Vertical Garden : พื้นที่สีเขียวแห่งอนาคตของเมือง

อ.ดร. เสาวนีย์ วิจิตรโกสุม*

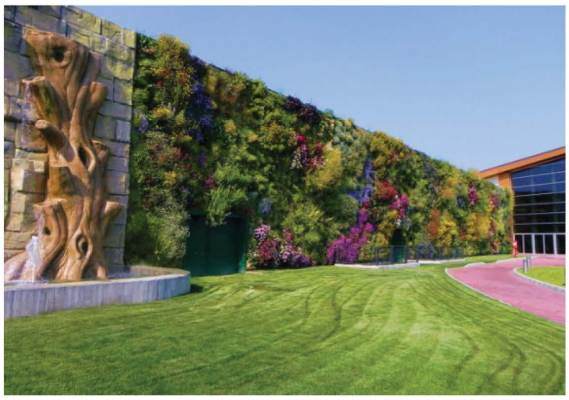
การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในรูปแบบสวนในแนวตั้ง (Vertical Garden) เป็นแนวคิดของการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่เมืองในอนาคต ซึ่งถึงแม้ว่าแนวความคิดดังกล่าวจะไม่ใช่เรื่องใหม่ เช่นเดียวกับแนวคิดเมืองนิเวศน์ (Eco City) แต่สิ่งที่น่าสนใจคือพัฒนาการของการสร้างพื้นที่สีเขียว ทั้งรูปแบบและลักษณะของพื้นที่สีเขียวแนวตั้งที่มีการผสมผสานกันทั้งความสวยงามของโครงสร้าง รูปแบบและลวดลายของการออกแบบสวน และสิ่งที่สำคัญ คือ สวนแนวตั้งเปรียบเสมือนเครื่องฟอกอากาศในการเป็นสิ่งที่ช่วยในการดูดซับมลสารต่าง ๆ ในอากาศในพื้นที่เมืองที่เต็มไปด้วยกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศเกิดขึ้น รวมไปถึงการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง และยังเป็นการเพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพให้แก่เมือง

*สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทนำ

เมืองในหลาย ๆ ประเทศที่มีปัญหามลภาวะทางอากาศได้นำแนวคิดสวนแนวตั้งไปใช้เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองที่หาพื้นที่โล่งว่างเพื่อเป็นพื้นที่สีเขียวได้ยาก หรือไม่สามารถหาพื้นที่สีเขียวในแนวราบได้ เนื่องจากราคาที่ดิน การใช้ประโยชน์ที่ดินของเมืองที่แออัดจนไม่เหลือพื้นที่โล่งเพื่อสาธารณประโยชน์ ดังเช่นที่เห็นในเม็กซิโก ซิตี้ กรุงลอนดอน เมืองชิคาโก เป็นต้น

สวนแนวตั้ง สามารถสร้างได้ทั้งภายนอกพื้นที่อาคาร (Outdoor) และภายในพื้นที่อาคาร (Indoor) ซึ่งมีทั้งแบบพื้นฐานและการปรับปรุงพัฒนาจนเกิดเป็นแนวคิดใหม่และนวัตกรรมใหม่เกิดขึ้น เพื่อมุ่งหวังในการช่วยแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมเมือง เพื่อสภาพแวดล้อมที่ดีและคุณภาพชีวิตที่ดีของคนเมือง



ห้างสรรพสินค้า Rozanno's shopping center ในเมือง Rozanno ประเทศอิตาลี
สวนแนวตั้งที่ใหญ่ที่สุดในโลก ประกอบด้วยพืชกว่า 44,000 ต้น ปลูกบนผนังอาคาร 1,263 ตารางเมตร
ที่มา : http://www.odditycentral.com/pics/worlds-largest-vertical-garden-grows-on-italian-shopping-center.html

ความเป็นมาของแนวคิด Vertical Garden

Patrick Blanc นักพฤกษศาสตร์ชาวฝรั่งเศส เจ้าของฉายา "พ่อมดวิเศษ" ได้เขียนหนังสือชื่อ The Vertical Garden ภายใต้แนวความคิดว่า "การเขยิบเข้าใกล้ชิดธรรมชาติและการเปิดใจทำความรู้จักกับนิเวศน์ของต้นไม้ภายใต้สถานการณ์ที่โลกกำลังร้อนฉ่านี่แหละ อาจจะเป็นทางเลือกทางรอดของมนุษย์"

Patrick มีความเชี่ยวชาญเรื่องต้นไม้ในเขตร้อน และให้ความสนใจพืชพรรณเมืองร้อน เช่น พวกเฟิร์น และมอส ที่ขึ้นปกคลุมหินบริเวณที่สูงชันที่พบในประเทศมาเลเซียและประเทศไทย จากการที่ได้ศึกษาพันธุ์ไม้ในประเทศมาเลเซียกว่า 2,000 ชนิด พบว่า พันธุ์ไม้เหล่านั้นไม่จำเป็นต้องใช้ดินในการเจริญเติบโต โดยพืชเหล่านั้นมีความต้องการเพียงสารอาหารที่สำคัญและพื้นที่ยึดเกาะเท่านั้นก็สามารถเจริญเติบโตงอกงามได้ ทั้งนี้ หากไม่มีน้ำหรือสารอาหารที่เพียงพอต่อความต้องการของพืช พืชเหล่านั้นจะเริ่มใช้รากซอนไซเข้าไปในพื้นที่ที่ยึดเกาะ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อพื้นที่ยึดเกาะได้ในกรณีที่เป็นอาคารสิ่งก่อสร้าง โดยปรากฏให้เห็นได้จากภายในโบสถ์เก่าและโบราณสถานต่าง ๆ เช่น นครวัด ปราสาทหิน เป็นต้น แต่ในทางกลับกันหากมีอาหารเพียงพอ ต้นไม้จะสามารถขยายรากและเกาะเพียงที่ผิวของพื้นที่หรือวัสดุที่ตนเองยึดเกาะเท่านั้น จากความรู้ดังกล่าว Patrick จึงได้ทดลองปลูกพืชเหล่านี้ในแนวตั้งเพื่อเลียนแบบทัศนียภาพที่เคยเห็น โดยได้ลองผิดลองถูกเรื่องการให้น้ำอยู่หลายครั้ง จนในที่สุดก็สามารถปลูกกำแพงพืชสีเขียวได้เป็นผลสำเร็จ

Patrick เป็นหนึ่งในทีมนักวิจัยของศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติที่นำเอาเทคนิคสวนแนวตั้ง (Vertical Garden) มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างพื้นที่สีเขียวให้เกิดขึ้นใหม่กลางใจเมือง โดยเป็นการผสมผสานศาสตร์ทางด้านนิเวศวิทยากับศาสตร์ทางสถาปัตยกรรม ผลงานที่โดดเด่น ได้แก่ พิพิธภัณฑ์อุตสาหกรรมวิทยาศาสตร์ปารีส (ค.ศ.1988) กำแพงมหัศจรรย์สีเขียวให้ปกคลุมขึ้นได้ทั้งภายนอกและภายในร้าน Trussardi Cafe ซึ่งเป็นบูติคคาเฟ่ระดับบน กลางกรุงมิลาน กำแพงพืชแนวตั้งขนาด 800 ตารางเมตร ที่พิพิธภัณฑ์ Quai du Branly กรุงปารีส และผลงานสวนแนวตั้งในศูนย์การค้าสยามพารากอน ศูนย์การค้าดิ เอม โพเรียมที่กรุงเทพมหานคร (รูปภาพที่ 1)

พิพิธภัณฑ์ Quai du Branly ในกรุงปารีส

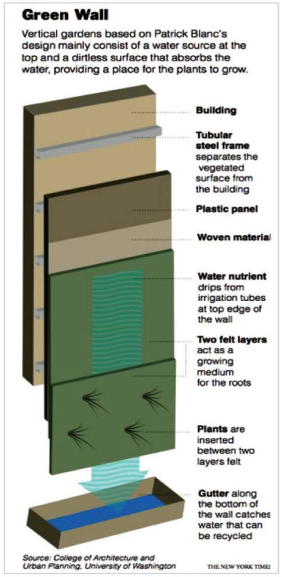
กำแพงบริเวณอุโมงค์ใต้สะพานในเมืองบาเซโลนา

Caixa Forum ในกรุงมาดริด

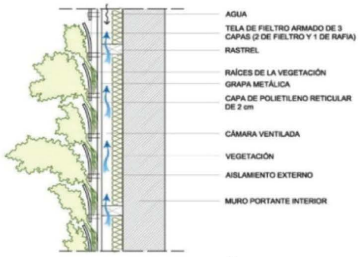
ศูนย์การค้าสยามพารากอน กรุงเทพมหานคร

รูปภาพที่ 1 ผลงานสวนแนวตั้งของ Patrick Blanc
ที่มา : http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/

สวนแนวตั้งของ Patrick ถูกตั้งชื่อว่า “le mur vegetal” หรือ “Vegetal Wall” โดยลักษณะของสวนและการปลูกพืชต้องไม่มีการใช้ดินเลย การทำสวนแนวตั้งประกอบไปด้วยวัสดุ 3 อย่าง คือ โครงเหล็ก ชั้นพีวีซี และแผ่น felt ซึ่งโครงเหล็กจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างที่รับน้ำหนักทั้งหมดของสวนโดยจะติดตั้งกับผนังอาคารหรือจะติดตั้งลอยตัว นอกจากนั้น โครงเหล็กจะทำหน้าที่ช่วยระบายอากาศและควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้นไปด้วยในตัว แผ่นพีวีซีชนิดพิเศษ จะถูกนำมายึดติดกับโครงเหล็กเพื่อเป็นชั้นกันน้ำ และช่วยยึดโครงเหล็กทั้งหมดเข้าด้วยกันให้แน่นหนายิ่งขึ้น ส่วนแผ่น felt ที่ทำด้วยวัสดุ polyamide ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ผุกร่อนย่อยสลาย แต่สามารถให้น้ำซึมผ่านได้อย่างดี แผ่น felt จะถูกซ้อนทับกันเพื่อให้มีความหนาพอที่จะฝังรากพืชและให้รากพืชเกาะได้ (รูปภาพที่ 2)



แผ่น Felt



ลักษณะการให้น้ำ

รูปภาพที่ 2 โครงสร้าง วัสดุ และการให้น้ำของการทำสวนแนวตั้ง

บริเวณด้านหลังโครงเหล็กจะทำเป็นกล่องเพื่อซ่อนระบบไฮโดรโพนิกส์ (Hydroponics) และเพื่อปกป้องโครงสร้างของกำแพงตึกจากรากพืชอีกทางหนึ่งด้วย เมื่อได้วัสดุยึดเกาะแล้ว จากนั้นจึงฝังรากต้นไม้ลงไปในแผ่น felt เพื่อให้การเจริญเติบโตของพืชเป็นไปตามหลักการของเทคโนโลยีไฮโดรโพนิกส์ ขั้นตอนต่อมา คือ การจัดระบบการให้น้ำที่มีสารละลายอาหารที่จำเป็นที่เจือจางแล้วผ่านลงไปในแผ่น felt ด้วยวิธีการดังกล่าว น้ำหนักของสวนแนวตั้งจะหนักราว ๆ 30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ทำให้สวนแนวตั้งตามหลักการของ Patrick ไม่มีข้อจำกัดของขนาด ทั้งความกว้าง ความยาว และความหนา ซึ่งสวนแนวตั้งตามหลักการของ Patrick จะเป็นสวนที่ไม่ต้องการการดูแลรักษามากนัก และมีอายุได้ประมาณถึง 10 ปี ประหยัดน้ำ และการปลูกสามารถเล่นลวดลายของพันธุ์พืชได้ ทำให้สวนแนวตั้งที่ได้มีความสวยงามและมีมิติ แต่การติดตั้งต้องใช้เทคนิคและผู้ที่มีความรู้

ลักษณะและประเภทของ Vertical Garden

สวนแนวตั้ง หมายถึง การปลูกต้นไม้บนผนัง การจัดชั้นวางกระถาง การจัดไม้แขวน และปลูกไม้เลื้อยเกาะคลุมผนังหรือกำแพง สำหรับประเภทของ Vertical Garden นั้น อาจจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ตามลักษณะของวัสดุในการปลูกต้นไม้และลักษณะของการปลูกต้นไม้ของสวนแนวตั้ง ซึ่งสวนแนวตั้งนี้มีทั้งการปลูกพืชแบบใช้ดินและไม่ใช้ดิน ดังนี้

1. การทำผนังสำหรับปลูกต้นไม้โดยใช้แผ่นผ้า/แผ่น Felt จะเป็นการทำสวนแนวตั้งในระนาบเดียวกัน โดยใช้แผ่น Felt ซึ่งเป็นลักษณะของสวนแนวตั้งตามแบบและหลักการของ Patrick (รูปภาพที่ 3)

ก. ข.

รูปภาพที่ 3 สวนแนวตั้งแบบผนังโดยใช้แผ่น Felt

ที่มา : ก. www.urban greens.com

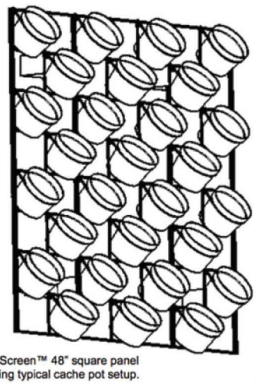
ข. http://www.bbc.co.uk/gardening/design/plant_recipes/vertical_garden.shtml

2. การทำผนังสำหรับปลูกต้นไม้ลงไปโดยใช้วัสดุน้ำหนักเบาแต่สามารถให้รากยึดเกาะได้ (Panel System) โดยการทำโครงสร้างเป็นบล็อคหรือช่องสำหรับสวมกระถางให้อยู่ติดบนผนัง ตัวอย่างสวนแนวตั้งประเภทการทำผนังสำหรับปลูกต้นไม้ แสดงได้ดังรูปภาพที่ 4

ก. Brick Biotope วัสดุและโครงสร้างใหม่

ข. สวนแนวตั้งแบบใช้อิฐมวนเบาเป็นช่องปลูก

ค. Biolung ผนังขนาดใหญ่ (20 เมตร x 150 เมตร)



ง. Terra Screen นวัตกรรมการสร้างสวนแนวตั้ง

รูปภาพที่ 4 สวนแนวตั้งแบบการทำผนังปลูกต้นไม้

ที่มา : ก. http://creativemove.com/design/brick-biotope/#ixzz24thiniw6

ข. http://article.tcdcconnect.com/ideas/siamese-twist-poramet

ค. http://green.in.th/node/1532

ง. http://www.insideurbangreen.org/green-wall/page/5/

3. การใช้ไม้กระถางตกแต่งทั้งเป็นชั้นวางและไม้กระถางแขวน เป็นการทำสวนแนวตั้งแบบใช้ภาชนะในการปลูกต้นไม้ ซึ่งอาจเป็นกระถางดินเผา ระแนงไม้ ถ้วย ขวดน้ำ หรือวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ ตลอดจนที่ตั้งต้นไม้ (Stand Garden) การทำชั้นวางกระถางต้นไม้ แต่ไม่จำเป็นต้องจัดวางให้อยู่ในแนวระนาบเดียวกันเสมอไป อาจจัดวางในระดับที่สูงต่างกัน เช่น ทำเป็นขั้นบันได หรือซ้อนเหลื่อมกัน เพื่อทำให้สวนแนวตั้งแลดูมีมิติและมีความน่าสนใจมากขึ้น สวนแนวตั้งแบบใช้ภาชนะปลูกต้นไม้ในลักษณะการแขวนและชั้นวาง แสดงได้ดังรูปภาพที่ 5

ก. สวนแนวตั้งแบบใช้กระถาง

ข. สวนแนวตั้งแบบใช้วัสดุแบบราง

ค. สวนแนวตั้งแบบใช้ภาชนะธรรมชาติ

ง. สวนแนวตั้งแบบภาชนะยึดติด

รูปภาพที่ 5 สวนแนวตั้งแบบใช้ภาชนะปลูกต้นไม้ในลักษณะการแขวนและชั้นวาง
ที่มา : ก. http://medsai.net/webboard/index.php?topic=13683.0
ข. http://www.permies.com/t/2101/permaculture/Vertical-Gardening
ค. http://www.kasetporpeang.com
ง. http://www.decorreport.com/a355542

4. ผนังไม้เลื้อย (Trellis and Climbers) เป็นสวนแนวตั้งแบบพื้นฐานโดยการปลูกไม้เลื้อยในดินบนพื้นหรือกระบะปลูก แล้วปล่อยให้เลื้อยไปบนผนังหรือโครงยึดเกาะจนเต็มแผง (รูปภาพที่ 6) สามารถใช้เป็นแผงกันแดดหรือผนังอาคารได้ เวลาในการเจริญเติบโตจนเต็มแผงพื้นที่ประมาณ 2 เดือนขึ้นไป ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ไม้ที่เพาะปลูก สามารถปรับแต่งโครงสร้างโดยใช้โครงไม้ที่มีน้ำหนักเบาเว้นระยะจากผนังประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อแก้ไขปัญหาความชื้นที่จะเกิดกับผนัง และการยึดเกาะของรากของไม้เลื้อยที่อาจส่งผลต่อโครงสร้าง/พื้นผิวของตัวอาคาร ผนังไม้เลื้อยสามารถลดอุณหภูมิภายในอาคารได้เป็นอย่างดี

ก. ผนังไอวี่ของมหาวิทยาลัยในไอวี่ลีก

ข. ผนังไม้เลื้อยในต่างประเทศ

รูปภาพที่ 6 สวนแนวตั้งแบบผนังไม้เลื้อย

ที่มา : ก. http://www.blogeduzones.com

ข. http://www.ji-lee.com/blog/2010/10/

ประโยชน์ของ Vertical Garden

1. การสร้างความสวยงามและเป็น Landmark ให้แก่เมือง

ต้นไม้และพื้นที่สีเขียวก่อให้เกิดสุนทรียภาพและความร่มรื่น ให้ความรู้สึกสงบ สบาย และสร้างความสวยงามให้แก่เมือง ลดความแข็งของโครงสร้างอาคาร นอกจากนั้น การออกแบบสวนแนวตั้งในรูปแบบต่าง ๆ ยังเป็นการสร้างสัญลักษณ์ หรือการสร้าง Landmark ให้แก่พื้นที่อีกด้วย ซึ่งนอกจากจะเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่เมืองแล้ว ยังสามารถพัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวได้อีกแหล่งหนึ่ง

ก. Rosario City ในอาร์เจนตินา

ข. Sky Farm ในกรุงโตรอนโต

ค. Guggenhein Art Museum ประเทศสเปน

รูปภาพที่ 7 สวนแนวตั้งซึ่งเป็น Landmark และสถาปัตยกรรมที่สร้างความสวยงามแก่เมือง

ที่มา : ก. http://ecotownpenang.wikispaces.com/Eco-SMART+city+concept

ข. http://www.tlitb.org/page/94/

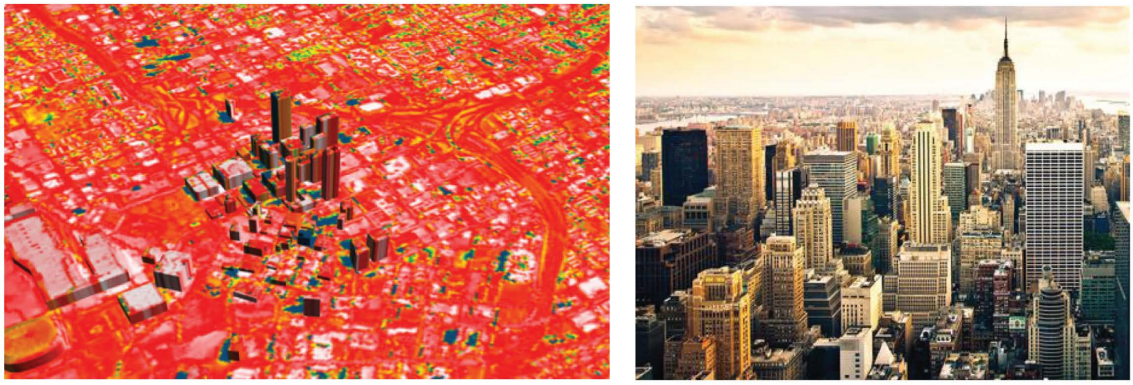
ค. http://greenapple.ca/blog/2009/09/14/another-twig-in-the-wall/

2. การลดความตึงเครียดทางอารมณ์

พื้นที่สีเขียวและสวนแนวตั้งสามารถช่วยสร้างบรรยากาศที่สวยงาม ทำให้เกิดความรู้สึกของการใกล้ชิดธรรมชาติ หรือการอยู่ท่ามกลางธรรมชาติซึ่งช่วยลดความวิตกกังวลลงได้ (Peck et al, 1999) โดยพืชพันธุ์ที่ปลูกในสวนสามารถลดระดับของความตึงเครียดลงได้ 12 % ซึ่งการปลูกต้นไม้ในห้องเรียนยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการเรียนให้นักเรียนได้อีกด้วย (Butkovich et al, 2008) หรือการปลูกต้นไม้ในสถานที่ทำงานยังช่วยลดความตึงเครียดของอารมณ์ของผู้ที่ทำงานได้ สามารถสร้างสมาธิ และทำให้จิตใจสงบ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน นอกจากนั้นยังพบว่า พื้นที่สีเขียวก่อให้เกิดความผ่อนคลายและลดความกลัว ความโกรธ ความดันโลหิต และความตึงเครียดของกล้ามเนื้อ (Brown et al., 2004) ด้วยเหตุดังกล่าวจึงพบว่า แพทย์ทางเลือกมีการเลือกใช้ประโยชน์ดังกล่าวในการรักษาคนไข้ร่วมกับวิธีการรักษาอื่น ๆ

3. การลดปัญหาคลื่นความร้อนและเกาะความร้อนของเมือง

สาเหตุสำคัญของการเกิดเกาะความร้อนของเมือง (UHI) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของความร้อนบนผิววัสดุและการขาดการคายระเหยของน้ำในบริเวณพื้นที่เมือง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของแผ่นดินจากการพัฒนาเมืองที่เกิดจากการขยายตัวของเมือง การก่อสร้างอาคารสูงที่เต็มไปด้วยคอนกรีตซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับความร้อนและจุความร้อนสูง นอกจากนั้น อัตราส่วนรังสีสะท้อน (albedo) และการเปล่งรังสี (emissivity) ในพื้นที่เมืองที่เต็มไปด้วยสิ่งก่อสร้างยังมีการดูดซับและสะท้อนรังสีได้สูงกว่าพื้นที่โดยรอบของเมือง ส่งผลให้ในพื้นที่เขตเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ชานเมือง



ก. ข.

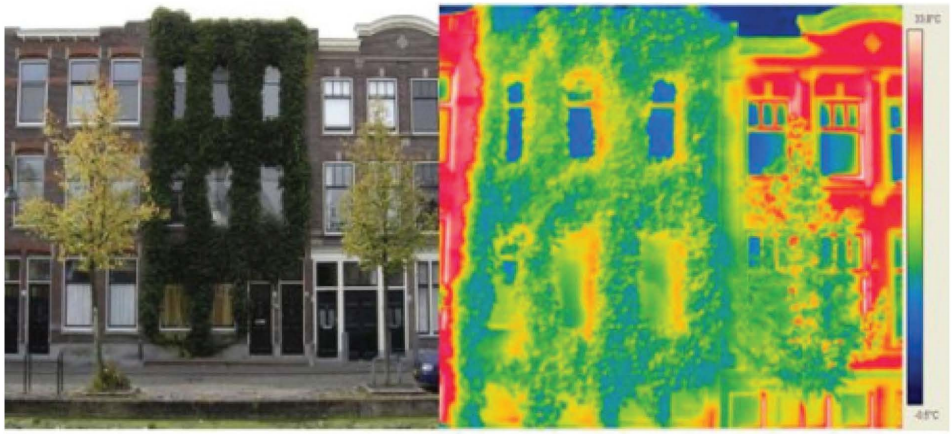
รูปภาพที่ 8 การเกิดคลื่นความร้อนของเมือง

ที่มา : ก. http://thinkgreendegrees.com/urban-heat-island-uhi-effects-mitigation-studies-resources-video#!prettyPhoto

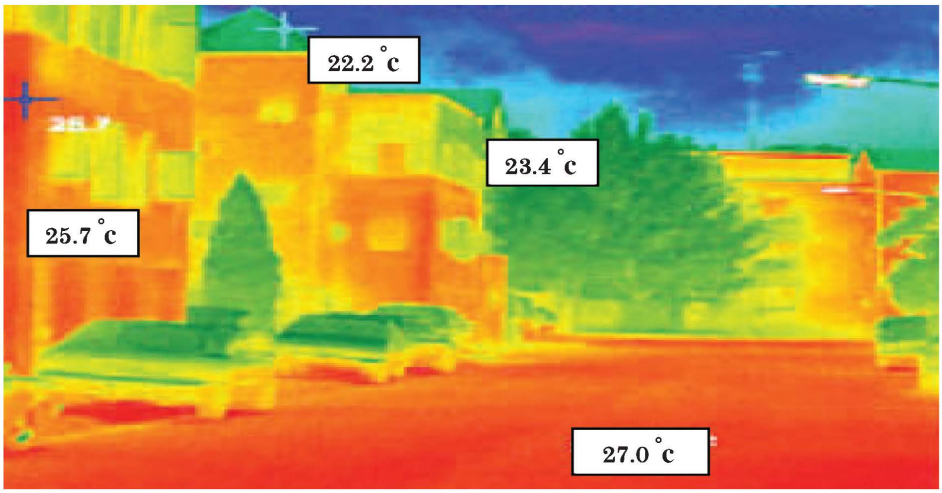
ข. www.sciencedaily.com

นอกจากวัสดุพื้นผิวของอาคารที่มีผลต่ออุณหภูมิของเมืองแล้ว ยังมีผลการศึกษาที่ชี้ให้เห็นว่า ลักษณะและรูปทรงของอาคารยังมีผลต่ออุณหภูมิของเมืองอีกด้วย กล่าวคือ บริเวณย่านกลางใจเมืองจะมีอาคารสิ่งก่อสร้างที่มีอาคารสูงจำนวนมากมีรูปทรง แนวการวางตัวของอาคาร และพื้นผิวที่สามารถดูดซับและสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ดี ส่งผลให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิที่สูงกว่าบริเวณพื้นที่โดยรอบ

พืชพรรณสามารถช่วยลดภาวะเกาะความร้อนของเมืองอันเนื่องจากความหนาแน่นของอาคารภายในเมืองได้ (Brown and Gillespie, 1995) โดยพืชพันธุ์ต่าง ๆ มีความสามารถในการดูดซับและสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์ได้ ซึ่งใบไม้มีการสะท้อนรังสีประมาณ 10-20% และมีการดูดซับรังสีประมาณ 40-80% (สุดสวาท, 2545 ; Givoni,1998) โดยความแตกต่างของค่าการดูดซับและสะท้อนรังสีของใบไม้จะขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของต้นไม้



ก.



ข.

รูปภาพที่ 9 ความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวที่ตรวจวัดได้
ที่มา : ก. Ottele, 2010
ข. www.urban-climate-energy.com

ทั้งนี้ งานวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ชี้ให้เห็นว่า ไม้เลื้อยที่นำมาปลูกเพื่อปกคลุมหน้าต่างแทนแผงกันแดดอาคารสามารถลดความร้อนที่เข้าสู่อาคารได้ โดยจะลดความร้อนได้ดีที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งการตรวจวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยกับอากาศภายนอกมีสูงถึง 11 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ การใช้บล็อคดินเผาเป็นวัสดุเพื่อใช้ในการปลูกต้นไม้สวนแนวตั้งสามารถเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดีกว่าการติดตั้งฉนวนกันความร้อนปกติถึง 2 องศาเซลเซียส

4. การลดการใช้พลังงานในอาคาร

การถ่ายเทความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ตัวอาคาร นอกจากจะส่งผลต่อความสบายของผู้ใช้อาคารแล้ว ยังส่งผลโดยตรงต่อการใช้พลังงานภายในอาคารและภาระของเครื่องปรับอากาศอีกด้วย ความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารเกิดจากการที่แสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนผิวนอกของเปลือกอาคาร ส่งผลให้อุณหภูมิผิวภายนอกของผนังอาคารสูงขึ้นและเกิดการส่งผ่านความร้อนผ่านเนื้อวัสดุของผนังอาคาร ทำให้ผนังมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนทำให้อุณหภูมิผิวภายในของผนังอาคารสูงขึ้น เป็นผลทำให้ผู้ใช้อาคารที่อยู่ใกล้กับผนังรู้สึกร้อน ซึ่งเป็นผลมาจากการแผ่รังสีของผนังอาคาร (Mean Radian Temperature: MRT) และทำให้อุณหภูมิภายในอาคารสูงขึ้นด้วย ดังนั้น หากสามารถลดปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนผนังอาคารได้ก็จะสามารถลดอิทธิพลของ sol-air temperature และลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคารได้ (Stein and Reynolds, 2001) ผลงานวิจัยหลายชิ้นชี้ให้เห็นว่า สวนแนวตั้งบริเวณผนังอาคารสามารถลดการใช้พลังงานในอาคารได้ (ตารางที่ 1) เช่น สามารถลดการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศได้ 30%

ตารางที่ 1 การใช้พลังงานในอาคาร 5 แห่ง ที่มีสวนแนวตั้งและไม่มีสวนแนวตั้งบริเวณผนังอาคาร

Energy Consumption	Average Energy Consumption (kWh)	Average Energy Consumption with Vertical Garden Installed (kWh)
Heating from Natural Gas	220,000	216,000
Cooling from Electricity	78,000	66,000
Lighting from Electricity	27,000	27,000
Hot Water from Natural Gas	70,000	70,000
Total	**395,000**	**378,000**

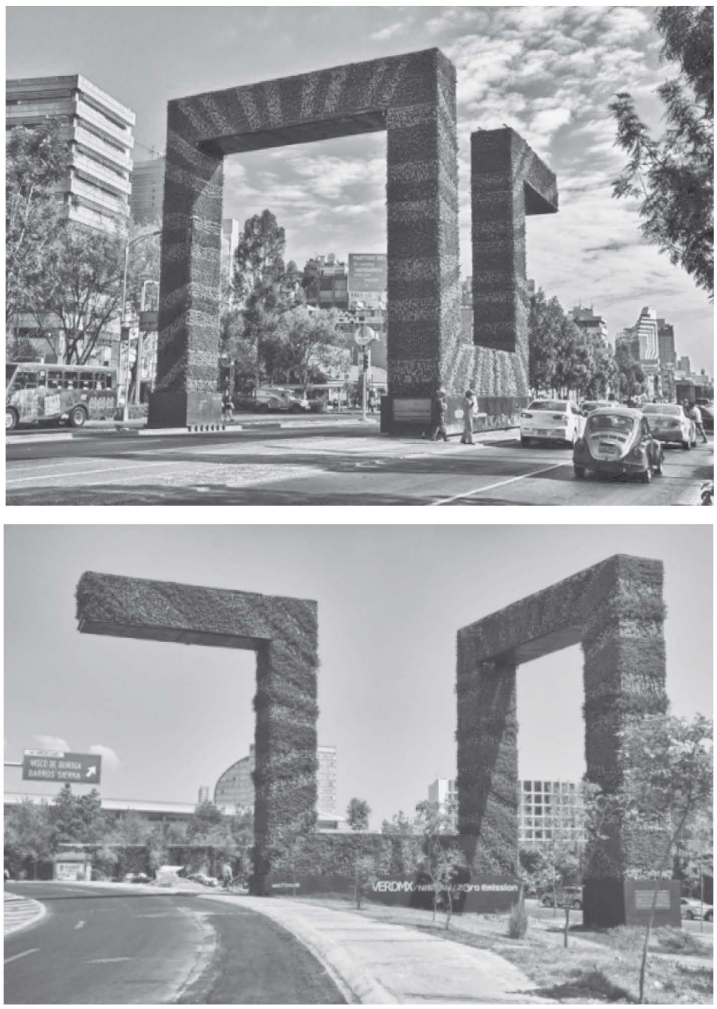
ที่มา : Binabid, J., 2010

5. การลดปัญหามลภาวะทางอากาศของเมือง

การลดปัญหามลภาวะทางอากาศ เป็นคุณสมบัติหรือเป็นประโยชน์ของการปลูกต้นไม้ที่เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว ดังเช่น การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และคายก๊าซออกซิเจนของพืชผ่านกระบวนการหายใจและการสังเคราะห์แสง ต้นไม้จำพวกไม้ประดับนั้น จะเป็นพืชที่มีการปรับตัวและสามารถเจริญเติบโตได้ดี สามารถดูดสารพิศด้วยกระบวนการคายน้ำ โดยจะทำการดูดก๊าซพิษที่อยู่รอบ ๆ ลงสู่ดิน และจุลินทรีย์ที่อยู่รอบ ๆ รากจะเป็นตัวเปลี่ยนให้สารพิษเหล่านั้นกลายไปเป็นอาหารของพืช (Wolverton, 1996) ทั้งนี้ ต้นไม้แต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดก๊าซพิษหรือมลสารในอากาศได้แตกต่างกัน ซึ่งนักวิจัยในสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ทำการศึกษาและทดลองการดูดก๊าซพิษของพืชหลายชนิด เพื่อนำพืชพันธุ์ต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์เพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมเมือง โดยเฉพาะพืชที่นิยมนำมาปลูกเป็นไม้ประดับ เช่น ตีนตุ๊กแกฝรั่ง ไม้เลื้อยที่นิยมปลูกให้ทอดคลุมกำแพง มีประสิทธิภาพสูงในการดูดสารพิษจำพวกเบนซินและมีคุณสมบัติฟอกอากาศได้ดี บอสตันเฟิร์น สามารถดูดสารจำพวกฟอร์มาลดีไฮด์ที่มาจากกาวและฝ้าเพดานสำเร็จรูป เดหลี เป็นไม้ที่คายความชื้นสูงและมีความสามารถในการดูดสารพิษจำพวกฟอร์มัลดีไฮด์และไตรคลอโรเอทธิลีนได้ดี ต้นเศรษฐีเรือนในเป็นไม้ประดับชนิดแรก ๆ ที่ได้รับการเผยแพร่จากองค์การนาซ่าว่ามีคุณสมบัติในการดูดสารพิษภายในอาคารได้เป็นอย่างดี โดยสามารถดูดคาร์บอนมอนนอกไซด์ได้สูงถึง 96% และฟอร์มาลดีไฮด์ 86% ต้นสร้อยอินทนิลสามารถดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงสุด 20 ppm จากอากาศปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ในเวลา 10 วินาที (พาสินี และพูนพิภพ, มปป.) ซึ่งจากผลวิจัยดังกล่าวจึงส่งผลให้มีการนำพืชดังกล่าวมาเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างสวนแนวตั้ง

ถนนสาธารณะที่ปราศจากต้นไม้จะตรวจพบฝุ่นละอองเป็นจำนวนมากถึง 10,000–20,000 อณูต่ออากาศ 1 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับถนนสภาพเดียวกันในบริเวณใกล้เคียงแต่ร่มรื่นด้วยต้นไม้ นับละอองของฝุ่นได้เพียง 3,000 อณูต่อ 1 ลิตรของอากาศ พื้นที่สีเขียวที่มีพุ่มไม้หนาแน่นสามารถกรองละอองอากาศและทำให้ปริมาณฝุ่นละอองลดลงได้ระหว่าง 1 ใน 100 หรือ 1 ใน 4 จากปริมาณเดิม นอกจากนั้น วัสดุพืชพันธุ์ยังสามารถช่วยลดระดับเสียงลงได้ตั้งแต่ประมาณ 5–15 เดซิเบล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น ความสูง ความหนาแน่น ความกว้าง และตำแหน่งที่อยู่ของแนวไม้ประกอบกับทิศทางลม ความเร็วลม อุณหภูมิ และความชื้นในบริเวณนั้น ๆ เป็นต้น

ในเมืองเม็กซิโก้ ซิตี้ ได้มีกลุ่มองค์กรไม่หวังผลกำไรชื่อ กลุ่ม VerdMX ได้สร้างสวนแนวตั้งซึ่งเป็นโครงสร้างที่ให้ทั้งความสวยงามและนับเป็นเครื่องผลิตออกซิเจนให้แก่พื้นที่ (รูปภาพที่ 10) สวนแนวตั้งแห่งนี้มีขนาด 10.8 ตารางฟิต โดยมีการประมาณการว่า สวนดังกล่าวจะสามารถลดปัญหามลภาวะทางอากาศที่เลวร้ายของเมืองได้ ซึ่งจากการคำนวนของนักวิจัยในโครงการพบว่า จะสามารถลดฝุ่นละอองในอากาศได้ 130 กรัม กรองมลสารที่เป็นตัวการของการเกิดภาวะเรือนกระจกได้ 40 ตัน และยังลดระดับความดังของเสียงลงได้ 10 เดซิเบล นอกจากนั้นโครงสร้างซึ่งถือเป็น Eco-sculpture แห่งนี้ ยังช่วยสร้างความสวยงามและภาพลักษณ์ที่ดีให้แก่เมือง สร้างความสบายตาให้แก่ประชาชนในบริเวณพื้นที่ดังกล่าว



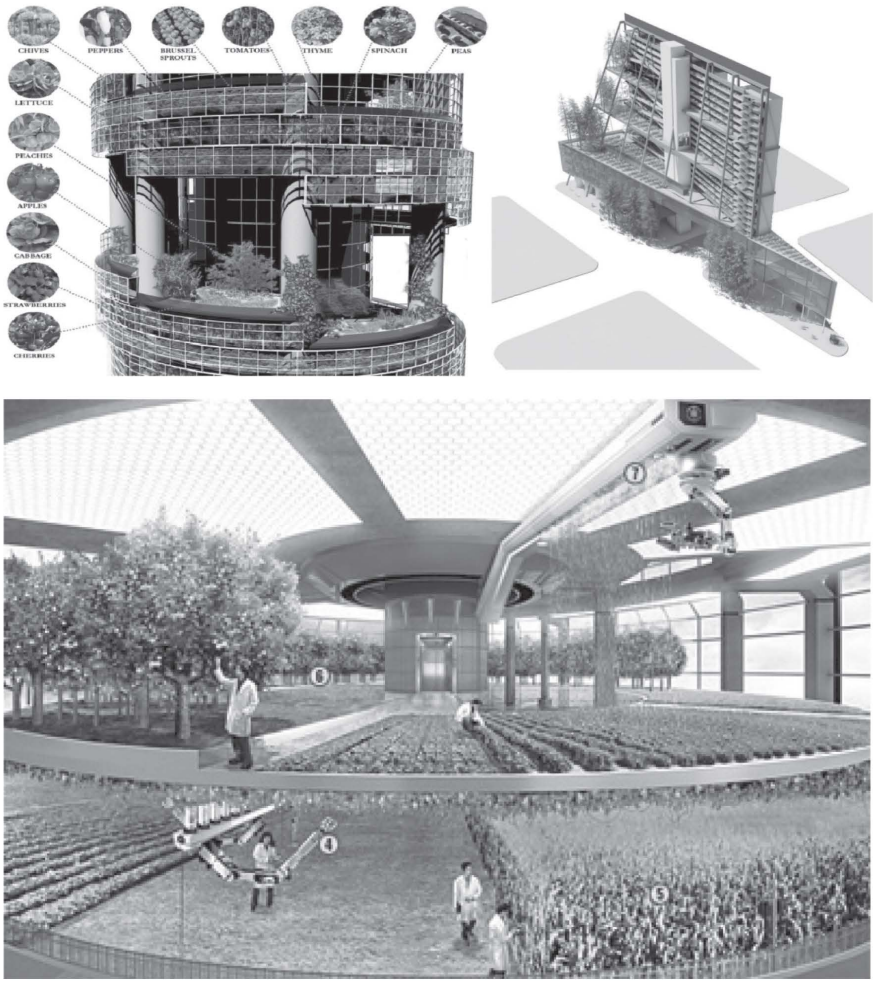
รูปภาพที่ 10 สวนแนวตั้งรูปแบบใหม่โดยกลุ่ม VerdMX ช่วยแก้ปัญหามลภาวะทางอากาศของเมืองเม็กซิโก ซิตี้
ที่มา : http://www.smartplanet.com/blog/cities/pollution-fighting-vertical-gardens-rise-in-mexico-city/2756

รูปแบบและพัฒนาการของ Vertical Garden ในต่างประเทศ

จากแนวความคิดและหลักการของ Patrick ได้มีสถาปนิกพัฒนาและต่อยอดแนวความคิดดังกล่าว เกิดเป็นแนวคิด Vertical Garden ในรูปแบบต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ทั้งการปรับเปลี่ยนตัวโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ในการปลูกต้นไม้ รูปแบบและรูปทรงของโครงสร้าง รวมทั้งประเภทของพืชที่เพาะปลูกและวัตถุประสงค์ในการทำสวนแนวตั้ง

1. Urban Farm และ Vertical Farming

ในประเทศญี่ปุ่น ได้นำเอาแนวความคิดสวนแนวตั้งมาพัฒนาและปรับปรุงเป็นสวนแนวตั้งที่สามารถเก็บผลผลิตมาเป็นอาหารได้ ดังจะเห็นได้จาก Pasona Group ในกรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้ออกแบบสวนแนวตั้งภายในอาคารภายใต้แนวความคิด Urban Farm ภายในอาคารขนาด 1,000 ตารางเมตร โดยแบ่งห้องออกเป็น 6 ห้อง แต่ละห้องเพาะปลูกพืชชนิดต่าง ๆ และใช้เทคโนโลยีในการควบคุมแสงจากหลอด Matal-halide ซึ่งเป็นหลอดไฟที่มีกำลังส่องสว่างใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติ และมีการเสื่อมช้ากว่าหลอดไฟปกติ ด้วยเทคนิคดังกล่าว ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวข้าวได้ถึง 3 ครั้งต่อปี (50 กิโลกรัมต่อแปลง) ซึ่งปกติจะสามารถเก็บเกี่ยวได้เพียงแค่ปีละ 1 ครั้งเท่านั้น ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในสำนักงานยังสามารถช่วยลดระดับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้กว่า 2 ตันต่อปี โดย Urban Farm ดังกล่าว เกิดผลเป็นรูปธรรมอย่างแท้จริง ผลผลิตที่ได้สามารถอำนวยประโยชน์ต่ออาหารที่ใช้ภายในสำนักงานได้ นับเป็นการพัฒนาเมืองให้เกิดการพึ่งพาตนเองลดการใช้ทรัพยากรจากภาคชนบท



รูปภาพที่ 11 Urban Farming และ Vertical Farming
ที่มา : http://www.verticalfarm.com/designs

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีแนวคิดเกษตรกรรมบนอาคารสูงซึ่งนับเป็นเกษตรกรรมในศตวรรษที่ 21 ที่เรียกว่า Vertical Farming แนวคิดดังกล่าวเกิดขึ้นโดย Dickson Despommier ด้วยเหตุผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ที่ดินมีจำนวนจำกัด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการบริหารจัดการพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะพื้นที่เกษตรกรรมซึ่งเป็นแหล่งผลิตอาหารที่เลี้ยงประชากรที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งแนวคิดดังกล่าวจะปลูกพืชด้วยวิธีการที่ควบคุมปัจจัยต่าง ๆ พืชผลจะไม่ถูกรบกวนโดยสภาพอากาศ เป็นเกษตรกรรมแบบไม่ใช้ดินซึ่งจะทำให้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น 5–30 เท่า โดยฟาร์มบนตึกนี้จะสามารถผลิตผลผลิตทางการเกษตรได้ทั้งพืชผัก ผลไม้ ธัญพืช และเนื้อสัตว์ โดยแทบจะไม่จำเป็นต้องนำเข้าอาหารจากชนบทอีกต่อไป

2. ป่าแนวตั้งแห่งแรกของโลก

แนวคิดสวนแนวตั้งที่เกิดขึ้นในระยะแรกเป็นสวนแนวตั้งเพียงกำแพงหรือผนังของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างเท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแนวคิดและออกแบบสวนแนวตั้งเป็นอาคารสูง โดยเรียกแนวคิดดังกล่าวว่า แนวคิดอาคารสูงชีวอากาศ (Bioclimatic Skyscraper) (Ken Yeang, 2000) การก่อสร้างอาคารที่เป็นสวนแนวตั้งทั้งอาคารที่ชื่อ Bosco Verticale มีความสูง 27 ชั้น (รูปภาพที่ 12) อยู่ในเมืองมิลาน ประเทศอิตาลี เป็นผลงานการออกแบบของสถาปนิก Stefano หากอาคารดังกล่าวก่อสร้างเสร็จสมบูรณ์จะกลายเป็นป่าแนวตั้งแห่งแรกของโลก

โดยแนวคิดของป่าแนวตั้ง คือ การก่อสร้างอาคารที่ปกคลุมไปด้วยต้นไม้ทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กให้มีสภาพเหมือนในป่า ทุกห้องของอาคารจะมีระเบียงซึ่งจะปลูกต้นไม้หลากหลายประเภทและขนาดโดยต้นไม้เหล่านี้จะช่วยลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้กับเมือง คล้ายกับการมีป่าในเมือง (Urban Forest)

รูปภาพที่ 12 Bosco Verticale อาคารสูง 27 ชั้น ในกรุงมิลาน ประเทศอิตาลี
ที่มา : http://inhabitat.com/bosco-verticale-in-milan-will-be-the-worlds-first-vertical-forest/#ixzz1aZrFAWin

นอกจากนี้ยังช่วยลดความร้อนที่จะเข้าสู่ตัวอาคารในช่วงฤดูร้อน ทำให้ลดการใช้พลังงานภายในตัวอาคาร ในขณะที่ในช่วงฤดูหนาวต้นไม้ที่ผลัดใบจะให้แสงแดดส่องเข้ามาในอาคารให้ความอบอุ่น ช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยในการออกแบบนั้น กำหนดให้น้ำที่ใช้ในการดูแลต้นไม้เป็นน้ำที่ได้จากน้ำใช้แล้วในอาคาร นับเป็นนวัตกรรมการก่อสร้างที่จะช่วยลดภาวะโลกร้อนจากกิจกรรมภายในเมืองและเพิ่มพื้นที่สีเขียวของเมืองได้เป็นอย่างดี

3. City in the Garden

สิงคโปร์ เป็นประเทศที่มีทรัพยากรและพื้นที่จำกัด ไม่มีทรัพยากรป่าไม้ ทรัพยากรน้ำ (น้ำจืด) การพัฒนาพื้นที่จึงต้องผ่านการวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อใช้พื้นที่ให้คุ้มค่า ประเทศสิงค์โปร์ได้กำหนดนโยบายของรัฐบาลซึ่งมี Road Map ไว้ว่าจะเป็น City in the Garden โดยวางแผนก่อสร้างโครงการ Garden by the Bay บนเนื้อที่ประมาณ 1,011,718.12 ตารางเมตร เพื่อให้เป็นสวนสาธารณะที่ใหญ่ที่สุดในสิงค์โปร์ เป็น Landmark และแหล่งท่องเที่ยวแห่งใหม่ เพื่อให้สิงคโปร์เป็นประเทศที่น่าอยู่ โดยจะพัฒนาต่อเนื่องให้เกิดเป็นศูนย์กลางการพัฒนาโครงการ Marina Bay ต่อไป โครงการดังกล่าวมีคณะกรรมการดูแลอุทยานแห่งชาติ (National Park) ของรัฐบาลเป็นผู้ดูแลและบริหารจัดการพื้นที่โครงการ

โครงการ Garden by the Bay แบ่งโครงการออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของ Flower Dome ซึ่งมีการเลียนแบบสภาพอากาศแบบเมดิเตอเรเนียนและกึ่งเขตร้อน และในส่วนของ Cloud Forest ซึ่งเลียนแบบภูมิอากาศแบบอากาศเย็นชื้น ที่พบได้ในเขตที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 1,000-3,500 เมตร ภายในพื้นที่ประกอบด้วยสวนในรูปแบบต่าง ๆ ที่มีพันธุ์ไม้จากทั่วโลก แบ่งเขตพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ พื้นที่ฝั่งอ่าวตะวันออก พื้นที่ฝั่งอ่าวใต้ และพื้นที่ฝั่งอ่าวกลางซึ่งเป็นปากแม่น้ำสิงค์โปร์

องค์ประกอบที่น่าสนใจและเป็นจุดดึงดูดสายตามากที่สุดในพื้นที่โครงการ คือ โครงสร้างต้นไม้ขนาดใหญ่ที่เรียกว่า Super Trees ทั้งหมด 18 ต้น มีความสูงตั้งแต่ 25-50 เมตร (ประมาณความสูงเท่ากับตึก 9-16 ชั้น) โดยโครงสร้างดังกล่าวจะเป็นโครงเหล็กที่จะใช้ปลูกไม้เลื้อย ไม้ในเขตร้อนชื้น และเฟิร์น จำนวน 162,900 ต้น มากกว่า 200 สายพันธุ์ โดยตอนกลางคืนจะมีการแสดงสื่อผสมบน Super Trees ดังนั้น จึงมีการออกแบบแผงพลังงานแสงอาทิตย์ไว้บนต้นไม้จำนวน 11 ต้น เพื่อให้เป็นแหล่งพลังงานในกิจกรรมส่วนนี้ ต้นไม้แต่ละต้นจะมีทางเดินลอยฟ้าเชื่อมต่อกันความยาว 128 เมตร

รูปภาพที่ 13 โครงการ Garden by the Bay ประเทศสิงคโปร์
ที่มา : http://www.freakofnaturezzz.blogspot.com

รูปภาพที่ 14 Super Trees
ที่มา : http://www.businessinsider.com/singapores-biometric-trees-2012-6?op=1

การเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่เมืองในประเทศไทยด้วยแนวคิด Vertical Garden

ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เมืองหลวงของประเทศไทยที่เต็มไปด้วยการตั้งถิ่นฐานและการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แออัด มลภาวะทางอากาศที่เพิ่มขึ้นทุกวัน ในขณะที่พื้นที่ว่างเพื่อการสาธารณะและการรักษาสภาพแวดล้อมลดน้อยลง ซึ่งการขาดแคลนพื้นที่ว่างเพื่อการสาธารณประโยชน์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลต่อขนาดพื้นที่สีเขียวในแต่ละเขตของกรุงเทพมหานคร จากการศึกษาข้อมูลพบว่า กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 9.8 แสนไร่ มีพื้นที่สีเขียวของเมืองเพียง 1.1 หมื่นไร่ อัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อจำนวนประชากรเฉลี่ยอยู่ที่ 4 ตารางเมตรต่อคน ซึ่งอัตราส่วนพื้นที่สีเขียวต่อประชากรที่เหมาะสมแก่เมืองเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีของประชากรเมืองตามมาตรฐานองค์การอนามัยโลกกำหนดคือ 9 ตารางเมตรต่อคน จากข้อมูลพื้นที่สีเขียวรายเขต พบว่า กรุงเทพมหานครมีเขตที่มีพื้นที่สีเขียวเกินเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลกเพียง 5 เขตเท่านั้น ได้แก่ เขตหลักสี่ (16.39 ตร.ม./คน) เขตประเวศ (15.64 ตร.ม./คน) เขตปทุมวัน เขตทวีวัฒนา (13.40 ตร.ม./คน) และเขตจตุจักร ตามลำดับ จากเขตการปกครองทั้งหมด 50 เขต และเป็นที่น่าสังเกตว่าเขตที่มีขนาดพื้นที่สีเขียวเกินเกณฑ์ดังกล่าวเป็นพื้นที่เขตที่มีสวนสาธารณะขนาดใหญ่ในพื้นที่ ได้แก่ สวนลุมพินี สวนวชิรเบญจทัศ สวนหลวง ร.9 เป็นต้น ในขณะที่เขตที่มีพื้นที่สีเขียวต่อประชากรต่ำมากจะเป็นเขตที่เป็นพื้นที่ศูนย์กลางเศรษฐกิจของเมือง ได้แก่ เขตบางรัก ซึ่งมีพื้นที่สีเขียวต่อประชากรเพียง 0.29 ตารางเมตรต่อคนเท่านั้น และพบว่าพื้นที่สีเขียวดังกล่าวมีขนาดพื้นที่เพียง 8 ไร่ 2 งาน 57.86 ตารางวา ต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำขององค์การอนามัยโลกถึง 31 เท่า และพื้นที่สีเขียวที่ใหญ่ที่สุดของเขต คือ เกาะกลางถนนสีลม ซึ่งมีเนื้อที่ 1 ไร่ 3 งาน 50 ตารางวา

ดังนั้น แนวคิด Vertical Garden จึงเป็นอีกหนึ่งทางออกเพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้แก่กรุงเทพมหานคร เพื่อสภาพแวดล้อมและคุณภาพชีวิตที่ดีของประชากรเมือง ซึ่งแนวคิดดังกล่าวได้มีการริเริ่มขึ้นแล้วในสมัยนายอภิรักษ์ โกษะโยธิน เป็นผู้ว่าราชการกรุงเทพมหานคร โดยได้นำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ภายใต้โครงการ Green Zone ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ซึ่งเป็นโครงการนำร่องด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมในย่านถนนสีลม ถนนสุขุมวิท ถนนสาทร ถนนพระราม 4 และถนนวิทยุ ซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นย่านพาณิชยกรรมและการค้า มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หนาแน่น มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจและการคมนาคมขนส่งอย่างเข้มข้น ส่งผลให้บริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีปัญหามลภาวะทางอากาศสูง

รูปภาพที่ 15 สวนแนวตั้งบริเวณถนนพระราม 4
ที่มา : dailyplans.bangkok.go.th

นอกจากนั้น ยังมีการรวมกลุ่มกันของภาคธุรกิจเอกชนในชื่อ เพลินจิตซิตี้ (Ploenchit City) ก่อตั้งโครงการสร้างสวนแนวตั้งโดยร่วมมือกับกรุงเทพมหานครและเขตปทุมวัน ในโครงการ “84 สาย ถวายในหลวง” เพื่อปรับภูมิทัศน์บริเวณเกาะกลางถนนและจัดทำแผงสวน (Green Wall) ตามแนวตอม่อของรถไฟฟ้าบีทีเอสจำนวน 8 ต้น ตลอดเส้นทางถนนสายเพลินจิต–วิทยุ รวมระยะทางประมาณ 300 เมตร เพื่อเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับกรุงเทพมหานคร

และเป็น Landmark แห่งใหม่ของเมือง ซึ่งเทคนิคในการสร้างสวนแนวตั้งในบริเวณดังกล่าวนั้น ใช้ระบบกักเก็บน้ำใต้ดินเพื่อประหยัดพื้นที่และใช้ระบบน้ำฉีด (Sprinkle) ทำงานควบคู่กับเครื่องตั้งเวลา (Timer) มีการนำความรู้ทางด้านสิ่งแวดล้อมและนิเวศวิทยามาใช้ในการเลือกใช้พรรณไม้ที่เหมาะกับสภาพอากาศ และเป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถดูดซับมลพิษทางอากาศได้มากที่สุด

ทั้งนี้ ปัญหาสิ่งแวดล้อมของกรุงเทพมหานครจำเป็นต้องใช้ความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาจากทุกภาคส่วนในพื้นที่ ทั้งภาครัฐบาล กรุงเทพมหานคร ภาคประชาสังคม องค์กรเอกชน โดยนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพภูมินิเวศและสภาพสังคม เศรษฐกิจของเมือง เพื่อให้กรุงเทพมหานครเป็นมหานครที่น่าอยู่สำหรับทุกชีวิต (City for All) ทั้งนี้ การพัฒนาพื้นที่เมืองใด ๆ ไม่สามารถเร่งการพัฒนาเพียงความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจโดยละเลยปริมาณทรัพยากรและคุณภาพของสภาพแวดล้อมที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย (Habitat) ของมนุษย์ได้

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

Bangkok Express. n.d. เพลินจิตซิตี้ ส่งมอบสวนแนวตั้งตามโครงการ 84 สายถวายในหลวง[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.bangkokexpress.net/ntploenchitcity120208.html [26 มกราคม 2556]

พาสินี สุนากร และพูนพิภพ เกษมทรัพย์. 2010. สมรรถนะการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของผนังไม้เลื้อย. Journal of Architectural/Planning Research and Studies 7 (2): 173-187.

วิชัย เหล่าพาณิชย์กุล และอวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ. 2007. ประสิทธิภาพของผนังไม้เลื้อยในการลดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังอาคาร. Journal of Architectural/Planning Research and Studies 5 (2): 173-183.

สุดสวาท ศรีสถาปัตย์. 2545. การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Almusaed, A. 2011. Socio and Healthy Human Psychology upon Biophilic Architecture. In Biophilic and Bioclimatic Architecture : Analytical Therapy for the Next Generation of Passive Sustainable Architecture. pp 173-186. London: Springer-Verlag London Limited.

Blanc, P.n.d.Vertical garden Patrick Blanc [Online]. Available from: http://www.verticalgardenpatrickblanc.com[January 26, 2013]

Brown, R., and Gillespie, T. J. 1995. Microclimatc landscape design : Creating thermal comfort and energy efficiency. New York: John Wiley & Sons.

Cave, D. 2012. Lush Walls Rise to Fight a Blanket of Pollution[Online]. Available from: http://www.nytimes.com/2012/04/10/world/americas/vertical-gardens-in-mexico-a-symbol-of-progress.html?_r=0[January 26, 2013]

Givoni, B. 1998. Climate consideration in building and urban design. New York: John Wiley & Sons.

Peck, S.W., Callaghan, C., Kuhn, M.E., and Bass, B. 1999. Greenbacks from Green Roofs : Forging a New Industry in Canada[Online]. Available from: http://commons.bcit.ca/greenroof/files/2012/01/Greenbacks.pdf[January 26, 2013]

Pham, D. 2011. Bosco Verticale in Milan Will Be the World's First Vertical Forest[Online]. Available from: http://inhabitat.com/bosco-verticale-in-milan-will-be-the-worlds-first-vertical-forest/#ixzz1aZrFAWin[January 26, 2013]

Shian, K., and Kim, J.W. 2011. An Investigation into the Application of Vertical Garden At the New Sub Atrium[Online]. Available from: http://mynewsub.com/site/wp-content/uploads/2010/08/APSC261_2D_NewSubAtriumFeatures_Other_Garden_Group03.pdf[January 26, 2013]

Stein, B., and Reynolds, J. 2001. Mechanical and electrical equipment for buildings. New York : John Wiley & Sons.

Vertical Garden Institute. n.d. Vertical Garden Institute : Background[Online]. Available from: http://verticalgardeninstitute.org/background[January 26, 2013]

Wolverton, B. C. 1996. Eco-friendly houseplants: 50 indoor plants that purify the air in homes and offices. London: Weidenfeld & Nicolson.

Wolverton, B. C., McDonald, R.C. and Mesick H.H. 1985. "Foliage Plants for the Indoor Removal of the Primary Combustion Gases Carbon Monoxide and Nitrogen Oxides. Journal of the Mississippi Academy of Sciences 30: 1-8.