สถาปัตยกรรมสุขภาพดี: สัญลักษณ์สำคัญแห่งโลกใหม่

Healthy Architecture: The Vital Sign for New World

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ
Awiroot Srisutapan
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Faculty of Architecture, Thammasat University

บทคัดย่อ

บทความนี้อาศัยกระบวนการรวบรวมและวิเคราะห์เนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศในอาคาร เพื่อเสนอให้ผู้อ่านได้ทราบถึงความสำคัญ ผลกระทบ และองค์ประกอบต่าง ๆ ตลอดจนเสนอแนวทางการสร้างสรรค์สถาปัตยกรรมสุขภาพดี ที่มีสภาวะแวดล้อมภายในอาคารที่เหมาะสม โดยได้เสนอความสัมพันธ์ของประเด็นที่เกี่ยวข้องไว้ 4 ประเด็น คือ 1) ระบบการศึกษาสถาปนิก และกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม 2) การศึกษา การกำหนด และการเผยแพร่ข้อมูลมาตรฐานการออกแบบ 3) กระบวนการบริหารและจัดการอาคาร และ 4) การตรวจสอบและประเมินผลการใช้งานอาคาร โดยคาดหวังว่าผลลัพธ์ของบทความนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานทางสถาปัตยกรรมเพื่อให้สอดคล้องกับวิถีการดำเนินชีวิต สภาพแวดล้อม เทคโนโลยี และความเป็นไปของสถานการณ์โลกในปัจจุบัน อีกทั้ง ยังอาจช่วยส่งเสริมให้เกิดกระบวนการประเมินผลภายหลังการใช้งานอาคาร ซึ่งเป็นวิธีการสื่อสารแบบสองทางที่มีประสิทธิภาพที่สุดอีกวิธีหนึ่งระหว่างผู้ใช้อาคารและสถาปนิก

Abstract

Through collective and analysis process, this article aims to describe the significance, the effects, and the factors of indoor air quality. This paper also provides the design guidelines to create healthy architecture that have appropriate indoor enviroment. In conclusion, the related issues, that should be concerned and raised in this article, are 1) Educational systems, architects, and design process. 2) Studying, setting, and distribution design standard. 3) Building management and maintenance process. and 4) Building commission and evaluation. The results of this article will help architects to adapt architectural design process that relate to human behavior, surrounding, technologies, and current world situations. Moreover, it will promote the post-occupancy evaluation process, that is the one of the most effective two-ways communication between users and architects.

คำสำคัญ (Keywords)

สถาปัตยกรรม (Architecture)
กระบวนการออกแบบ (Design Process)
คุณภาพอากาศในอาคาร (Indoor Air Quality)
สุขภาพ (Health)
การบริหารอาคาร (Building Management)
การอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation)

1. บทนำ

ทิศทางการออกแบบสถาปัตยกรรมในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ได้มีการให้ความสำคัญเฉพาะเรื่องที่เป็น “กระแส” ที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เช่น การสร้างสรรค์ความเป็นไทยในงานสถาปัตยกรรม สถาปัตยกรรมอนุรักษ์-พลังงาน สถาปัตยกรรมสีเขียว สถาปัตยกรรมสะอาด สถาปัตยกรรมแบบยั่งยืน สถาปัตยกรรมเชิงทดลอง ฯลฯ “กระแส” เหล่านี้ ได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามยุคตามสมัยของสถานการณ์โลก จนกระทั่งถึง “กระแส” ที่เป็น “วิกฤต” ในปัจจุบันคือ การแพร่ระบาดของโรคทางเดินหายใจเฉียบ-พลันรุนแรง (Severe Acute Respiratory Syndrome: SARS) ตั้งแต่ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2545 ในสาธารณรัฐประชาชน-จีน และได้แพร่ไปยังหลายประเทศ ทั้งในเอเชียและยุโรป มีผู้เสียชีวิตและติดเชื้อเป็นจำนวนมาก แม้ว่าสาเหตุของวิกฤตดังกล่าวจะไม่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรมโดยตรง แต่ก็ไม่อาจปฏิเสธได้ว่า ปัญหาส่วนหนึ่งได้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม เช่น แนวทางการออกแบบเพื่อควบคุมและป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค การสร้างสุขลักษณะที่ดีแก่ผู้ใช้อาคาร การบริหารและการดูแลรักษาอาคาร ฯลฯ ซึ่งล้วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม และสถาปนิกก็ควรที่จะเป็นผู้ที่มีส่วนในความรับผิดชอบด้วยเช่นกัน

ปัจจัยเรื่อง “คุณภาพอากาศในอาคาร (Indoor Air Quality: IAQ)” นับเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อการออกแบบสถาปัตยกรรม เนื่องจากมนุษย์จะใช้เวลาส่วนใหญ่อยู่ภายในอาคารแทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นที่พักอาศัยในรูปแบบต่าง ๆ สำนักงาน โรงเรียน ศูนย์การค้า ฯลฯ แต่สถาปนิกส่วนใหญ่กลับไม่ได้ให้ความสนใจนำปัจจัยดังกล่าวมาใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบสถาปัตยกรรมทั้ง ๆ ที่ไม่ใช่เรื่องใหม่ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น ระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด การควบคุมต้นทุนค่าก่อสร้าง สถาปนิกไม่มีความรู้ในเรื่องนี้อย่างถ่องแท้ ไม่มีการเรียนการสอนอย่างจริงจังในสถาบันการ-ศึกษา การไม่ได้รับแรงสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติวิชาชีพ หรือแม้แต่เรื่องของค่าตอบแทนในวิชาชีพที่ต่ำจึงทำให้เกิดการละเลย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาเรื่องคุณภาพอากาศในอาคาร เพื่อที่จะยกระดับมาตรฐานคุณภาพชีวิตของผู้ใช้อาคาร การสร้างสรรค์สถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อน-ชื้นและการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพสถาปัตยกรรมเพื่อเข้าสู่การแข่งขันในระดับนานาชาติต่อไป

2. ความเป็นมาและองค์ประกอบที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในอาคาร

2.1 ความเป็นมา

จากการเกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงานตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ.1960 การออกแบบอาคารในยุคสมัยนั้นจึงมุ่งเน้นไปที่การทำให้มีการรั่วซึมของอากาศให้น้อยที่สุด เพื่อช่วยในการประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศเป็นสำคัญ ทำให้ภายในอาคารมีการระบายอากาศที่ไม่เพียงพอ เกิดการสะสมของเชื้อโรคและมลภาวะต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคาร อีกทั้ง ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา การที่มีจำนวนผู้เสียชีวิตที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการใช้งานอาคาร ทำให้ประเด็นเรื่องของคุณภาพอากาศในอาคารกลายเป็นหัวข้อสำคัญที่มีผู้สนใจศึกษาค้นคว้าเป็นจำนวนมาก และได้มีการให้นิยามของ “คุณภาพอากาศในอาคารที่ดี” ไว้หลายประเด็น [1] เช่น อากาศที่ไม่มีการสะสมของสารที่ไม่ทราบชนิด ในปริมาณที่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ การนำอากาศเข้าและการกระจายอากาศที่เพียงพอ หรืออากาศที่ทำให้จำนวนร้อยละ 80 ของผู้ใช้อาคาร ไม่เกิดความรู้สึกไม่พึงพอใจ [2] และหากพิจารณาถึงมาตรฐานของ ASHRAE ที่ใช้ในการออกแบบเพื่อให้เกิดคุณภาพ-อากาศในอาคารที่ดีแล้ว จะต้องคำนึงถึงปริมาณการ-ระบายอากาศอย่างต่ำ 15 cfm/person (ประมาณ 3 air changes per hour) ในพื้นที่ทั่วไป เช่น สำนักงาน โรงเรียน ห้องโถง และ 20 cfm/person ในพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ปิด เช่น สำนักงานที่มีพื้นที่ปิด ห้องทดลอง ร้านอาหาร เป็นต้น

2.2 องค์ประกอบที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในอาคาร

ตามความเข้าใจโดยทั่วไปอาจเข้าใจว่า สภาพอากาศภายนอกนั้นสกปรกกว่าภายในอาคาร จึงคิดว่าการอยู่แต่ในอาคารน่าจะมีความปลอดภัยมากที่สุด แต่จากการ

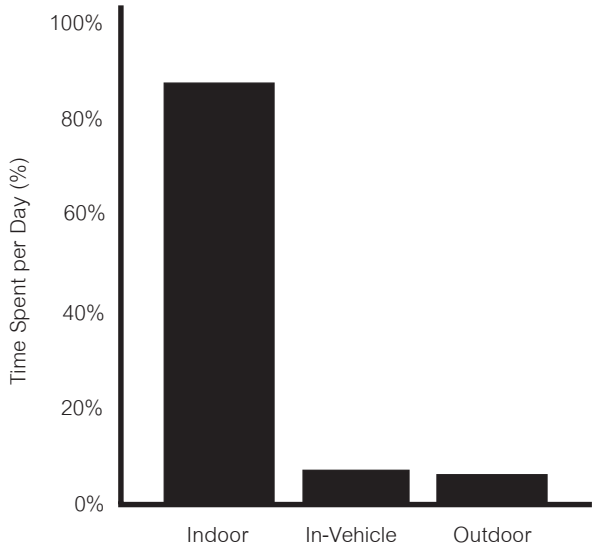
สาร	ปริมาณการสะสมภายนอกอาคาร	ปริมาณการสะสมภายในอาคาร
Carbon dioxide	332 ppm*(275 - 450 ppm)**	325 ppm (300 - 2500 ppm)
Formaldehyde	7 ppb (5 - 30 ppb)	30 ppb (15 - 2500 ppb)
Ozone	15 ppb (5 - 250 ppb)	15 ppb (3 - 80 ppb)
VOCs	20 $\mu g/m^3$ (10 - 250 $\mu g/m^3$)	200 $\mu g/m^3$ (75 - 20,000 $\mu g/m^3$)
Particles	15 $\mu g/m^3$ (10 - 100 $\mu g/m^3$)	25 $\mu g/m^3$ (10 - 200 $\mu g/m^3$)

ppm = parts per million ppb = parts per billion

$\mu g/m^3$ = microgram per cubic meter of air cfu/m^3 = cology foming units per cubic meter of air

*ค่าเฉลี่ย ** ค่าต่ำสุดและสูงสุดที่ได้จากการตรวจวัด

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการสะสมของสารต่าง ๆ ระหว่างพื้นที่ภายนอกและภายในอาคาร



รูปที่ 1 จากการศึกษา แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสัดส่วนของช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานที่ในช่วงเวลา 1 วัน จะเห็นได้ว่าการอยู่ภายในอาคารมีช่วงเวลานานที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการอยู่ในยานพาหนะ และภายนอกอาคาร ตามลำดับ

ศึกษา [3] พบว่า สภาพอากาศภายในอาคารอาจมีการสะสมของสารที่ก่อให้เกิดมลภาวะมากกว่าภายนอกอาคารถึง 10 เท่า (ตารางที่ 1) และผู้ใช้อาคารส่วนใหญ่จะใช้เวลาอยู่ในอาคารถึงร้อยละ 90 (รูปที่ 1) ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้มีการเปลี่ยนแนวความคิดจากการคำนึงถึงการออกแบบสถาปัตยกรรมโดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมภายนอก (environment) มาเป็นการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมภายใน (inviron-ment) แทน การที่คุณภาพอากาศในอาคารจะเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีหรือไม่ดีจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้ [4]

2.2.1 องค์ประกอบภายนอกอาคาร เป็นองค์ประกอบที่ทำการควบคุมได้ยากสามารถเข้ามาภายในอาคารได้โดยการพัดพาของลมประจำฤดูกาล การระบายอากาศหรือจากการรั่วซึมของอากาศผ่านทางช่องประตู หน้าต่าง ตามรอยต่อของผนังอาคาร แบ่งออกได้เป็นดังนี้

<u>องค์ประกอบที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ</u> เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (Hydrogen Cyanide) ฝุ่นละอองต่าง ๆ ที่ลอยปะปนอยู่ในอากาศ สารชีวภาพ (biological) เช่น เชื้อรา ไรฝุ่น ไวรัส แบคทีเรีย ละอองเกสรต่าง ๆ เป็นต้น

องค์ประกอบที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์หรือจากกระบวนการทำงาน เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen Sulfide) ก๊าซแอมโมเนียจากโรงงานอุตสาหกรรม สารตะกั่ว ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (Carbonmonoxide) จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ก๊าซคลอรีนจากกระบวนการผลิตน้ำประปา สารตะกั่วจากแบตเตอรี่ที่ทิ้งอยู่ในกองขยะ แบคทีเรียจากหอผึ่งน้ำ (cooling tower) เป็นต้น ซึ่งความรุนแรงของมลภาวะอาจจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างพื้นที่ใช้งานกับแหล่งมลภาวะ

2.2.2 องค์ประกอบภายในอาคาร ผู้ใช้อาคารอาจเข้าใจว่ามลภาวะที่เกิดขึ้นนั้นมีแหล่งกำเนิดมาจากภายนอกอาคารเพียงแหล่งเดียว ซึ่งในความเป็นจริงมลภาวะก็มีแหล่งกำเนิดมาจากภายในอาคารด้วยเช่นกัน ซึ่งบางแหล่ง ผู้ใช้อาคารอาจจะไม่ได้คาดคิดว่าจะเป็นแหล่งมลภาวะได้ มีรายละเอียดดังนี้

องค์ประกอบที่เกิดขึ้นจากสารเคมีจาก วัสดุ / อุปกรณ์และเครื่องใช้ต่าง ๆ เช่น

- ฟอร์มัลดีฮัยด์ (Formaldehyde) จากไม้อัดและผลิตภัณฑ์ไม้อัด โฟม ฉนวนกันความร้อน ผลิตภัณฑ์กระดาษ ไฟเบอร์กลาส ผ้าม่าน เฟอร์นิเจอร์ในสำนักงาน น้ำยากันซึม สารกันไฟลาม เสื่อ พรม เป็นต้น ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตาและเนื้อเยื่อทางเดินหายใจส่วนบน ภูมิแพ้ หอบหืด มะเร็งในลำคอ เป็นต้น
- ก๊าซโอโซน (Ozone) และสารระเหยอินทรียสาร (Volatile Organic Compounds: VOCs) จากเครื่องถ่ายเอกสาร เครื่องใช้อิเล็คทรอนิกส์ต่าง ๆ เครื่องฟอกอากาศ เป็นต้น ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ภูมิแพ้ ฯลฯ
- น้ำมันก๊าด แก๊ส และสารเคมีอื่น ๆ อีกหลายชนิดจากผลิตภัณฑ์กำจัดแมลง ทั้งชนิดฉีดพ่นและชนิดเหลว
- สารเคมีประเภทไพรีทรอยด์จากยาจุดกันยุงเป็นเหตุให้เกิดอาการแพ้ ผิวหนังอักเสบ เยื่อจมูกอักเสบ จามน้ำมูกไหล หายใจติดขัด เป็นต้น
- โลหะหนักประเภทตะกั่ว ปรอท โครเมียม แคดเมียม สารหนู และตัวทำละลายที่เป็นสารระเหยจากสีทาอาคาร อาจส่งผลให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและดวงตา หากได้รับในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิตได้
- ก๊าซเรดอน (Radon) จากองค์ประกอบของอาคารส่วนที่เป็นดิน หิน แกรนิต อิฐ คอนกรีต ยิบซั่มบอร์ด เป็นต้น
- Trichloroethylene (TCE) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยสารชนิดนี้เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์หลายประเภทที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น หมึกสำหรับเครื่องพิมพ์เลเซอร์ สี แลคเกอร์ วัสดุเคลือบเงา และสารเกาะยึดต่าง ๆ การได้รับสารประเภทนี้ในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้
- เบนซิน (Benzene) เป็นสารทำละลายที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตหมึก น้ำมัน สี พลาสติก ยาง ผงซักฟอก สารย้อมสี เป็นต้น
- สารกัมมันตภาพรังสีจากเครื่องตรวจสอบควันไฟ และหลอดฟลูออเรสเซนต์
- แร่ใยหิน (Fiber) หรือใยแก้ว (Asbestos) จากผลิตภัณฑ์ประเภทฉนวนป้องกันความร้อน
- ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเครื่องสุขภัณฑ์ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยสารซักฟอกและกรดเข้มข้น หากสูดดมควันสีขาวที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีมากเกินไป จะทำให้เกิดอาการสำลัก ไอ เคืองตา และอาจทำให้เกิดเป็นแผลเปื่อยในระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น
- สารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่ใช้ในระหว่างการก่อสร้าง เช่น น้ำยากันซึม น้ำยากันปลวก ฯลฯ

ซึ่งการที่จะทำให้สารเคมีเหล่านี้สลายตัวได้นั้นจะต้องใช้ระยะเวลาและการระบายอากาศที่เพียงพอ

องค์ประกอบที่เกิดขึ้นจากพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร

- การที่ผู้ใช้อาคารเลี้ยงสัตว์เลี้ยงต่าง ๆ เช่น สุนัข แมว หนู แล้วไม่เก็บกวาดสิ่งสกปรกหรือความสะอาดพื้นที่นั้น ๆ อย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดการสะสมของเชื้อรา แบคทีเรีย และแมลงสาบ ก่อให้เกิดชีวสาร (biological agents) ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคภูมิแพ้และโรคติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น
- ผลผลิตจากการเผาไหม้ (Combustion Products) เช่น กระบวนการปรุงอาหาร การจุดธูปเทียน การสูบบุหรี่ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา จมูก เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ทำให้มีความเสี่ยงสูงต่อการเป็นโรคหัวใจ โรคมะเร็งปอด เป็นต้น
- การออกกำลังกาย จะมีการปล่อยสารเคมีบางชนิดออกมาโดยผ่านกระบวนการเผาผลาญของร่างกาย

2.2.3 องค์ประกอบที่มาจากสาเหตุอื่น ๆ เช่น อาคารตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม สภาพแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เป็นต้น

3. ผลกระทบอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศในอาคาร

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า สิ่งแวดล้อมรอบตัวสามารถเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในอาคาร เมื่อคุณภาพอากาศในอาคารไม่ดี ย่อมที่จะส่งผลกระทบให้เกิดขึ้นหลายประการ คือ

3.1 ผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ

- ทำให้ผู้ใช้อาคารเกิดอาการหงุดหงิดง่าย สูญเสียสมาธิการทำงานจึงไม่มีประสิทธิภาพ
- ทำให้อัตราการขาดงานของบุคลากรสูงขึ้น
- ส่งผลกระทบต่อภาพรวมของธุรกิจโดยตรง คือ ลดความน่าเชื่อถือของอาคาร เกิดการย้ายออกมากขึ้น ไม่มีผู้มาเช่าพื้นที่ เป็นต้น
- ทำให้วัสดุอุปกรณ์ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องใช้ต่าง ๆ เสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงมากขึ้น

3.2 ผลกระทบทางด้านชีวิตและสุขภาพ

ลักษณะของอาการโดยทั่วไปที่พบได้มีดังนี้ [5]

- ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน วิงเวียนศีรษะ ส่งผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง ระบบประสาทรับความรู้สึก เกิดอาการชา
- สร้างความระคายเคืองต่อปอด และอวัยวะภายในอื่น ๆ
- ทำให้ผิวหนังภายนอกระคายเคือง เป็นผื่น พุพอง
- เป็นโรคภูมิแพ้ หรือโรคชนิดอื่น ๆ เรื้อรัง และอาจเกิดการแพร่เชื้อไปยังบุคคลใกล้ชิดได้
- หากได้รับสารในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิต [6]
- อีกทั้ง นโยบายของบริษัทประกันภัยในอนาคต มีแนวโน้มที่จะไม่รับการให้ความคุ้มครองหรือให้ค่าเสียหายทางด้านสุขภาพที่มีสาเหตุเกิดจากมลภาวะเป็นพิษ

โดยผลกระทบทางด้านชีวิตและสุขภาพ ได้มีการแบ่งประเภทของโรคตามลักษณะของอาการ และความรุนแรงของโรคที่เกิดขึ้น ดังนี้

3.2.1 Sick Building Syndrome (SBS) หรือ Tight Building Syndrome หรือ โรคอาคารอึดอัด ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการออกแบบอาคารให้ปิดแน่นและมีระบบปรับอากาศ และระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม โดยผู้ใช้อาคารจะมีอาการที่เด่นชัดดังนี้ [7]

- ลักษณะอาการที่เกิด เช่น เจ็บคอ ไอบ่อยครั้ง เคืองตา น้ำมูกไหล เจ็บคอ วิงเวียนศีรษะ หายใจติดขัด อึดอัดในช่องจมูก หน้ามืด ตาลาย รู้สึกอ่อนแอ ไม่มีเรี่ยวแรง ผิวหนังบริเวณใบหน้าและมือแห้ง เป็นต้น
- ไม่สามารถทราบหรือบ่งบอกถึงสาเหตุของการเกิดอาการเหล่านั้นได้
- อาการที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และอาจหาย หรือรู้สึกบรรเทาลงได้เมื่อออกนอกบริเวณอาคาร

อาจกล่าวได้ว่า ร้อยละ 15 - 45 ของผู้ใช้อาคารมักจะประสบกับอาการดังลักษณะข้างต้น

3.2.2 Building-Related Illnesses (BRI) อาการที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่เด่นชัดดังนี้ [8]

- มีลักษณะความรุนแรงของอาการมากกว่าโรค SBS โดยส่วนใหญ่ในอาคารที่พบผู้ที่เป็นโรค BRI มักจะพบผู้ที่เป็นโรค SBS ด้วย
- สามารถตรวจสอบและพิสูจน์อาการของโรคได้โดยใช้วิธีทางการแพทย์ เช่น โรคมะเร็ง โรคลีเจียร์แนร์ (Legionnaire's disease), pontiac fever, Hypersensitivity Pneumonititis เป็นต้น
- อาการที่เกิดขึ้นจะเรื้อรัง แม้ว่าจะได้ออกจากบริเวณอาคารแล้วก็ตาม

3.2.3 Multiple Chemical Sensitivity (MCS) อาการที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเด่นชัดดังนี้ [9]

- เป็นอาการที่เกิดขึ้นเนื่องจากการได้รับสารเคมีจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ แม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็ตาม
- หายใจลำบาก สูญเสียความทรงจำ ปวดศีรษะข้างเดียว คลื่นเหียน ปวดท้อง ปวดตามกล้ามเนื้อและข้อต่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายในบางรายอาจมีความรู้สึกที่ไวมากขึ้นเป็นพิเศษต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความดังของเสียง ปริมาณแสง สัมผัส และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น
- โรคนี้ โดยทั่วไปจะพบมากในเพศหญิงมากกว่าเพศชาย (ร้อยละ 85 - 90) โดยเฉพาะในช่วงอายุ 30 - 50 ปี

รูปที่ 2 ลักษณะต่าง ๆ ของเครื่องมือตรวจสอบคุณภาพอากาศในอาคาร ใช้ในการตรวจสอบก๊าซได้หลายชนิด เช่น ก๊าซ O_2, O_3, CO, NO, NO_2, SO_2, HCI, HCN, NH_3 เป็นต้น และสามารถส่งสัญญาณแจ้งเมื่อความเข้มของก๊าซมีค่าเกินกว่าที่กำหนดไว้

- เป็นลักษณะอาการของโรคที่มีความซับซ้อนมากกว่าสองลักษณะข้างต้น อาการดังกล่าวสามารถกำเริบหรือหายเองได้โดยที่ไม่ทราบสาเหตุ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการยืนยันถึงวิธีมาตรฐานในการตรวจสอบอาการของโรค แต่แพทย์ส่วนใหญ่จะแนะนำให้ผู้ป่วยพยายามหลีกเลี่ยงสถานที่ที่เข้าไปแล้วรู้สึกเกิดอาการผิดปกติขึ้น

4. การตรวจสอบ / ประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร

การตรวจสอบคุณภาพอากาศในอาคารนับเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะทำให้ทราบถึงสถานภาพเพื่อที่จะดำเนินการวางแผนและปรับปรุงในขั้นตอนต่อไปได้อย่างทันท่วงที โดยในเบื้องต้น สามารถตรวจสอบคุณภาพอากาศในอาคารได้โดยวิธีการดังนี้

4.1 การใช้ประสาทสัมผัสการรับรู้ของร่างกาย

เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการตรวจสอบหรือการรับรู้ถึงคุณภาพอากาศในอาคาร ทำได้โดย

- การได้กลิ่นอับชื้น หรือกลิ่นผิดปกติ
- เกิดอาการระคายเคืองตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
- มีอาการไอ จาม น้ำมูกไหล ฯลฯ ในช่วงเวลาที่อยู่ในพื้นที่นั้น ๆ
- สังเกตเห็นการเจริญเติบโตของเชื้อรา การเน่าเสียหรือผุพังตามองค์ประกอบต่าง ๆ ของอาคาร
- สังเกตเห็นสิ่งสกปรกเกาะติดอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศ
- มีการติดตั้งวัสดุใหม่ภายในอาคาร เช่น พรม วัสดุที่ทำจากไม้อัด การทาสีหรือสารระเหยอื่น ๆ เป็นต้น

ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นส่วนหนึ่งของการบ่งบอกว่าคุณภาพอากาศในอาคารมีแนวโน้มที่จะไม่ดี อาจเป็นทั้งในระยะเวลาสั้นและยาว

4.2 การใช้เครื่องมือสมัยใหม่ในการตรวจสอบ

หากในกรณีที่ไม่พบสิ่งผิดปกติตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ก็มิได้หมายความว่าคุณภาพอากาศในอาคารจะดีเสมอไป เนื่องจาก การรับรู้โดยการใช้ประสาทสัมผัสอาจไม่มีความละเอียดอ่อนเพียงพอที่จะรับรู้ได้ และสารบางชนิดอาจไม่มีทั้งสีและกลิ่น ทำให้ไม่อาจรับรู้ได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือสมัยใหม่ที่มีความเที่ยงตรง และแม่นยำในการตรวจสอบ โดยเครื่องมือเหล่านี้มีอยู่หลายลักษณะ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการใช้งาน เช่น เครื่องตรวจวัดปริมาณฝุ่น เครื่องวัดก๊าซออกซิเจน เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เครื่องวัดก๊าซพิษ ต่าง ๆ เป็นต้น (รูปที่ 2) อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบเหล่านี้เป็นเทคโนโลยีที่นำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาค่อนข้างสูง จึงทำให้ยังไม่มีการใช้งานแพร่หลายมากนัก [10]

5. แนวทางการปฏิบัติเพื่อคุณภาพอากาศในอาคารที่ดี

แนวทางการออกแบบหรือการปฏิบัติเพื่อให้มีคุณภาพอากาศในอาคารที่ดีนั้น อาจพอที่จะเสนอแนะแนวทางการออกแบบได้ดังนี้

5.1 การเลือกที่ตั้ง และการออกแบบสภาพแวดล้อมอาคาร

ปัจจัยเริ่มต้นของการสร้างคุณภาพอากาศในอาคารที่ดีนั้น คงจะเริ่มต้นขึ้นตั้งแต่การเลือกที่ตั้งอาคาร การประเมินสภาพที่ดิน แหล่งน้ำ ดิน และสภาพแวดล้อมข้างเคียง หากที่ตั้งอาคารมีสภาพแวดล้อมที่ดี ก็จะส่งผลให้คุณภาพอากาศในอาคารมีแนวโน้มที่จะดีตามไปด้วย อย่างไรก็ตาม สภาพแวดล้อมในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทั้งทางด้านคมนาคม อุตสาหกรรม ฯลฯ ทำให้สภาพแวดล้อมที่ดีอยู่ในตอนนี้สามารถเปลี่ยนแปลงและเลวร้ายไปได้ตลอด ดังนั้น เมื่อไม่สามารถควบคุมหรือเลือกสภาพแวดล้อมที่ดีได้แล้ว ควรที่จะทำการออกแบบให้สอดคล้องและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ให้มากที่สุด เช่น

- การปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารให้มีลักษณะที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น เช่น การปลูกต้นไม้ การสร้างแนวป้องกันมลภาวะ การปรับสภาพภูมิประเทศ เป็นต้น
- การจัดวางตำแหน่งของบริเวณโดยรอบอาคารให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดมุมอับขึ้น ทำให้เกิดการหมักหมมและส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใช้สอยในอาคาร ทั้งนี้ ควรออกแบบโดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ของพื้นที่ระหว่างภายใน-ภายใน และภายใน-ภายนอก

5.2 การออกแบบสถาปัตยกรรม

แนวทางการออกแบบสถาปัตยกรรมเพื่อให้เกิดคุณภาพอากาศในอาคารที่ดี สามารถปฏิบัติได้หลายวิธี เช่น

- สำหรับผู้ที่ไม่มีความเข้าใจในเรื่องของการประหยัดพลังงาน อาจคิดเพียงแต่เรื่องของการควบคุมระดับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เท่านั้น ซึ่งหากพิจารณาอย่างถ่องแท้แล้วจะพบว่า ปัจจัยด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเพียงปัจจัยหนึ่งของการออกแบบเพื่อคุณภาพอากาศในอาคารที่ดีเท่านั้น ดังนั้น ผู้ที่เกี่ยวข้องจึงควรที่จะทำความเข้าใจในประเด็นนี้เสียใหม่
- แนวความคิดของการออกแบบอาคารให้แห้ง [11] โดยคำว่า “แห้ง” หมายถึงการลดโอกาสที่จะเกิดการสะสมของน้ำ หรือความอับชื้น ทั้งในวัสดุและบริเวณต่าง ๆ ของอาคาร (รูปที่ 3) เช่น การวางตัวอาคารให้อยู่ในน้ำ น้ำจากระบบปรับอากาศที่ไหลนองบนระเบียง การรั่วซึมตามแนวรอยต่อของอาคาร เป็นต้น

การออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับแนวคิดดังกล่าวอาจทำได้โดยการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ (daylight) เพื่อช่วยในการระเหยของน้ำ การเลือกใช้รูปทรงของอาคาร (building form) ที่ไม่ซับซ้อนหรือเกิดซอกมุมมากนัก การเลือกใช้วัสดุและวิธีการติดตั้งที่เหมาะสม ฯลฯ ทั้งนี้ ควรคำนึงถึงอาคารทั้งที่มีและไม่มีการติดตั้งระบบปรับอากาศ

- แนวความคิดของการออกแบบอาคารให้หลวม (Loose Building) [12] เช่น บ้านไทยในอดีต เพื่อให้เกิดการระบายอากาศผ่านทางรอยต่อวัสดุอาคาร ทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศ ไม่เกิดการสะสมของเชื้อโรคภายในอาคาร อีกทั้งยังทำให้ความร้อนถ่ายเทออกไปได้โดยง่าย แต่อย่างไรก็ตาม ในสภาพปัจจุบัน สารหรือมลพิษอื่น ๆ ที่อยู่ภายนอกอาคารก็สามารถแทรกซึมเข้ามาได้ด้วยเช่นกัน และความชื้นที่ผ่านเข้ามาและสะสมอยู่ในผนังอาคาร พรม หรือการเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำในผนังหรือฝ้าเพดาน ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ (รูปที่ 4) หากมีการใช้ระบบปรับอากาศก็จะทำให้เสียค่าไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้น จึงควรคำนึงถึงสภาพแวดล้อมในการออกแบบด้วย
- แนวความคิดของการออกแบบอาคารให้ปิดแน่น (Tight Building) [13] เกิดขึ้นจากกระแสการอนุรักษ์พลังงานในช่วงที่ผ่านมา เพื่อที่จะทำให้อากาศถ่ายเทได้น้อย ทั้งนี้ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศภายนอกไม่ให้เข้ามาภายในอาคารมากจนทำให้ภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศสูงเกินไป ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น ซึ่งนับว่าเป็นข้อที่ควรพิจารณาเช่นกัน แต่ในทางกลับกันผลที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งทำให้เกิดการสะสมของเชื้อโรคหรือมลพิษต่าง ๆ ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารให้เจ็บไข้ได้ป่วย เนื่องจากการระบายอากาศไม่เพียงพอ

รูปที่ 3 แม้ว่าการออกแบบอาคารให้ตั้งอยู่ในแหล่งน้ำจะเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างเอกลักษณ์ไทยก็ตาม แต่ก็ได้ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านความสกปรก ความเสียหาย และความยากลำบากในการดูแลรักษาอาคารตามมา

รูปที่ 4 การเกิดเชื้อราตามส่วนต่าง ๆ ของอาคาร มีสาเหตุได้หลายประการ เช่น การออกแบบและติดตั้งระบบปรับอากาศที่ไม่เหมาะสม การก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน และขาดการดูแลรักษาอาคาร ย่อมก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพตามมาได้เช่นกัน

- พื้นที่ใช้งานในอาคารที่เป็นแหล่งกำเนิดและแพร่กระจายของมลภาวะ หรือต้องการการควบคุมเป็นพิเศษ เช่น ห้องถ่ายเอกสาร ห้องคอมพิวเตอร์ ห้องครัว ห้องเก็บอุปกรณ์หรือสารเคมีที่เป็นอันตราย ห้องเก็บขยะ เป็นต้น ควรจัดให้มีระบบระบายอากาศแยกออกไปต่างหาก และให้เพียงพอ ตลอดจน การจัดวางตำแหน่งของห้องนั้น ๆ ให้อยู่ในตำแหน่งที่เป็นความดันอากาศต่ำ (negative pressure) หรือใต้ลม เพื่อไม่ให้เกิดการแพร่กระจายของมลพิษจากพื้นที่ใช้งานหนึ่งไปยังอีกพื้นที่ใช้งานหนึ่ง เช่น กลิ่นและละอองสีที่เกิดขึ้นจากห้องปฏิบัติการแพร่กระจายไปยังห้องเรียน ละอองน้ำมันจากห้องครัวที่เกาะเป็นคราบสกปรกตามผนังอาคาร ท่อน้ำทิ้งที่ส่งกลิ่นเน่าเหม็น ฯลฯ
- จากการศึกษาพบว่า [14] โดยทั่วไป ร้อยละ 85 ของฝุ่นที่เข้ามาในอาคารจะติดมาจากรองเท้าของผู้ใช้อาคาร ซึ่งแนวทางการป้องกันที่ดีที่สุด คือ บริเวณทางเข้าอาคารสามารถทำได้โดยการกำหนดพื้นที่ส่งผ่าน (transition zone) ซึ่งนอกจากจะช่วยป้องกันการแพร่กระจายของฝุ่นแล้ว ยังสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร และลดความแตกต่างของอุณหภูมิ ทำให้ผู้ใช้อาคารมีเวลาในการปรับสภาพร่างกายได้บ้าง ส่วนวัสดุปูพื้น อาจเลือกใช้เป็นตระแกรงเหล็กวางบนพื้นที่ลดระดับ เพื่อให้ฝุ่นละอองตกลงไปรวมกันอยู่ด้านล่าง จึงสามารถทำความสะอาดได้ง่ายขึ้นและไม่ฟุ้งกระจายเข้าไปในอาคาร (รูปที่ 5)

นอกจากนี้ ยังมีแนวทางอื่น ๆ เช่น การยกระดับพื้นชั้นล่างให้สูงขึ้นเพื่อป้องกันก๊าซเรดอน และความชื้นจากพื้นดินที่จะแทรกซึมเข้ามาภายในอาคาร การจัดพื้นที่สำหรับการสูบบุหรี่โดยเฉพาะ ตามที่กฎหมายได้กำหนดไว้เป็นต้น

5.3 การศึกษามาตรฐานการระบายอากาศ

ความจำเป็นในการศึกษาเรื่องมาตรฐานการระบายอากาศนั้น นอกจากจะส่งผลต่อสุขภาพของผู้ใช้อาคารโดยตรงแล้ว ยังส่งผลต่อรูปแบบสถาปัตยกรรมและระบบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย มาตรฐานสำหรับการออกแบบโดยทั่วไปที่สถาปนิกส่วนใหญ่ทราบและใช้อ้างอิงในประเทศไทย คือ พ.ร.บ. การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมถึงเรื่องปริมาณอากาศภายนอกที่จำเป็นต้องนำมาใช้ในการระบายอากาศในแต่ละพื้นที่ สำหรับเป็น

รูปที่ 5 การผสมผสานแนวความคิดในการออกแบบทางเข้าอาคาร โดยใช้ตะแกรงที่พื้นในการทำหน้าที่ดักเก็บฝุ่นละอองที่ติดมากับรองเท้าของผู้ใช้อาคาร การสร้างส่วนปิดล้อมเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นเข้ามาในอาคาร และการออกแบบระบบปรับอากาศในพื้นที่ดังกล่าวเพื่อดูดฝุ่นละอองไปทิ้ง

ลักษณะของพื้นที่ใช้งาน	อัตราการเปลี่ยนอากาศ (Air Changes per Hour)
Entrance hall	3 - 4
Corridors	2 - 3
Classrooms	3 - 4
Bedrooms, living rooms	1 - 2
Assembly halls	3 - 6
Offices above ground	2 - 6
Offices below ground	10 - 20
Laboratories	15 - 20
Hospital operating rooms	20
Restaurants and canteens	10 - 15
Kitchens above ground	20 - 30

ตารางที่ 2 แสดงอัตราการเปลี่ยนอากาศที่ต้องการในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

แนวทางให้สถาปนิกและวิศวกรใช้ในการออกแบบ นอกจากนี้ยังมีข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 ที่กำหนดให้ต้องมีการระบายอากาศตามอัตราที่กำหนดไว้ตามแต่ละพื้นที่เพื่อสุขลักษณะของผู้ใช้อาคาร อย่างไรก็ตาม ยังมีมาตรฐานการออกแบบอื่น ๆ ที่สำคัญจากต่างประเทศที่สถาปนิกไทยควรศึกษาเพื่อใช้ประกอบการออกแบบอีกเช่นกัน สำหรับแนวทางการออกแบบเบื้องต้นอาจพิจารณาได้ดังนี้

5.3.1 พิจารณาจากอัตราการระบายอากาศ (The Ventilation Rate Procedure) สำหรับการระบายอากาศโดยวิธีกล เป็นการกำหนดปริมาณขั้นต่ำของอากาศภายนอกที่จะต้องนำเข้ามาภายในอาคาร หรือห้องนั้น ๆ อาจแยกออกได้เป็น 2 วิธีการ คือ

อัตราการเปลี่ยนอากาศ (Air Change Rate) หมายถึง การทำให้เกิดการระบายอากาศไม่น้อยกว่าจำนวนเท่าของปริมาตรของห้อง ใน 1 ชั่วโมง ตลอดเวลาที่มีการใช้งานห้องนั้น ๆ [15] (ตารางที่ 2)

ความต้องการอากาศภายนอกเพื่อการระบายอากาศ (Outdoor Air Requirement for Ventilation) เป็นการนำอากาศจากภายในออกไป หรือนำอากาศจากภายนอกเข้ามาเข้ามายังพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ [16] (ดูตารางที่ 3)

5.3.2 พิจารณาจากคุณภาพอากาศ (The Indoor Air Quality Procedure) (ตารางที่ 4 และ 5)

5.4 การจัดให้มีการระบายอากาศที่เพียงพอและเหมาะสม

เมื่อทราบถึงมาตรฐานการระบายอากาศจากหัวข้อก่อนหน้านี้แล้ว ผู้ออกแบบจะต้องทำการออกแบบให้สอดคล้องตามมาตรฐานดังกล่าว นอกเหนือจากวิธีการคำนวณแล้ว แนวทางพื้นฐานอื่น ๆ ที่สามารถทำได้ คือ

- การออกแบบ / จัดวางพื้นที่ใช้สอยภายในให้สอดคล้องกับระบบปรับอากาศ เช่น ไม่วางตำแหน่งเครื่องเรือนกีดขวางตำแหน่งช่องจ่ายลมเย็น (supply air) หรือช่องดูดอากาศกลับ (return air) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านระบบปรับอากาศมีให้เลือกใช้งานทั้งการจ่ายลมจากเพดานและจ่ายลมจากใต้พื้น (รูปที่ 6) ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการจัดพื้นที่ใช้สอยได้มากขึ้น

ลักษณะของพื้นที่ใช้งาน	จำนวนผู้ใช้งานโดยประมาณ (คน / 100 ตร.ม.)	ความต้องการอากาศภายนอกเพื่อระบายอากาศ (cfm / person)
Classroom	50	50
Libraries	20	20
Smoking lounges	70	60
Patient rooms in hospital	10	25
Operating rooms	20	30
Dining halls	100	15
Office spaces	7	20
Conference rooms	50	20
Cafeteria, fast food	100	20
Bedrooms	-	30 (cfm / room)
Living rooms	-	30 (cfm / room)
Bathrooms	-	35 (cfm / room)

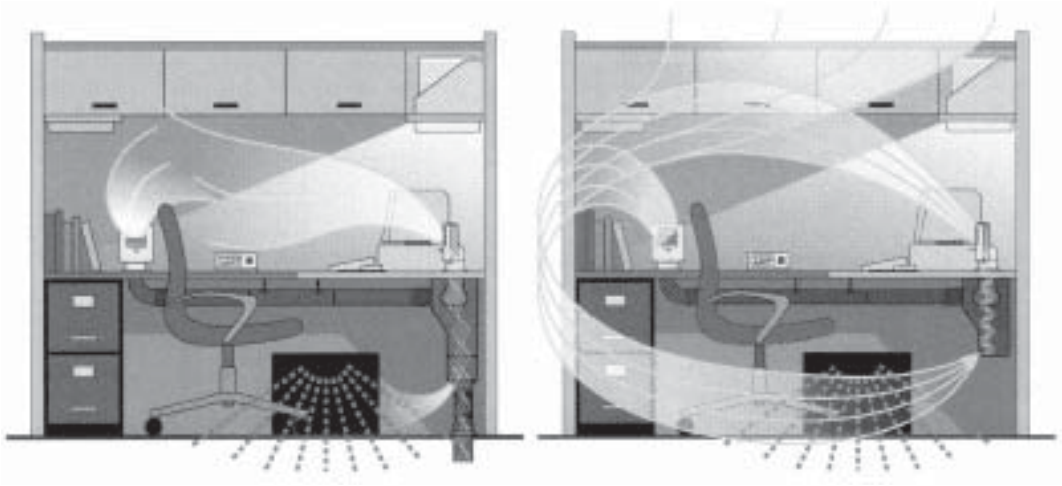
ตารางที่ 3 แสดงความต้องการปริมาณอากาศภายนอกเพื่อการระบายอากาศในแต่ละพื้นที่ใช้งาน

สาร	ระยะยาว			ระยะสั้น		
	ระดับความเข้มข้น		ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่สัมผัสสาร	ระดับความเข้มข้น		ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่สัมผัสสาร
	$\mu g/m^3$	ppm		$\mu g/m^3$	ppm	
Sulfur Dioxide	80	0.030	1 ปี	365	0.14	24 ชั่วโมง
Carbon Monoxide	-	-	-	10,000	9	8 ชั่วโมง
Oxidants (Ozone)	-	-	-	235	0.12	1 ชั่วโมง
Nitrogen Dioxide	100	0.055	1 ปี	-	-	-

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณการสะสมที่ยอมรับได้ของสารแต่ละชนิดสำหรับอากาศภายนอกที่จะนำเข้ามาภายในอาคาร

สาร	ระดับความเข้มข้น	ระยะเวลาในการสัมผัสสาร
Carbon Dioxide	ไม่เกิน 700 ppm (โดยทั่วไปมีค่าระหว่าง 300 ถึง 500 ppm)	สัมผัสอย่างต่อเนื่อง
Ozone	100 $\mu g/m^3$ (0.05ppm)	สัมผัสอย่างต่อเนื่อง
Radon	4 pCi/L (148 Bq/m^3)	เฉลี่ยตลอดทั้งปี

ตารางที่ 5 แสดงปริมาณที่ยอมรับได้ของการสะสมของสารแต่ละชนิดภายในอาคาร



รูปที่ 6 ระบบควบคุมสภาพแวดล้อมส่วนบุคคล (personal environments control system) เป็นระบบปรับอากาศที่สามารถให้ผู้ใช้งานปรับเปลี่ยนอุณหภูมิตามที่ตนเองต้องการได้ โดยอาศัยการทำงานร่วมกับระบบจ่ายลมจากใต้พื้น (underfloor air supply) ซึ่งระบบนี้มีแนวโน้มที่จะมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในอนาคต โดยเฉพาะในต่างประเทศ

- ระบบปรับอากาศ ควรที่จะมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนจากระบบปรับอากาศโดยใช้เครื่องกลมาเป็นระบบปรับอากาศโดยวิธีธรรมชาติได้ในกรณีที่ต้องใช้งานในพื้นที่นั้น ๆ เช่น การทำงานล่วงเวลา การเกิดเพลิงไหม้ การเกิดไฟฟ้าดับอย่างฉุกเฉิน หรือการระบายกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เป็นต้น เพื่อให้เกิดสุขลักษณะที่ดีต่อผู้ใช้อาคาร ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบช่องเปิดให้สามารถเปิด-ปิด ได้อย่างสะดวกเพื่อประโยชน์ในการระบายอากาศได้อย่างเต็มที่ ในขณะเดียวกัน ควรที่จะป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนได้ด้วย
- ช่องนำอากาศจากภายนอก (Air Intake) เข้ามาในอาคาร ควรวางอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เช่น ไม่วางใกล้กับถนนที่มีการจราจรคับคั่ง ห้องครัว ที่ทิ้งขยะ หรือช่องระบายอากาศทิ้งของอาคารอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นการนำมลพิษเข้ามาในอาคารโดยตรง นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงการป้องกันการรั่วซึมของน้ำฝนหรือความชื้นที่เข้ามาอีกด้วย
- การระบายอากาศภายหลังการติดตั้งวัสดุใด ๆ ก็ตาม ไม่ว่าจะเป็นการเทหรือหล่อคอนกรีต การก่ออิฐฉาบปูน การทาสี งานพื้นและผนังไม้ต่าง ๆ ฯลฯ นับเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง
- ลักษณะและตำแหน่งของช่องเปิดมีผลต่อคุณภาพอากาศในอาคารได้เช่นกัน เช่น การเลือกใช้ช่องเปิดแบบบานเกล็ด นอกจากจะทำให้เกิดการรั่วซึมของอากาศน้ำฝน ความชื้น ซึ่งส่งผลต่อภาระการปรับอากาศและการบริโภคพลังงานของอาคารแล้ว ยังทำให้สิ่งสกปรกในบริเวณใกล้เคียงสามารถเข้ามาในอาคารได้ง่ายเช่นกัน

5.5 การเลือกใช้ระบบกรองและฟอกอากาศที่มีประสิทธิภาพ

การเลือกใช้ระบบกรองและฟอกอากาศในระบบปรับอากาศ อาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อที่จะช่วยในการสร้างและควบคุมคุณภาพอากาศในอาคารให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมได้ โดยทั่วไปในอดีต การใช้ระบบการกรองอากาศจะนิยมใช้กับอาคารที่อยู่ในภาคของอุตสาหกรรม หรือการทำงานที่ต้องการสุขลักษณะเป็นพิเศษ เช่น โรงงานผลิตยา โรงพยาบาล เป็นต้น แต่ในปัจจุบันได้มีการนำระบบนี้มาใช้งานแพร่หลายมากขึ้น ทั้งในส่วนของอาคารสาธารณะ สำนักงานและบ้านพักอาศัย ประเภทของระบบกรองอากาศอาจแบ่งออกได้ดังนี้ [17]

5.5.1 Viscous Impingement มีลักษณะแบน หยาบ มีโพรงขนาดใหญ่ เคลือบผิวหน้าด้วยสารเหนียวเพื่อใช้ในการดักจับฝุ่น มีราคาถูก ไม่ทำให้ปริมาณลมที่ส่งผ่านท่อลดลง เหมาะสำหรับใช้งานกับฝุ่นที่มีลักษณะเป็นเส้นใย แต่อาจใช้ได้ไม่ดีกับฝุ่นที่เป็นละออง

5.5.2 Dry-Type Extended Surface, Textile Nonwoven Media มีลักษณะคล้ายกับแผ่นกรองแบบ viscous impingement แต่มีเส้นใยที่ละเอียดกว่า ไม่มีสารเหนียวเคลือบที่ผิวหน้า มีประสิทธิภาพสูงกว่า นิยมใช้ในสำนักงานทั่วไป

5.5.3 Fine Glass Fibers มีความละเอียดและปริมาณการดักจับฝุ่นมากขึ้น มีราคาแพง เหมาะสำหรับสำนักงานที่มีงบประมาณในการลงทุนหรือต้องการประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น ห้องทดลองทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

5.5.4 Charcoal, Potassium Permanganate ใช้สำหรับการกรองหรือแยกสารที่เป็นก๊าซและกลิ่นได้เป็นอย่างดี

5.5.5 Electrostatic Precipitation ใช้ประจุไฟฟ้าช่วยในการดักจับสารที่เป็นอนุภาค หรือเป็นวัตถุที่ลอยอยู่ในอากาศ

5.5.6 High Efficiency Particle Arrestance: HEPA, Ultralow-Penetration Arrestance: ULPA เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง สามารถดักจับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ถึง 0.3 μm (ซึ่งเป็นอนุภาคที่ส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจและปอด) ซึ่งระบบกรองอากาศของอาคารทั่วไปไม่สามารถดักจับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 1μm ได้ เหมาะกับการใช้งานในสถานที่ที่ต้องการความสะอาดสูง เช่น โรงพยาบาล

อย่างไรก็ตามยังมีข้อควรพิจารณาหลายประการ ในการเลือกใช้ระบบกรองอากาศ เช่น แม้ความหนาของแผ่นกรองอากาศจะช่วยให้กรองสิ่งสกปรกได้มากขึ้นก็ตาม แต่ก็ทำให้ปริมาณลมที่ส่งผ่านท่อลดลงได้เช่นกัน ซึ่งส่งผลต่อภาระและพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ นอกจากนี้ อาจจะต้องคำนึงถึงการดูแลรักษา ประสิทธิภาพและลักษณะการใช้งานให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ เป็นต้น

5.6 การจัดเตรียมพื้นที่สำหรับงานระบบอาคาร

นอกจากสุนทรียภาพของรูปทรงและเอกลักษณ์ทางสถาปัตยกรรมที่สามารถพบเห็นได้จากภายนอกอาคารแล้ว องค์ประกอบที่สำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากันก็คือ ส่วนงานระบบของอาคาร ซึ่งนอกจากระบบจะต้องใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่มาตรฐานกำหนดแล้ว ยังต้องอยู่ในตำแหน่งที่สามารถเข้าถึงเพื่อดูแลรักษา ทำการตรวจสอบได้อย่างสะดวก และมีพื้นที่เพียงพอในกรณีที่จะต้องเข้าไปทำการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยไม่รบกวนการทำงานในพื้นที่ใช้งานหลัก มีแนวทางการปฏิบัติ เช่น [18]

- การจัดวางส่วนของงานระบบอาคารไว้เหนือพื้นที่ทางสัญจร ทำให้สามารถทำการซ่อมแซมได้โดยไม่รบกวนพื้นที่ใช้งานหลัก ในกรณีที่เกิดความเสียหายขึ้น โดยที่ทางสัญจรนั้นก็ควรมีขนาดกว้างเพียงพอสำหรับการทำงานเช่นกัน
- การจัดวางพื้นที่ของงานระบบในบริเวณภายนอกอาคาร นอกจากจะต้องระวังไม่ให้สารพิษหรือมลภาวะย้อนกลับเข้ามาสร้างมลภาวะในอาคารอีกครั้งหนึ่งแล้ว ควรที่จะระวังเรื่องการรบกวนอาคารในบริเวณข้างเคียงด้วย เช่น การวางตำแหน่งหอผึ่งน้ำ ห้องเก็บสารเคมี พัดลมระบายอากาศจากห้องครัวหรือห้องน้ำ เป็นต้น
- การคำนวณขนาดโครงสร้างและเผื่อพื้นที่ใต้ฝ้าเพดานเพื่อให้สามารถติดตั้งและดูแลรักษาระบบต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก

5.7 การเลือกใช้อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ

นอกเหนือจากการออกแบบสถาปัตยกรรมแล้ว การเลือกใช้อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์นับว่าเป็นองค์ประกอบร่วมที่มีส่วนส่งเสริมคุณภาพอากาศในอาคารเช่นกัน

- เลือกใช้อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการใช้สารอันตรายในการผลิตเช่น สารระเหย สารเคลือบผิว สารฟอกสี ฯลฯ เพื่อป้องกันการแพร่กระจายในภายหลัง
- เลือกใช้อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ที่สะดวกในการดูแลรักษาและทำความสะอาด เพื่อป้องกันการสะสมของเชื้อโรค
- การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของไมโครแบน (Microban) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ใช้วิธีการผสมสาร Microban B ซึ่งมีขนาด 0.001 ไมครอน เข้าไปในผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ในระหว่างกระบวนการผลิต จึงทำให้สารกลายเป็นเนื้อเดียวกับวัสดุและไม่สามารถถูกชะล้างหรือหลุดออกได้ในตลอดช่วงอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ที่ได้รับคือ สามารถยับยั้ง ป้องกันการเจริญเติบโตและขยายตัวของแบคทีเรีย เชื้อโรคต่าง ๆ

ได้เป็นอย่างดี แม้ในที่ที่เป็นซอกมุม หรือที่ทำความสะอาดได้ไม่ทั่วถึง โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน เช่น แผ่นกรองอากาศ เสื้อผ้า สิ่งทอ สุขภัณฑ์ พลาสติก สี พรม ฯลฯ และคาดว่าในอนาคตอันใกล้อาจมีแนวโน้มที่จะมีการขยายตัวมาถึงผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับสถาปัตยกรรม เช่น แผ่นยิปซัม คอนกรีต วัสดุปูพื้น ฉนวนป้องกันความร้อน ฯลฯ ซึ่งจะมีบทบาทมากขึ้น สำหรับการตัดสินใจเลือกใช้วัสดุในงานออกแบบสถาปัตยกรรม [19]

5.8 การใช้พืชพรรณธรรมชาติเพื่อสร้างคุณภาพอากาศในอาคารที่ดี

นอกจากการใช้พืชพรรณธรรมชาติเพื่อช่วยในการสร้างสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารให้ดีแล้ว ยังได้มีการศึกษาถึงแนวทางการนำพืชพรรณธรรมชาติมาใช้ดูดสารพิษในอาคารด้วย จากผลการศึกษาในต่างประเทศ [20] พบว่า การนำต้นไม้หรือพืชพรรณต่าง ๆ มาไว้ในอาคารเพื่อช่วยบรรเทาอาการที่เกิดจากโรคอาคารอึดอัดนั้น ในส่วนของใบ ราก และแบคทีเรียที่อยู่ในดิน จะมีส่วนสำคัญในการลดระดับมลพิษหลายชนิดที่ลอยอยู่ในอากาศ โดยวิธีการศึกษาได้นำเอาพืชที่มีลักษณะเป็นกลุ่มใบไปวางไว้ในบริเวณต่าง ๆ ของสำนักงาน โดยวางต้นไม้ 1 ต้น ต่อพื้นที่ประมาณ 100 ตารางฟุต ใช้ต้นไม้ที่มีใบใหญ่ และวางคละกันหลายชนิด เพื่อช่วยให้ครอบคลุมการดักจับสารพิษต่าง ๆ ได้มากยิ่งขึ้น ผลปรากฏว่า สามารถลดปริมาณฝุ่นลงได้ถึง 20% แต่ส่วนใหญ่จะเป็นพืชพรรณของต่างประเทศ สำหรับพืชพรรณในประเทศไทยนั้น บางชนิดก็มีความสามารถนำมาใช้ในการดูดสารพิษในอาคารได้ เช่น ต้นวาสนา เบญจมาศ เยอบีรา พลูด่าง สาวน้อยประแป้ง เขียวหมื่นปี ยางอินเดีย เศรษฐีเรือนใน เป็นต้น [21]

อย่างไรก็ตาม การใช้ต้นไม้นอกจากจะทำให้ความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอาคารเพิ่มขึ้นแล้ว ยังมีโอกาสในการแพร่พันธุ์ของเชื้อจุลินทรีย์ เชื้อรา ไข่และตัวอ่อนของแมลง หรือเชื้อโรคชนิดอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในดินได้อีกด้วย ผู้ใช้อาคารอาจเกิดอาการข้างเคียงได้ จึงควรระมัดระวังในการเลือกใช้งานด้วยเช่นกัน

5.9 การศึกษามาตรฐานของวัสดุและวิธีการเลือกใช้

การเลือกใช้วัสดุ ถือว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพอากาศในอาคาร ข้อควรคำนึงในการเลือกใช้วัสดุอาจพอแบ่งออกได้ดังนี้ [22]

- ปัญหาเรื่องความชื้นที่แทรกซึมเข้ามาภายในอาคาร นับเป็นปัญหาสำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศในอาคารโดยตรง คือ ทำให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำขึ้นภายในผนังอาคาร ก่อให้เกิดเชื้อรา และเป็นสาเหตุของการเกิดโรคชนิดอื่น ๆ ซึ่งปัญหานี้ส่วนหนึ่งเกิดขึ้นจากความไม่เข้าใจในการเลือกใช้วัสดุ เช่น อาคารที่มีรอยร้าว มีรอยรั่วซึมของอากาศ อาจมีสาเหตุเนื่องมาจากวัสดุมีอายุการใช้งานสั้น ไม่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ใช้วัสดุผิดประเภท เป็นต้น หรืออาจเกิดจากความยากลำบากในการเชื่อมต่อ การติดตั้งวัสดุ และความเรียบร้อยในการก่อสร้างในกรณีที่รูปทรงของอาคารมีความซับซ้อนมากขึ้น ดังนั้น ผู้ออกแบบจึงต้องมีความระมัดระวัง และควรที่จะเข้าใจถึงคุณสมบัติ และวิธีการติดตั้งของวัสดุก่อนที่จะเลือกมาใช้งาน
- การเลือกใช้วัสดุ ควรที่จะคำนึงถึงวิธีการดูแลรักษาด้วย การที่ภายในพื้นที่ห้องเดียวกันมีวัสดุหลายชนิดซึ่งมีวิธีการดูแลรักษาที่แตกต่างกัน เช่น คอนกรีต พื้นหินล้าง พรม และไม้ปาร์เก้ เป็นต้น อาจก่อให้เกิดความยากลำบากในการทำความสะอาด และเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษามากขึ้นด้วย ดังนั้น จึงควรลดประเภทของวัสดุลงตามความจำเป็น หรือจัดกลุ่มของวัสดุให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น
- การเลือกใช้วัสดุปูพื้นบริเวณภายนอกอาคารให้มีลักษณะหยาบและขรุขระ นับว่ามีส่วนสำคัญในการช่วยสร้างคุณภาพอากาศในอาคารที่ดีได้ กล่าวคือ วัสดุปูพื้นเหล่านั้นจะทำหน้าที่เสียดสีและกะเทาะฝุ่นละออง เศษดิน หิน ทราย ฯลฯ ที่ติดมากับรองเท้าของผู้ใช้อาคารให้หลุดออกมาก่อนที่จะเข้าไปในอาคาร สำหรับพื้นที่บริเวณภายในอาคาร หากพิจารณาถึงเรื่องการเลือกใช้วัสดุปูพื้นโดยคำนึงถึงสุขภาพเป็นหลัก ผู้เชี่ยวชาญแนะนำให้ใช้วัสดุที่เป็นไม้ กระเบื้อง หรือวัสดุที่มีผิวหน้าแข็ง เพื่อป้องกันการสะสมของฝุ่นละออง และง่ายต่อการทำความสะอาด

- การเลือกใช้วัสดุที่ดูดซับความชื้นได้มากเป็นพิเศษ เช่น พรม สถานที่ติดตั้งควรเป็นพื้นที่ที่ไม่อยู่ใกล้กับแหล่งน้ำ แหล่งความชื้น หรือพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อการรั่วซึมของน้ำฝน เช่น บ่อน้ำพุ สระว่ายน้ำ บริเวณริมช่องเปิดของอาคาร เป็นต้น
- การเลือกใช้สีทาอาคารที่มีลักษณะปลอดสารพิษ Low-VOCs หรือ Zero-VOCs Paints (ซึ่งในปัจจุบันเริ่มมีจำหน่ายตามท้องตลาดบ้างแล้ว) การเลือกใช้สี หรือสารขัดเงาที่ใช้น้ำเป็นส่วนประกอบหลักในการทำละลาย และไม่มีสารประกอบที่เป็นอันตราย เช่น ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม ฯลฯ ติดไฟที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 61 องศาเซลเซียส ส่วนผสมของสีธรรมดาจะประกอบด้วยสารระเหยอินทรียสารไม่เกิน 420 กรัมต่อลิตร เซลแล็กประกอบด้วยสารระเหยอินทรียสารไม่เกิน 500 กรัมต่อลิตร เป็นต้น ซึ่งการกำหนดมาตรฐานในแต่ละประเทศอาจแตกต่างกันได้

5.10 มาตรฐานและวิธีการติดตั้งที่เหมาะสม

โดยทั่วไปแล้ว วัสดุแต่ละชนิดจะมีการกำหนดมาตรฐานและวิธีการติดตั้งที่เหมาะสมเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากผู้ติดตั้งขาดความใส่ใจ ขอเพียงให้ติดตั้งเสร็จก็ถือว่าทำงานสำเร็จแล้ว จึงทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานวัสดุเหล่านั้นลดลง แม้ว่าในประเทศไทยจะยังไม่มีกระบวนการตรวจสอบที่ชัดเจน แต่ก็คาดหวังว่าในอนาคตอันใกล้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะให้ความสนใจในเรื่องนี้และมีการควบคุมมาตรฐานการทำงานที่ชัดเจนยิ่งขึ้น รายละเอียดของการคำนึงถึงมาตรฐานของวัสดุและวิธีการติดตั้ง เช่น [23]

- ในระหว่างขั้นตอนการก่อสร้างหรือการปรับปรุงอาคาร ผู้ก่อสร้างควรมีวิธีการป้องกันเพื่อไม่ให้ฝุ่นละอองปลิวหรือกระจายไปติดหรือสะสมยังเนื้อวัสดุส่วนอื่น ๆ ที่ติดตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียง ดังนั้น วิธีการจัดลำดับขั้นตอนการติดตั้งเพื่อป้องกันการสะสมสารต่าง ๆ ในเนื้อวัสดุ จึงมีความสำคัญเช่นกัน
- การคำนึงถึงอัตราการแพร่กระจายสารจากวัสดุอาคาร (Material Emission Rates) โดยการเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายจากวัสดุแต่ละชนิด และการคำนึงถึงอัตราการแพร่กระจายโดยรวมของวัสดุทั้งหมด ซึ่งคงจะต้องอาศัยความร่วมมือในการตรวจสอบและให้ความกระจ่างชัดจากผู้ผลิตและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานของพรมที่ปูยึดติดตายตัว จะต้องมีอัตราการแพร่กระจายของสารระเหยอินทรียสารรวมไม่เกิน 0.05 $mg/m^2/hr$ และมีอัตราน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง และมีอัตราการแพร่กระจายของฟอร์มัลดีฮัยด์ไม่เกิน 0.02 $mg/m^2/hr$ และมีอัตราน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไป 72 ชั่วโมง เป็นต้น และก่อนที่จะนำพรม วัสดุ หรือเฟอร์นิเจอร์มาติดตั้งยังพื้นที่ใช้งาน ควรนำออกมาผึ่งไว้ก่อนอย่างน้อย 48 - 72 ชั่วโมง ในที่ที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- พื้นคอนกรีตที่จะทำการติดตั้งพรมนั้น จะต้องมีการระเหยของไอน้ำออกมาไม่เกิน 5 $lb/1000\ ft^2$ เมื่อติดตั้งพรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องจัดให้มีการระบายอากาศโดยวิธีกลในพื้นที่บริเวณนั้นอย่างต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 72 ชั่วโมง

รายละเอียดเหล่านี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของมาตรฐานที่ได้มีการกำหนดไว้ แต่สำหรับในประเทศไทย ทั้งในส่วนของผู้ผลิตหรือผู้ก่อสร้างอาจจะไม่เคยได้รับทราบ หรือทราบแต่ไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานเหล่านี้

5.11 การบริหารจัดการก่อนเริ่มเปิดใช้งานอาคาร

เมื่อการก่อสร้างอาคารเสร็จสิ้น ผู้ใช้อาคารมักจะเข้าไปใช้งานอาคารทันที ถึงแม้ว่าจะมีการทำความสะอาดอาคารแล้วก็ตาม แต่ก็ยังมีสิ่งสกปรกและสารตกค้างที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ฝุ่นละออง ตามท่อระบบปรับอากาศ กลิ่นสี สารระเหยต่าง ๆ เป็นต้น ทำให้เกิดอาการแพ้หรือระคายเคืองขึ้นได้ จึงได้มีการศึกษาถึงแนวความคิดในการจัดการก่อนการเข้าใช้งานอาคารดังนี้

- การอบอาคาร (Building Bake - Outs) [24] คือ กระบวนการเร่งการสลายตัวของ VOCs ก่อนที่จะอนุญาตให้มีการเข้าใช้งานอาคาร โดยอาศัยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิภายในอาคารให้สูงสุดเต็มประสิทธิภาพ (สูงกว่า 37.8 องศาเซลเซียส หรือ 100 องศาฟาเรนไฮต์) การนำอากาศภายนอกในปริมาณมากเข้ามาและระบายออกจากอาคารโดยใช้ระบบเครื่องกล ภายในระยะเวลา 24-48 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม วิธีการนี้ต้องมีการวางแผนและระมัดระวังในการทำงาน อีกทั้งยังไม่ได้มีการพิสูจน์

อย่างแน่ชัดถึงเรื่องของอัตราการสลายตัว หรืออัตราการเพิ่มของ VOCs ภายหลังจากการอบอาคาร ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้การแพร่กระจายของสารเคมีต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งร่างกายมนุษย์จะมีการรับรู้ที่ละเอียดอ่อนมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น นอกจากนี้ ยังอาจส่งผลกระทบต่อวัสดุภายในอื่น ๆ เช่น ระบบฝ้าเพดาน เฟอร์นิเจอร์ ระบบปรับอากาศ เป็นต้น [25]

- นอกจากวิธีการอบอาคารแล้ว ยังได้มีการเสนอให้ใช้วิธี “การชำระด้วยการระบายอากาศ” (Flush-Out Ventilation) เมื่อเริ่มมีการใช้งานอาคาร โดยจะเป็นวิธีการนำอากาศภายนอกเข้ามา (15 – 60 cfm / person โดยเฉลี่ย) และระบายทิ้งออกไปโดยใช้ระบบเครื่องกล โดยไม่นำอากาศที่ระบายออกไปแล้วมาใช้อีก เป็นระยะเวลา 1- 2 สัปดาห์อย่างต่อเนื่องเป็นอย่างต่ำก่อนเริ่มใช้งานอาคาร และระยะเวลาอีก 1 สัปดาห์ ภายหลังจากที่เริ่มได้มีการใช้งานอาคารแล้ว พร้อมกับการบันทึกข้อมูลจากผู้ใช้อาคารควบคู่กันไปเพื่อตรวจสอบสภาพของปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ [26]

5.12 การบริหารจัดการภายหลังเปิดใช้งานอาคาร

เมื่อมีบุคคลจำนวนมากที่มีความคิดหลากหลาย ช่วงอายุและพื้นฐานในการดำเนินชีวิตที่แตกต่างกัน มาใช้งานอาคารร่วมกัน ก็ย่อมที่จะเกิดปัญหาหลายประการตามมาอย่างแน่นอน ดังนั้น วัตถุประสงค์ในการจัดการบริหารอาคารภายหลังที่มีการเปิดใช้งานคงจะเลี่ยงไม่พ้นที่จะเป็นการทำให้กลุ่มบุคคลเหล่านี้สามารถใช้งานร่วมกันได้อย่างเรียบร้อย อาจแบ่งออกได้หลายแนวทาง เช่น [27]

- ควรมีหน่วยงานโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการดูแลเรื่องคุณภาพอากาศภายในอาคาร เพื่อช่วยในการวางแผนการทำงาน การทำความสะอาดพื้นที่ การดูแลรักษาความสะอาดของระบบปรับอากาศ การตรวจสอบ การฝึกอบรม การจัดเก็บ การแยกและทำลายของเสียที่เป็นระบบมาตรฐาน การจัดการระบบน้ำดื่ม ระบบสุขาภิบาล ฯลฯ ไม่ให้เกิดการปนเปื้อนจากสารพิษ เป็นต้น ซึ่งหน่วยงานดังกล่าวควรที่จะทราบข้อมูลทั้งหมดของอาคาร เพื่อที่จะทำการซ่อมแซมและจัดการกับปัญหาได้อย่างทันท่วงที
- การทำความสะอาดอาคารอย่างสม่ำเสมอ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยในการรักษาคุณภาพอากาศในอาคารไม่ให้เลวร้ายลงไปอีก โดยในการทำความสะอาด ควรเลือกช่วงเวลาที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้อาคารให้น้อยที่สุด เช่น ช่วงเช้าก่อนที่จะเปิดใช้อาคาร ช่วงหลังเลิกงาน หรืออาจแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับลักษณะของพฤติกรรมการใช้งานเฉพาะอาคารนั้น ๆ
- การที่ผู้ใช้อาคารเกิดความมักง่ายหรือความหละหลวมในการจัดการระบบบำบัดและระบายน้ำของอาคาร เช่น น้ำทิ้งจากครัว น้ำเสียจากห้องน้ำ น้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศ การทิ้งขยะ ฯลฯ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเชื้อโรค และส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศในอาคารโดยตรง จำเป็นที่จะต้องจัดให้มีระบบการดูแลรักษาและการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ
- หากมีการปรับเปลี่ยนการใช้งานพื้นที่ เช่น การแบ่งหรือกั้นห้องเพิ่ม การย้ายตำแหน่งเฟอร์นิเจอร์ การจัดพื้นที่ทำงานใหม่ ฯลฯ อาจส่งผลให้ลักษณะการไหลเวียนและระบายอากาศเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งอาจทำให้คุณภาพอากาศภายในห้องดีขึ้นหรือแย่ลงได้ทั้งสองประการ ดังนั้น จึงควรที่จะมีการปรึกษาหารือกับสถาปนิกหรือผู้ที่วางแผนเรื่องระบบปรับอากาศ ก่อนที่จะมีการปรับเปลี่ยนการใช้พื้นที่
- การจัดตารางเวลาการใช้งาน (Scheduling) นับเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้เกิดความสะดวกในการบริหารงาน หากมีผู้ใช้งานในพื้นที่นั้น ๆ เป็นจำนวนมากในเวลาต่างกัน และยังให้ความยืดหยุ่นมากขึ้นสำหรับการจัดระบบดูแลรักษาอาคาร

5.13 การเผยแพร่ข้อมูลและให้ความรู้แก่ผู้ใช้อาคาร

การที่จะมีคุณภาพอากาศในอาคารที่ดี คงจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับสถาปนิก ผู้ก่อสร้าง หรือผู้ใช้อาคาร ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งเพียงฝ่ายเดียว แต่จะต้องอาศัยความรับผิดชอบและความร่วมมือของทุกฝ่าย โดยที่ ฝ่ายบริหารอาคารควรที่จะวางแผนเพื่อให้ความรู้และสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องร่วมกันระหว่างผู้ใช้และผู้บริหารอาคาร ไม่ว่าจะโดยวิธีการจัดทำคู่มือการใช้งานอาคาร การดูแลรักษาอาคาร การร้องเรียนเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติ การจัดอบรมประจำปี เป็นต้น และ

ทางผู้ใช้อาคารเองก็ควรที่จะให้ความร่วมมือในการปฏิบัติตามแนวทางที่ทางฝ่ายบริหารกำหนดไว้ เพื่อให้เกิดความเรียบร้อยในการใช้งานมากที่สุด

5.14 การติดตั้งระบบตรวจวัดและรายงานระดับคุณภาพอากาศในอาคาร

นอกจากการตรวจสอบโดยการใช้บุคลากรของอาคารนั้น ๆ แล้ว การใช้เทคโนโลยีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สำคัญที่เริ่มนิยมมากขึ้น คือ การใช้หัวรับ-ส่งสัญญาณ (sensor) ติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพอากาศในอาคารอยู่เสมอ เช่น บริเวณโถงทางเข้า หรือบริเวณที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก เป็นต้น เมื่อระดับคุณภาพอากาศในอาคารมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน ระบบก็จะส่งสัญญาณเตือนไปยังแผงควบคุมแจ้งให้ผู้ควบคุมทราบ เพื่อที่จะดำเนินการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป นอกจากช่วยประหยัดเวลาในการตรวจสอบสำหรับอาคารที่มีพื้นที่มาก ๆ แล้ว ยังทำให้มีบันทึกข้อมูลย้อนหลังเพื่อทำการวิเคราะห์และตรวจสอบได้อย่างเป็นระบบอีกด้วย ระบบนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการบริหารอาคาร (Building Management System: BMS)

5.15 การประเมินผลภายหลังการใช้งานอาคาร

เมื่อออกแบบและก่อสร้างอาคารเสร็จสิ้นแล้ว สถาปนิกโดยส่วนใหญ่อาจจะถือว่าจบหน้าที่ความรับผิดชอบของตน ไม่เคยคิดที่จะย้อนกลับไปถามยังผู้ใช้อาคารว่าแนวความคิดที่ตนได้นำเสนอลงไปในอาคารหรือกำหนดให้ผู้ใช้อาคารต้องดำเนินพฤติกรรมไปอย่างที่ตนเองคิดนั้น สามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างแท้จริงหรือไม่ หรือในบางกรณี อาจมีปัญหาอย่างอื่นที่สถาปนิกไม่ได้คาดคิดเกิดขึ้นมาก็ย่อมเป็นไปได้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถได้มาจากการเก็บบันทึกข้อมูล คำร้องเรียน ข้อเสนอแนะจากผู้ใช้อาคาร การตรวจสอบและตรวจวัดผล ซึ่งเมื่อสถาปนิกได้รับทราบข้อมูลที่เป็นประโยชน์เหล่านี้แล้ว น่าจะส่งผลดีต่อสถาปนิกที่จะช่วยให้เกิดการพัฒนากระบวนการทำงานมากยิ่งขึ้น หากสถาปนิกไม่สามารถยอมรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ก็ย่อมทำให้ความผิดพลาดนั้น ๆ เกิดซ้ำแล้วซ้ำเล่าจนอาจทำให้วิชาชีพสถาปัตยกรรมตกต่ำ ไม่เป็นที่น่าเชื่อถือและยอมรับในสังคม ดังเช่นที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

6. บทสรุป

รายละเอียดของเนื้อหาที่กล่าวมาข้างต้น เป็นเพียงส่วนหนึ่งของเนื้อหาอันหลากหลาย แต่อาจพอที่จะกระตุ้นให้ผู้อ่านทราบได้ว่า เรื่องคุณภาพอากาศในอาคารเป็นรากฐานหนึ่งที่สำคัญของกระบวนการออกแบบทางสถาปัตยกรรม เนื่องจากเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับคุณภาพชีวิตและสุขภาพของผู้ใช้อาคาร แต่กลับไม่มีผู้ให้ความสำคัญเท่าไรนัก พอที่จะสรุปประเด็นปัญหาหลักและตั้งเป็นสมมติฐานได้ดังนี้

- *ผู้ออกแบบไม่เคยมีความรู้ทางด้านนี้มาก่อน หรือมีความรู้แต่ไม่ใส่ใจที่จะนำความรู้มาใช้*
- *ในระบบการศึกษาทางด้านสถาปัตยกรรม ไม่ได้ส่งเสริมให้มีการเรียนการสอนเกี่ยวกับเรื่องคุณภาพอากาศในอาคารอย่างจริงจัง โดยส่วนใหญ่อาจมุ่งเน้นไปที่การสร้างรูปทรง การจัดองค์ประกอบด้านสุนทรียศาสตร์ ฯลฯ*
- *กระแสสังคมและความตื่นตัวได้มุ่งเน้นไปในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงาน การค้นหาเอกลักษณ์ของสถาปัตยกรรมไทย ความแปลกใหม่ของรูปทรงสถาปัตยกรรมหรือที่เรียกกันว่าสถาปัตยกรรมเชิงทดลอง (experimental architecture) รวมถึงการจัดการประกวดแบบทางสถาปัตยกรรมที่เน้นแนวความคิดแปลกใหม่และอื่น ๆ จึงยิ่งทำให้ไม่มีผู้เห็นความสำคัญของเรื่องคุณภาพอากาศในอาคาร*
- *กระบวนการเผยแพร่ข้อมูลและมาตรฐานการทำงานตลอดจนการตรวจสอบ ประเมินคุณภาพอากาศในอาคาร และการกำหนดบทลงโทษ ยังไม่ได้มีการปฏิบัติอย่างเคร่งครัดและจริงจัง*
- *ผลกระทบรุนแรงที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้อาคาร เช่น โรคมะเร็งจะต้องใช้ช่วงระยะนานถึงจะแสดงอาการของโรค และไม่คาดคิดว่าเป็นผลที่เกิดจากการอยู่อาศัยในอาคาร จึงไม่มีผู้ให้ความสำคัญอีกเช่นกัน*

ในช่วงต้น แม้อาจเป็นเรื่องที่ยากต่อการทำความเข้าใจอยู่บ้าง และหลายท่านอาจปฏิเสธที่จะรับรู้เรื่องราวเหล่านี้ แต่เมื่อประเทศไทยจำเป็นต้องเข้าสู่การแข่งขันในระดับนานาชาติ จะทำให้สถาปนิกไทยไม่สามารถหลีกเลี่ยงสิ่งเหล่านี้ได้เลย สำหรับบทความนี้ อาจสรุปแนวทางในการ

แก้ปัญหาและสร้างสรรค์เพื่อเข้าสู่สถานะของการเป็นสถาปัตยกรรมสุขภาพดี ได้ดังนี้

ประเด็นที่ 1 *ระบบการศึกษา สถาปนิก และกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรม*

ระบบการศึกษา ควรที่จะมีการวางแผนการศึกษาให้สถาปนิกมีความรู้ในหลาย ๆ ด้านไปพร้อมกันเพื่อที่จะเป็นการเปิดให้เห็นมุมมองที่กว้างขึ้น ไม่ยึดติดอยู่กับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง อีกทั้ง เมื่อความรู้มีปริมาณและความซับซ้อนมากขึ้นและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ทำให้กระบวนการทำงานของสถาปนิกต้องมีความชัดเจนและไม่สามารถที่จะ "เดา" ได้ [28] ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการทำงานทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วย อีกทั้ง สถาปนิกต้องเรียนรู้ที่จะทำงานร่วมกับบุคลากรในสาขาวิชาชีพอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้แล้ว สถาปนิกจะต้องรู้จัก "คิด" ให้มากขึ้น ติดตามความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และรู้จักการนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาร่วมกันในการออกแบบสถาปัตยกรรมอยู่เสมอ ซึ่งก็คือการบูรณาการทางการออกแบบสถาปัตยกรรม [29]

ประเด็นที่ 2 *การศึกษา การกำหนด และการเผยแพร่ข้อมูลมาตรฐานการออกแบบ*

ในเบื้องต้น สถาปนิกคงต้องทำความเข้าใจร่วมกันก่อนว่า มาตรฐานหรือแนวทางที่ใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ "ต้อง" ทราบ และ "ควร" ทราบ มีอะไรบ้าง สถาปนิกจะมาอ้างว่าสิ่งนี้ ข้อมูลเหล่านี้ไม่เคยทราบมาก่อนคงเป็นไปไม่ได้ เพราะในปัจจุบันเจ้าของอาคาร ผู้บริหาร นักลงทุน ล้วนแล้วแต่มีความรู้เท่าเทียมหรืออาจก้าวหน้ามากกว่าสถาปนิกเสียด้วยซ้ำ เมื่อเป็นดังนี้ สถาปนิกจะต้องหมั่นศึกษา แสวงหาข้อมูลอยู่เสมอ ตลอดจนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะต้องมีการประกาศ ชี้แจงข้อมูลให้ละเอียดและทั่วถึง นอกเหนือจากนี้แล้ว ยังมีความเกี่ยวข้องกับเรื่องอื่นๆ อีก เช่น การศึกษาและเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ ควรที่จะต้องมีการศึกษา ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเพื่อต้องการบทพิสูจน์ที่เป็นจริง แน่ชัด ทั้งจากหน่วยงานของผู้ผลิตและผู้ตรวจสอบ ก่อนที่จะอนุญาตให้มีการนำมาจำหน่ายตามท้องตลาด เพราะประเทศไทยคงไม่ใช่ประเทศที่ขายวัสดุ "ตกรุ่น" หรือวัสดุ "ขยะ" จากประเทศอื่น ๆ ซึ่งอาจจะต้องให้สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก.) เข้ามามีส่วนร่วมในการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานของวัสดุ

ประเด็นที่ 3 *การบริหารและการจัดการอาคาร*

แม้ว่าอาคารจะได้รับการออกแบบมาอย่างดีเยี่ยมเพียงใด แต่หากไม่ได้รับการดูแลรักษาที่ดีก็คงไม่สามารถที่จะรักษาสถานะที่ดีของอาคารไว้ได้ องค์ประกอบหลักที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วย เจ้าของอาคาร หรือผู้ที่มีอำนาจในการผลักดันหรือตัดสินใจดำเนินโครงการ ควรที่จะต้องมีความเข้าใจพื้นฐาน เปิดรับวิสัยทัศน์ด้านอื่น ๆ บ้าง นอกจากเรื่องของการตลาด การเงิน และผลกำไร ส่วนฝ่ายบริหารอาคาร หากเป็นผู้ที่มีความรู้พื้นฐานทางด้านสถาปัตยกรรมควบคู่กันไปกับเรื่องการบริหารจัดการก็นับว่าเป็นเรื่องดี ซึ่งจะทำให้การบริหารอาคารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งในปัจจุบัน บุคลากรเหล่านี้มีอยู่บ้าง แต่ขาดโอกาสที่จะได้เข้าไปปฏิบัติงานในส่วนนี้ สำหรับผู้ใช้อาคารเอง ก็คงต้องให้ความร่วมมือในการดำเนินงานตามนโยบายด้วยเช่นกัน อย่าเผลอเรอหรือมักง่าย เพราะหากขาดความเข้าใจจากฝ่ายหนึ่งฝ่ายใด การปฏิบัติงานจะไม่สามารถสำเร็จอย่างลุล่วงได้

ประเด็นที่ 4 *การตรวจสอบและประเมินผลการใช้งานอาคาร*

เมื่ออาคารได้มีการใช้งานไปแล้ว ก็ควรที่จะมีการตรวจสอบว่า อาคารเหล่านั้นมีประสิทธิภาพในการใช้งานมากน้อยเพียงใด มิใช่ว่าก่อสร้างเรียบร้อยแล้ว ก็แล้วกันไป เพราะในบางกรณี สถาปนิกก็พยายามยัดเยียดความต้องการของตนเองเข้าไปอยู่ในงาน ส่วนการใช้งานจะดีหรือไม่ดี เหมาะสม หรือไม่เหมาะสม ผู้ใช้อาคารจะเดือดร้อนอย่างไรนั้น ก็ไม่ใส่ใจ ไม่เคยมีการเข้ามาตรวจสอบเลย ต้องรอให้เกิดเหตุการณ์เลวร้ายขึ้นก่อนถึงจะมีการออกกฎเกณฑ์ขึ้นมาบังคับใช้ เข้าทำนอง "วัวหายล้อมคอก" อย่างที่เป็นอยู่ในหลาย ๆ โครงการในปัจจุบัน ในกระบวนการตรวจสอบควรที่จะมีการตรวจสอบในหลาย ๆ ปัจจัยร่วมกัน ไม่ใช่มุ่งไปที่ประเด็นใดประเด็นหนึ่งเท่านั้น หากฝ่ายบริหารอาคารไม่สามารถที่จะทำการประเมินอาคารได้ อาจจำเป็นที่จะต้องมีการจัดตั้งหน่วยงานกลางในการตรวจสอบ เช่น สภาสถาปนิก หรือสมาคมสถาปนิกสยามฯ มาช่วยในการสร้างมาตรฐานการตรวจสอบและประเมินอาคาร

หากสามารถปฏิบัติได้ตามแนวทางที่กล่าวมา การเข้าสู่สถานะของ "สถาปัตยกรรมสุขภาพดี" คงไม่ใช่เรื่องยาก ไม่ใช่เพื่อประโยชน์ของใครคนใดคนหนึ่ง แต่เพื่อประโยชน์ของส่วนรวม เพราะชีวิตและสุขภาพไม่สามารถซื้อได้ด้วยเงิน สถาปนิกคงต้องเอื้อ และอาทร คุณภาพชีวิตที่ดีคืนให้แก่สังคมบ้าง ...มิใช่หรือ?

รายการอ้างอิง (References)

[1] หากพิจารณาตาม U.S. Environmental Protection Agency และ National Institute of Occupational Safety and Health ได้กำหนดนิยามของคุณภาพอากาศในอาคารที่ดี (good indoor air quality) ไว้ดังนี้ คือ

a) introduction and distribution of adequate ventilation air;

b) control of airborne contaminants; and

c) maintenance of acceptable temperature and relative humidity.

อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน Bernheim, Anthony. Chapter 13 - Indoor Air Quality. Sustainable Building Technical Manual. New York: Public Technology Inc., 1996.

[2] หากพิจารณาตาม ASHRAE ได้กำหนดนิยามของคุณภาพอากาศในอาคารไว้ดังนี้ "Air in which there are no known contaminants at harmful concentrations as determined by cognizant authorities and with which a substantial majority (80 percent or more) of the people exposed do not express dissatisfaction" ASHRAE. Standard 62 – 1989, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality" Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, 1989.

[3] (1) Watson, Donald Crosbie, J. Michael and Callender H. John. Time-Saver Standards for Architectural Design Data. 7th edition, New York: McGraw-Hill, 1997.

(2) Lee, G. Tang. Health and The Built Environment: Indoor Air Quality. Calgary: The University of Calgary. 1996.

(3) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรมควบคุมมลพิษ. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2545. กรุงเทพฯ, 2546.

[4] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมของแหล่งกำเนิดและผลกระทบที่เกิดขึ้นของสารแต่ละชนิดได้จาก

(1) California Department of Health and Services. Reducing Occupant Exposure to Volatile Organic Compound (VOCs) from Office Building Construction Materials: Non-Binding Guidelines. pp. E1-E14.

(2) Samet M., Jonathan. And Spengler, D. John. Indoor Air Pollution: A Health Perspective. London: The John Hopkins University Press: 1991.

(3) O'Reilly T., James, Hagan, Philip, Gots, Ronald, and Hedge, Alan. Keeping Buildings Healthy: How to Monitor and Prevent Indoor Environmental Problems. New York: John Wiley & Sons: 1998.

(4) Luoma, M. and Batterman, S. A., (2001), "Characterization of Particulate Emissions from Occupant Activities inoffices", Indoor Air, 11(1): 35.

[5] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) Stitt, A. Fred. Ecological Design Handbook: Sustainable Strategies for Architecture, Landscape Architecture, Interior Architecture, and Planning. New York: McGraw-Hill, 1999. pp. 277 – 301.

(2) Kreider F., Jan, Curtiss S., Peter, and Rabl, Ari. Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill, 2002. pp. 158 – 185.

(3) Gammage B., Richard and Berven A., Barry. Indoor Air and Human Health. 2nd edition. New York: Lewis Publishers: 1996.

(4) Humfrey, Charles, huker, Linda, and Harrison, Paul. IEH Assessment on Indoor Air Quality in The Home: Nitrogen Dioxide, Formaldehyde, Volatile Organic Compounds, House Dust Mites, Fungi and Bacteria. Leicester: Page Bros., 1996.

[6] ปริมาณการได้รับสารพิษนอกจากจะเกิดจากการสัมผัสแล้ว ยังสามารถเกิดขึ้นได้จากปริมาณอากาศที่ร่างกายสูดเข้าไป โดยที่ ผู้ชายสูดอากาศประมาณ 10 กิโลกรัมต่อวัน ผู้หญิงสูดอากาศประมาณ 7.7 กิโลกรัมต่อวัน เด็กสูดอากาศประมาณ 3.6 - 10 กิโลกรัมต่อวัน (ขึ้นอยู่กับช่วงอายุและกิจกรรม)

[7] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) Meixner, Toni. The Air You Breathe: Sick Building Syndrome and Building Related Illness. http://www.all-natural.com

(2) Bower, John and Lynn. The Unhealthy House: Understanding why your home may be making you sick. http://www.hhist.com.

(3) Sick Building Syndrome: Cause, Effects and Control. http://www.lhc.org.uk

(4) Sick Building Syndrome. http://www.nsc.org

[8] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) Kansas Department of Health & Environment. Building Related Illness: Health Education Facts. http://www.kdhe.state.ks.us

(2) Solomon B., Nancy. Here's the Dirt on Green Housekeeping, Architectural Record. 05 2001

[9] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) Multiple Chemical Sensitivity Syndrome. http://www.mcsrr.org

(2) Magill K., Micheal and Saruda, Anthony. Multiple Chemical Sensitivity Syndrome. The American Academy of Family Physicians, 1998. http://www.aafp.org

[10] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. วิวัฒนาสถาปัตย์: เครื่องมือยุคใหม่ในกระบวนการออกแบบเชิงอนุรักษ์พลังงาน. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม ฉบับที่ 1. 2002. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2545. หน้า 65 – 90.

[11] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) Hellevang, J. Kenneth. Indoor Air Quality. http://www.asthma-allergy.com

(2) Department of Health and Aging. Healthy Homes: A Guide to Indoor Air Quality in The Home for Buyers, Builders and Renovators. Canberra: Commonwealth of Australia, 2002.

[12] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) Iowa State University of Science and Technology. Carbon Monoxide Poisioning. http://www.abe.iastate.edu

(2) Yost, Nathan. Frequently Asked Questions about Mold. Washington: National Association of Realtors, 2001

(3) Hickory Consortium. “Why we are concerned about indoor air quality?” http://www.hickoryconsortium.org

(4) Pencille, Douglas. Mold in Your Home. http://www.dspinspections.com

[13] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมใน

(1) Bower, John. Tight Houses: A Healthy Idea. http://www.hhinst.com

(2) Wastchak, R. Daran. Thinking of The “House as a System”. http://www.drwastchak.com

(3) Tsongas, George, Building Tightness Guidelines: When Is a House Too Tight?. http://www.hem.dis.anl.gov

(4) Cooperative Extension Service, The University of Georgia. House Tightness, Environmental Control and Energy Usage. Poultry Housing Tips. Vol. 11 No. 10, Novermber 1999.

[14] ดูอ้างอิง [8], (2).

[15] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536.

(2) ดูอ้างอิง [5]. (2)

[16] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 หมวด 7 ข้อ 64 – 68.

(2) ASHRAE. Standard 62 – 1989, “Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality” Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, 1989.

[17] ดูอ้างอิง [5]. (2)

[18] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน เกชา ธีระโกเมน และคณะ. ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมงานระบบ. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2539.

[19] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก http://www.microban.com

[20] เป็นการศึกษาโดยองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NASA) ในการศึกษา ได้มุ่งเน้นการศึกษาเพื่อลดปริมาณสาร Formaldehyde, Benzene และ Trichloroethylene ซึ่งเป็นสารที่พบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวัน ผลการทดสอบโดยสังเขปมีดังนี้ ต้นไม้ที่ช่วยดูดสาร Formaldehyde ได้ดี เช่น Azalea, Spider plant, Golden pothos, Bamboo palm ต้นไม้ที่ช่วยดูดสาร Benzene ได้ดี เช่น English ivy, Marginata, Peace lily, Gebera daisy, Warneckei และต้นไม้ที่ช่วยดูดสาร Trichloroethylene ได้ดี เช่น Gebera daisy, Peace lily Warneckei, นอกจากนี้ สามารถอ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก

(1) Peart, Virginia. Indoor Air Quality in Florida: Houseplants to Fight Pollution. http://www.edis.ifas.ufk.edu

(2) Using Plants to Clean Indoor Air Pollutants. http://www.colormegreenco.com

(3) http://www.nasa.gov

[21] เรียบเรียงข้อมูลจากรายการชีวิตธรรมชาติ ออกอากาศทางสถานีวิทยุ FM. 92 MHz. เมื่อวันที่ 15 มิ.ย. 2546 เวลา14.00น.

[22] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) The Collaborative for High Performance Schools. CHPS Best Practices Manual 2002. 2002

(2) ดูอ้างอิง [4]. (1)

[23] Environmental Choice Program. http://www.environmentalchoice.com

[24] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) United States Environmental Protection Agency. Design Tools for Schools: Portable Classrooms. http://www.epa.gov

(2) Corporate Energy Systems Group. Is Your Construction or Renovation Project Flunking Important Indoor Air QualityTests?. http://www.cec-consultants.com

(3) Carter and Burgess Industry. High Technology Solutions. http://www.c-b.com

[25] ทั้งนี้เนื่องมาจาก อัตราการแพร่กระจายจะแปรผันตามความดันไอ (Vapor Pressure) และความดันไอจะแปรผันตามอุณหภูมิ ดังนั้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการแพร่กระจายก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก Cornell University. Ambient Environment: Volatile Organics and Other Contaminants. http://www.ergo.human.cornell.edu

[26] ดูอ้างอิง [23]

[27] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) Spedding, Alan (Editor). CIOB Handbook of Facility Management. Longman Scientific & Technical,1994. pp.181-195.

(2) United States Environmental Protection Agency and the United States Consumer Product Safety Commission Office of Radiation and Indoor Air. The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality. http://www.epa.gov

(3) United States Environmental Protection Agency and the United States Consumer Product Safety Commission Office of Radiation and Indoor Air. An Office Building Occupant's Guide to Indoor Air Quality. http://www.epa.gov

(4) United States Environmental Protection Agency and United States Department of Health and Human Services. Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Facility Managers. Washington: U.S. Government Printing Office, 1991.

[28] อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

(1) วิมลสิทธิ์ หรยางกูร. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่อง "การพินิจพิเคราะห์กระบวนการสถาปัตยกรรม: จากอดีต สู่ปัจจุบัน และอนาคต" เสนอในการสัมมนาเรื่อง สถาปัตยกรรมอดีต ปัจจุบัน และอนาคต จัดโดยสำนักศิลปกรรมราชบัณฑิตยสถาน วันที่ 25 เม.ย. 2546

(2) วิมลสิทธิ์ หรยางกูร. จะให้อะไรกับสังคมไทย วาระแห่งชาติจากมุมมองของนักสร้างสรรค์. อาษา 09: 43, 2000, หน้า 84 - 90.

[29] อ่านรายละเอียดกรณีศึกษาของกระบวนการและแนวทางการออกแบบเชิงบูรณาการได้ใน

(1) สุนทร บุญญาธิการ. เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

(2) สุนทร บุญญาธิการ. การออกแบบประสานระบบ: มหาวิทยาลัยชินวัตร. กรุงเทพฯ: จีเอ็ม แม็ก มีเดีย, 2545.

ที่มาของรูปประกอบ (Figure Credits)

รูปที่ 1 ดัดแปลงจาก Watson, Donald Crosbie, J. Michael and Callender H. John. Time-Saver Standards for Architecturalดesign Data. 7th edition, New York: McGraw-Hill, 1997.

รูปที่ 2 เอกสารประกอบการขายเครื่องมือวัดทางด้านอุตสาหกรรม พลังงาน สิ่งแวดล้อม และความปลอดภัย ปี 2003 - 2004 ของบริษัทเอ็นเทค แอสโซซิเอท จำกัด

รูปที่ 5 - 6 Solomon B., Nancy. Here's the Dirt on Green Housekeeping, Architectural Record. 05 2001.

ที่มาของตาราง (Table Credits)

ตารางที่ 1 Watson, Donald Crosbie, J. Michael and Callender H. John. Time-Saver Standards for Architectural Design Data. 7th edition, New York: McGraw-Hill, 1997.

ตารางที่ 2 วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2536.

ตารางที่ 3 ดัดแปลงจาก ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544 หมวด 7 ข้อ 64 – 68. และ ASHRAE. Standard 62 – 1989, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality" Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, 1989.

ตารางที่ 4 - 5 Kreider F., Jan, Curtiss S., Peter, and Rabl, Ari. Heating and Cooling of Buildings: Design for Efficiency. 2nd Edition. New York: McGraw-Hill, 2002.