_2 อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นให้เคลื่อนที่ไปยัง Conduction band และทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของออกซิเจนในอากาศ โมเลกุลคู่ของออกซิเจนจะแตกออก ทำให้มีความสามารถในการสลายโมเลกุลของฝุ่นและมลพิษได้ พื้นผิวที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์เมื่อถูกน้ำก่อนที่แสงจะตกกระทบจะมีลักษณะเป็นหยดน้ำเกาะพื้นผิว แต่เมื่อได้รับการกระตุ้นจากแสง หยดน้ำจะแผ่กว้างออกรวมตัวกันและไหลชะหน้าพื้นผิว จึงเป็นการทำความสะอาดผิวไปในตัว



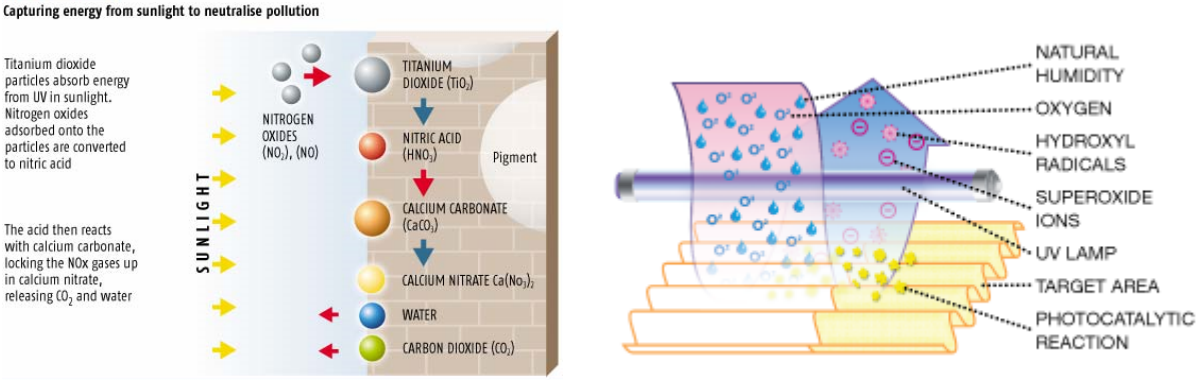
ภาพที่ 9: (ซ้าย) ผนังภายนอกที่ทำความสะอาดตัวเองได้ (ขวา) กระเบื้องภายนอกที่เคลือบผิวด้วยโฟโต้คะตาลิสท์
ที่มาของรูปภาพ (ซ้าย): Idris, A.H. *Nanotechnology – making things smaller.* Retrieved April 23, 2015, from http://www.petrosains.com.my/pusat2008/nanotech1.html
ที่มาของรูปภาพ (ขวา): XYMJ. (2013). *Photocatalyst exterior tile.* Retrieved April 23, 2015, from http://www.newart-home-ceramic.com/pdetail-683.html

จากภาพที่ 9 ผนังภายนอกกลายเป็นผนังทำความสะอาดตัวเอง และป้องกันฝุ่นเกาะ เมื่อฉาบผิวด้วย TiO2 โฟโต้คะตาลิสท์ ฝุ่นและมลภาวะจะไม่สามารถจับตัวอยู่บนผนังได้ และถูกชะล้างไปเมื่อฝนตก



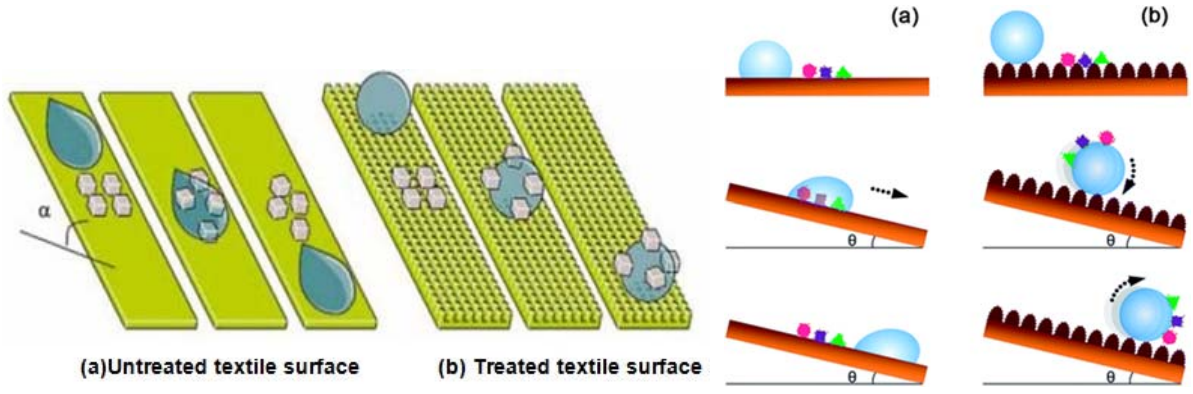
ภาพที่ 10: กระจกหน้าต่างที่ทำความสะอาดตัวเองได้
ที่มาของรูปภาพ: (2014). *TiO_2 photocatalyst coatings.* Retrieved April 23, 2015, from http://www.photocatalystcoatings.com/benefits/self-cleaning

จากภาพที่ 10 เมื่อฝุ่นเกาะบนผิวกระจกที่ฉาบผิวด้วยสารที่มีอนุภาคเล็กซึ่งมีส่วนผสมของ TiO_2 (Nano-scale coating containing microcrystalline titanium dioxide) แล้วมีแสงอาทิตย์ส่อง รังสี UV จะกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาโฟโต้คะตาไลติคในวัสดุฉาบผิว ซึ่งทำให้อนุภาคของฝุ่นแตกตัวออก เมื่อมีน้ำมาชะล้างกระจกก็จะเกิดกระบวนการ Hydrophilic ทำให้น้ำแผ่ตัวออกทั่วผิวหน้ากระจกแทนที่จะเป็นหยดเล็กๆ จึงทำให้น้ำที่มารวมตัวกันไหลและชะล้างฝุ่นออกไป (Fujishima et al., 2008)



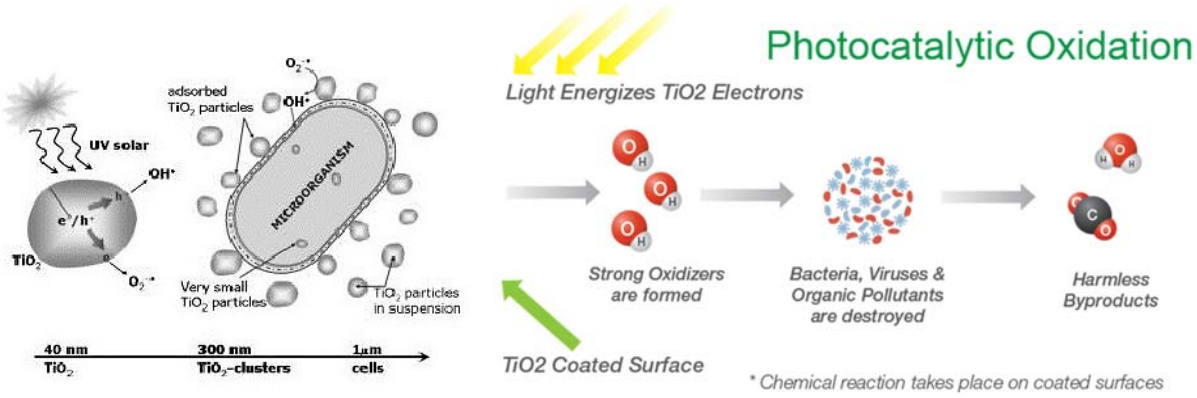
ภาพที่ 11: ปฏิกิริยาของสี TiO_2 ในการดึงพลังงานจากแสงแดดเพื่อต่อต้านการเกิดมลภาวะ
ที่มาของรูปภาพ (ซ้าย): Schilling, D.R. (2013). *This building will eat smog and look good doing it.* Retrieved April 23, 2015, from http://www.industrytap.com/this-building-will-eat-smog-and-look-good-doing-it/4115
ที่มาของรูปภาพ (ขวา): Waterwise. (2015). *Airwise air purifier.* Retrieved April 23, 2015, from https://www.waterwise.com/productcart/pc/airwise.asp

จากภาพที่ 11 ผง TiO_2 จะดูดซับพลังงานจากรังสี UV ในแสงแดด NO ที่ถูกดูดซับอยู่บนผง TiO_2 ก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดไนตริก (Nitric acid) (Fujishima et al., 2008) จากนั้นกรดจึงทำปฏิกิริยากับ Calcium carbonate ล็อคก๊าซ NOx ไว้ใน Calcium nitrate แล้วปล่าย CO_2 และน้ำออกมา

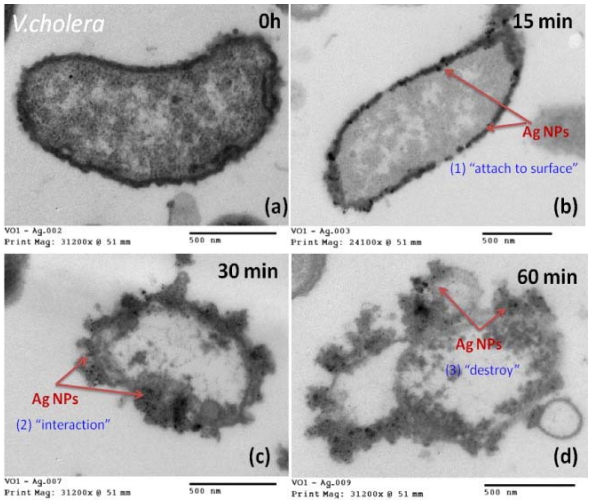


ภาพที่ 12: ผิวผ้าที่เคลือบด้วยเงินอนุภาคขนาดเล็ก กระบวนการ Superhydrophobic (Lotus effect) และกระบวนการ Hydrophilic

ที่มาของรูปภาพ (ซ้าย): Chavan, K. and Salunkhe, G. (2013). *Self cleaning cloths.* Retrieved April 23, 2015, from http://textilecentre.blogspot.com/2013/07/self-cleaning-cloths.html
ที่มาของรูปภาพ (ขวา): Darmanin, T. and Guittard, F. (2014). "Recent advances in the potential applications of bioinspired superhydrophobic materials". *Journal of Materials Chemistry A.* Vol. 2, pp.16319-16359.



ภาพที่ 13: ปฏิกิริยา Photocatalytic oxidation ที่ช่วยฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเชื้อโรคอื่นๆ
ที่มาของรูปภาพ: Micro-clean green technology, Inc. *Clean by nature.* Retrieved April 23, 2015, from http://www.microcleangreen.com/technology/



ภาพที่ 14: การเสื่อมสภาพและการแตกของผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้ Cytoplasm ไหลออกมาตามรอยแตก
ที่มาของรูปภาพ: Le, A.T., Le, T.T., Nguyen, V.Q., Tran, H.H., Dang, D.A., Tran, Q.H. and Vu, D.L. (2012). "Powerful colloidal silver nanoparticles for the prevention of gastrointerstinal bacterial infections". *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology.* Vol. 3 No. 4.

ถึงแม้ว่าจะมีการนำวัสดุโฟโต้คะตาลิสท์ไปใช้เพื่อช่วยลดมลภาวะในสิ่งแวดล้อม แต่ในการนำไปใช้บำบัดอากาศก็ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง (Hüsken et al., 2009) ได้แก่

1. ประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาเชิงแสงของโฟโต้คะตาลิสท์ที่ลดลงเมื่อผสมหรือยึดติดกับซีเมนต์หรือวัสดุอื่น เช่น อิฐบล็อก และอาจมีผลมาจากการเกิด Carbonation และฝุ่น อาจต้องล้างทำความสะอาดผิวหน้าหรือเปลี่ยนเป็นระยะ
2. ในการบำบัดอากาศเสีย (VOCs และ NOx) ปฏิกิริยาจะเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสเท่านั้น ดังนั้น การบำบัดจะได้ผลเฉพาะในบริเวณที่ก๊าซหรือสารอินทรีย์สัมผัสหรือเกาะที่ผิววัสดุโฟโต้คะตาลิสท์เท่านั้น
3. ในกรณีที่ใช้ภายในอาคาร ต้องคำนึงถึงผลกระทบที่ยังไม่ชัดเจนต่อสุขภาพ เช่น ผลกระทบจากขนาดนาโนของโฟโต้คะตาลิสท์ที่อาจหลุดออกมา ทั้งในขณะผลิต ขนส่ง เก็บรักษา และใช้งาน หรือจากสารที่เกิดจากการแตกสลายที่ไม่สมบูรณ์ (Intermediate products)

ส่วนข้อจำกัดของการใช้วัสดุโฟโต้คะตาลิสท์เพื่อช่วยในการทำความสะอาดตัวเอง และฆ่าเชื้อโรค ได้แก่

1. ความคงทนในสมรรถภาพการใช้งาน (Durability) สำหรับกระเบื้องเซรามิก กระจก ซึ่งจัดเป็นวัสดุก่อสร้างอนินทรีย์จะดีกว่าวัสดุก่อสร้างอินทรีย์ เช่น Polyvinylchloride (PVC) ที่อายุการใช้งานจำกัด เนื่องจากถูกทำลายโดยปฏิกิริยาเชิงแสงได้เช่นกัน การแก้ไขโดยแทรกสารเคลือบผิวอินทรีย์ที่ดูดแสง UV ในระหว่างชั้น PVC และชั้นสี TiO_2 ช่วยยืดอายุการใช้งานได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ฝุ่นที่สะสมหนาบนผิวสีก็จะปิดกั้นแสงแดด ทำให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเชิงแสงลดลง ความเป็น Self cleaning ก็ลดลงเช่นกัน
2. ยังไม่มีมาตรฐานรองรับประสิทธิภาพของวัสดุก่อสร้าง Self-disinfection หรือวัสดุก่อสร้าง Antimicrobial ต่างๆ ที่ผลิตออกมา และผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้จำเป็นต้องมีการประเมินที่เชื่อถือได้

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันนี้ ความก้าวหน้าในการวิจัย ทำให้มีแนวโน้มที่ชัดเจนที่จะมีการใช้งานวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปัญหาสิ่งแวดล้อม แต่ในทางปฏิบัติหรือการใช้งานจริงแล้ว ยังมีปัญหาและข้อจำกัดที่ต้องแก้ไข เป็นโจทย์ที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการทำวิจัยของนักวิจัยต่อๆ ไป เพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ให้มีสมรรถภาพสูง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้เป็นการนำเสนอภาพรวมของการพัฒนาวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ จากแง่มุมของวิทยาศาสตร์และการใช้งาน เพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัยและการใช้งานวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์แก่ผู้สนใจที่อยู่ในวงการก่อสร้าง และวงการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดการบูรณาการความก้าวหน้าในงานวิจัยพื้นฐานทางด้านวัสดุศาสตร์ที่ทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ได้ยืนยันว่า วัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ซีเมนต์ (Photocatalytic cementitious materials) มีศักยภาพในการลดมลภาวะทั้งในเขตชุมชนหนาแน่น และภายในอาคาร ประกอบกับความสำเร็จในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ที่ทำความสะอาดตัวเองได้ (Self cleaning) ในปัจจุบัน เช่น คอนกรีต กระจก เซรามิก ที่ทำให้อาคารมีความสวยงามยืนนาน ส่วนสมบัติด้านการฆ่าเชื้อโรค (Self-disinfecting) ก็ให้ความสะดวกในการควบคุมสิ่งแวดล้อมหรือการแพร่เชื้อในเขตปลอดเชื้อ อย่างไรก็ตาม การวิจัยและพัฒนาวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ให้มีสมรรถภาพดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะความคงทนของประสิทธิภาพเชิงแสง ความสะดวกในการใช้งาน และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องพัฒนาควบคู่กันไป

ระหว่างภาคเทคโนโลยีและภาคสนาม และการริเริ่มใช้งานวัสดุก่อสร้างโฟโต้คะตาลิสท์ในวงที่กว้างมากขึ้น มีศักยภาพสูงมาก ดังนั้น จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่เปิดกว้าง ท้าทาย และน่าสนใจมากในปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ สำหรับนักวิทยาศาสตร์ สถาปนิก และวิศวกร

บรรณานุกรม

Chen, J. and Poon, C.-S. (2009), *"Photocatalytic construction and building materials: From fundamentals to applications"*, **Building and Environment**, Vol. 44 No. 9, pp. 1899-1906.

Fujishima, A. and Honda, K. (1972), *"Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode"*, **Nature**, No. 238, pp. 37-38.

Fujishima, A., Zhang, X. and Tryk, D. A. (2008), *"TiO2 photocatalysis and related surface phenomena"*, **Surface Science Reports**, Vol. 63 No. 12, pp. 515-582.

Ghosh, S., Goudar, V. S., Padmalekha, K. G., Bhat, S. V., Indi, S. S. and Vasan, H. N. (2011), *"ZnO/Ag nanohybrid: synthesis, characterization, synergistic antibacterial activity and its mechanism"*, **RSC Advances**, No. 2, pp. 930-940.

Hüsken, G., Hunger, M. and Brouwers, H. J. H. (2009), *"Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification"*, **Building and Environment**, Vol. 44 No. 12, pp. 2463-2474.

Ibhadon, A. and Fitzpatrick, P. (2013), *"Heterogeneous Photocatalysis: Recent Advances and Applications"*, **Catalysts**, Vol. 3 No. 1, pp. 189-218.

Kang, Q., Wang, T., Li, P., Liu, L., Chang, K., Li, M. and Ye, J. (2015), *"Photocatalytic Reduction of Carbon Dioxide by Hydrous Hydrazine over Au–Cu Alloy Nanoparticles Supported on SrTiO3/TiO2 Coaxial Nanotube Arrays"*, **Angewandte Chemie International Edition**, Vol. 54 No. 3, pp. 841-845.

Liu, Z., Wang, Y., Peng, X., Li, Y., Liu, Z., Liu, C., Ya, J. and Huang, Y. (2012), *"Photoinduced superhydrophilicity of TiO2 thin film with hierarchical Cu doping"*, **Science and Technology of Advanced Materials**, Vol. 13 No. 2.

Miyauchi, M. (2014), *"Development of visible-light-sensitive photocatalyst and its indoor application"*, in **Committee of Asian Standardization for Photocatalytic Material and Products (CASP2014)**, Shah Alam.

Nakajima, A., Hashimoto, K., Watanabe, T., Takai, K., Yamauchi, G. and Fujishima, A. (2000), *"Transparent superhydrophobic thin films with self-cleaning properties"*, **Langmuir**, Vol. 16 No. 17, pp. 7044-7047.

Ohama, Y. and Gemert, D. v. (2011), **Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Construction Materials**, Springer, New York.