การประยุกต์ใช้แนวทางการบริหารจัดการน้ำผิวดินด้วยแนวคิด LID ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศนิ ลิ้มทองสกุล
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
iamsani13@gmail.com

บทคัดย่อ

พื้นที่ในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตบางเขน เป็นพื้นที่ลุ่มต่ำ มีการใช้ระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดินแบบโครงข่ายคูน้ำคันดิน (polder system) นับแต่ปีพ.ศ. 2535 เป็นต้นมา มหาวิทยาลัยมีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด โครงข่ายคูน้ำและแหล่งน้ำถูกรุกล้ำและแทนที่ด้วยอาคารสิ่งปลูกสร้างใหม่ตลอดเวลา เกิดปัญหาหลัก 2 ประการคือ ปัญหาน้ำท่วมขังหลังเกิดฝนตกหนักและน้ำเน่าเสีย จึงเกิดคำถามว่าระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดินที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบันมีประสิทธิภาพเพียงพอตอบรับต่อการพัฒนาเปลี่ยนแปลงพื้นที่หรือไม่ ผู้ศึกษาได้นำแนวคิดของการบริหารจัดการน้ำผิวดินแบบ LID (Low Impact Development) มาใช้เป็นกรอบในการศึกษาพื้นที่ เพื่อบรรเทาปัญหาน้ำท่วมและลดผลกระทบทางลบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยการเลียนแบบวิถีธรรมชาติที่สามารถ กักเก็บ ชะลอ ใช้ประโยชน์และบำบัดน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ผลการศึกษาพบว่า ระบบคูน้ำคันดินที่ใช้อยู่ในวิทยาเขต ณ ปัจจุบันตอบสนองแนวคิดของ LID จึงควรได้รับการอนุรักษ์ไว้ เทคนิคของระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (bio-retention หรือ rain garden) ระบบทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (vegetated swales) ระบบกักเก็บน้ำด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำ (stormwater wetlands) สามารถประยุกต์ใช้เข้ากับเขตนันทนาการและหอพักนิสิตเนื่องจากมีปริมาณพื้นที่เปิดโล่งเป็นผืนใหญ่ ในขณะที่เทคนิค การทำพื้นผิวแบบรูพรุน (permeable pavements) และเทคนิคหลังคาเขียว (green roofs) สามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ส่วนการศึกษาและบริการซึ่งมีความหนาแน่นของการพัฒนาสูง ส่วนเทคนิค การปรับปรุงดิน (soil amendment) การลดทอนขอบทางและรางระบายน้ำ (curb & gutters) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกพื้นที่ในวิทยาเขต ควรปรับพื้นที่เกาะกลางถนน แถบพื้นที่เปิดโล่งข้างถนนและรอบที่จอดรถ สวนหย่อมรอบอาคาร ให้เป็นภูมิทัศน์ลุ่มต่ำ (depressed landscape) ในรูปของ ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (bio-retention) และระบบทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (vegetated swales) เพื่อชะลอและรับน้ำที่แหล่งกำเนิดโดยตรง มหาวิทยาลัยควรรักษาโครงข่ายพื้นที่เปิดโล่งในระดับผังแม่บทให้ทำหน้าที่สาธารณูปโภคสีเขียว (Space green infrastructure) ที่กระจายอย่างทั่วถึงทุกพื้นที่มากกว่าอนุรักษ์พื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่บางส่วนเพื่อเป็นพื้นที่รับน้ำโดยตรง และกำหนดกลยุทธ์การปรับพื้นที่แบบเคารพต่อสภาพแวดล้อม (strategic grading) ส่งเสริมการพัฒนาพื้นที่ซ้อนชั้นเพื่อการใช้ที่ดินอย่างคุ้มค่าเพื่อสงวนรักษาพื้นที่เปิดโล่งที่เหลือไว้ ควรปรับปรุงระบบระบายน้ำโดยการแยกน้ำเสียและน้ำผิวดินออกจากกัน ทำการบำบัดน้ำเสียต้นทางก่อนปล่อยลงสู่ระบบรวมของมหาวิทยาลัย เพื่อลดมลพิษให้กับแหล่งน้ำสาธารณะ

ค่าสำคัญ: การออกแบบเพื่อบริหารจัดการน้ำผิวดินอย่างยั่งยืน สาธารณูปโภคสีเขียว LID

Utilizing LID Concepts for Stormwater Management in Kasetsart University, Bangkhen Campus

Assistant Professor Sani Limthongsakul
Faculty of Architecture, Kasetsart University
iamsani13@gmail.com

Abstract

Kasetsart University, Bangkhen Campus situates upon a lowland area. The polder system plays an important role in stormwater management for the campus area. Since 1992, rapid campus development has been affecting on the campus's open space reduction. New constructions encroach upon existing surface drainage system, causing two major problems : ash oods and stormwater pollutions. This study begins with a question : can the existing campus stormwater management answer for the campus physical developments and changes? With that in mind, this study uses the concept of Low Impact Development (LID) in stormwater management, in order to nd a better way to alleviate the campus drainage problems by mimicking the natural process of store, retain, detain and inltrate. The study found that the existing ditches networks rightly respond to LID concepts and must be protected. Bio-retention/ Rain Gardens, Vegetated Swales and Stormwater Wetlands could be applied into recreational and student housing zones where green open space is in large patch sizes and connected. Permeable Pavements and Green Roofs could be used in high density zone for educational and services uses. Soil amendment and eliminating Curbs & Gutters are techniques that could be practiced in any area. Vegetated swales and Bio-retentions could be applied into narrow strips and small patches of open space i.e. street medians and right of way, parking lot medians and small green space next to the buildings for the purpose of LID on-site management. In the long run, the university should incorporate the "Green Infrastructure" into the campus master plan. Due to the campus' constant physical growth, there should be guidelines for both existing and new land developments using Strategic Grading and On-lot runoff management. Multi-storey developments and limited building footprints should be encouraged in order to preserve the existing campus open space. The current system of CSO should be converted into separate drainage system to improve stormwater quality of the campus area.

Keywords: stormwater sensitive design and planning, green infrastructure, LID

บทนำ

พื้นที่วิทยาเขตบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กว่า 700 ไร่นั้น มีลักษณะลุ่มต่ำกว่าบริเวณโดยรอบเนื่องจากเป็นพื้นที่การเกษตรมาแต่เดิม “น้ำ” เป็นองค์ประกอบสำคัญของมหาวิทยาลัยมาโดยตลอด แรกเริ่มเกษตรกลางบางเขนเคยเป็นสถาบันการศึกษาที่เน้นการเรียนการสอนทางด้านเกษตรกรรม พื้นที่ส่วนใหญ่ในอดีตจึงเป็นพื้นที่แปลงเกษตรสลับกับพื้นที่ของแหล่งน้ำเพื่อการชลประทาน จากการศึกษาผังแม่บทเดิมที่จัดทำขึ้นโดยบริษัทที่ปรึกษา Demonte-Chan/Rader Campus Planning Consultant ในช่วงปี พ.ศ. 2515-2519 พบว่าบริษัทที่ปรึกษาให้ความสำคัญกับการวางระบบการหมุนเวียนและระบายน้ำตามวิธีชลประทานเกษตรด้วยการเสนอให้สร้างระบบคันดินกั้นน้ำ (dike) โดยรอบพื้นที่วิทยาเขตพร้อมกับการติดตั้งสถานีสูบน้ำออกจากพื้นที่เป็นจุดๆ ตามริมฝั่งถนนงามวงศ์วานและคลองบางเขน และเสนอให้มีการจัดทำพื้นที่หน่วงน้ำ (detention storage) ในรูปของสระหรือบ่อน้ำ คู คลอง และพื้นที่เปิดโล่งไม่ดาดแข็ง เพื่อช่วยสร้างขีดความสามารถในการรองรับ ชะลอ กักเก็บ และระบายน้ำผิวดิน (runoff) ให้ได้ตามปริมาณที่คาดการณ์ไว้ แนวคิดนี้เป็นการนำเสนอการจัดการระบบระบายน้ำผิวดินผ่านการกำหนดผังการใช้ที่ดินและการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกับสภาพภูมิศาสตร์แบบฝนตกชุกและเป็นที่ราบลุ่มต่ำของวิทยาเขต ด้วยการเลียนแบบธรรมชาติและให้ความสำคัญแก่การชะลอและกักเก็บน้ำก่อนระบายออกสู่ภายนอกวิทยาเขต และมหาวิทยาลัยเองก็ได้รับเอาแนวคิดนี้มาปฏิบัติตามดังปรากฏให้เห็นได้จากลักษณะของผังกายภาพที่เกิดขึ้นจริงในยุคนั้น

เมื่อมหาวิทยาลัยมีการเจริญเติบโตและพัฒนาขององค์กร การพัฒนาจึงมาพร้อมกับความต้องการของพื้นที่อาคารเพื่อการใช้สอยเพิ่มมากขึ้น วิทยาเขตบางเขนได้มีอัตราการขยายตัวของพื้นที่อาคารและถนนอย่างรวดเร็วและเป็นไปอย่างก้าวกระโดดในช่วงปี พ.ศ. 2535-2544 (พาสินีและคณะ, 2545) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจวบจนถึงปัจจุบัน การพัฒนาพื้นที่ส่งผลให้ปริมาณพื้นสีเขียวที่เปิดโล่งลดลง แหล่งน้ำขนาดใหญ่และโครงข่ายคูน้ำดั้งเดิมถูกรุกล้ำด้วยการถมและแทนที่ด้วยการใช้ระบบท่อระบายน้ำฝังดินขนาดใหญ่ (piping system) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการก่อสร้างและตกแต่งภูมิทัศน์อาคารและในการสร้างทางสัญจรเช่นถนนหรือทางเท้า นอกจากนี้โครงข่ายคูน้ำบางส่วนได้รับการดาดแข็งตลิ่งและท้องคูเพื่อเหตุผลของ “ความเป็นระเบียบเรียบร้อยสวยงาม” อาคารสิ่งปลูกสร้างที่เกิดขึ้นใหม่ของทุกหน่วยงานได้มีการยกระดับอาคารให้สูงกว่าพื้นดินโดยรอบค่อนข้างมากเพื่อป้องกันปัญหาน้ำท่วม เป็นการผลักภาระไปให้พื้นที่อื่นที่มีระดับต่ำกว่า นอกจากนี้สิ่งปลูกสร้างใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นทำให้ระดับพื้นดินภายในวิทยาเขตมีความสูงต่ำเป็นแห่งๆ กีดขวางการไหลของน้ำผิวดินลงสู่แหล่งรับน้ำ โครงข่ายการระบายน้ำที่ได้ถูกตัดขาดออกจากกันเป็นช่วงๆ จากการถมที่ดินทำให้เกิดความสับสนของทิศทางการระบายน้ำ น้ำในคูน้ำต้องเดินทางไกลเพิ่มขึ้นก่อนถึงสถานีสูบน้ำ ดังนั้นเมื่อเกิดฝนตกหนักจึงทำให้เกิดน้ำท่วมขังภายในพื้นที่วิทยาเขตเฉพาะจุดได้ง่ายขึ้นและยาวนานขึ้นกว่าปกติ ถนนภายในวิทยาเขตหลายช่วงจึงทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บน้ำผิวดินที่ยังไม่สามารถระบายออกจากพื้นที่ได้ทัน นอกจากนี้คุณภาพน้ำผิวดินที่ถูกระบายออกจากพื้นที่ยังเต็มไปด้วยตะกอนและสารปนเปื้อนโดยไม่ได้รับการบำบัดก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะภายนอกวิทยาเขตแต่อย่างใด การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดขึ้นกับพื้นที่สีเขียวเปิดโล่งและโครงข่ายการระบายน้ำนี้ส่งผลกระทบทางลบต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการระบายน้ำผิวดินภายในวิทยาเขต ทำให้ขีดความสามารถในการรับ ชะลอ กักเก็บ และระบายน้ำผิวดินของพื้นที่ลดลงเมื่อเกิดฝนตกหนัก มหาวิทยาลัยได้ตระหนักถึงปัญหาน้ำท่วมขังนี้ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2545 มหาวิทยาลัยจึงได้ทำการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมขังและการสับสนของทิศทางการระบายน้ำในพื้นที่บางจุดด้วยการวางท่อระบายน้ำขนาดใหญ่ใต้ดินสำหรับการระบายทางลัด (by pass) เพื่อร่นเวลาและระยะทางในการระบายน้ำบางส่วนไปสู่สถานีสูบน้ำ แต่จากปัญหาน้ำท่วมขังหลังเกิดฝนตกหนัก ณ ปัจจุบันที่ยังคงเกิดขึ้นอยู่และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นว่า การแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มขนาดท่อระบายน้ำและการปรับทิศทางการระบายน้ำให้ลัดสั้นที่สุดยังมิใช่การแก้ปัญหาที่ตรงจุด

สภาพปัญหาของระบบการบริหารจัดการระบายน้ำผิวดินที่เกิดขึ้นสะท้อนให้เห็นว่าวิทยาเขตบางเขนประสบกับภาวะการเจริญเติบโตของกายภาพอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่โครงสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานเดิมสามารถรองรับได้

แม้ว่าจะมีการดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหา แต่ทว่าการดำเนินการกลับเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับแนวคิดหลักของระบบคูน้ำคันดิน สะท้อนถึงความไม่เข้าใจสภาพพื้นที่ดั้งเดิมอันเป็นพื้นที่ลุ่มของวิทยาเขต และสะท้อนถึงแนวคิดการบริหารจัดการที่อยู่บนพื้นฐานว่า "น้ำผิวดินเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ สมควรกำจัดออกจากพื้นที่ให้เร็วที่สุด"[1] ความพยายามในการแก้ปัญหาเหล่านี้เป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ เป็นการแก้ปัญหาแบบแยกส่วน จึงเกิดคำถามว่าเราสามารถปรับปรุงการบริหารจัดการระบบระบายน้ำผิวดินของวิทยาเขตบางเขนได้อย่างไร ตามปณิธานของมหาวิทยาลัยที่ว่า "เกษตรเขียวสะอาดปราศจากมลพิษ" เมื่อแนวทางการบริหารจัดการเดิมไม่สามารถตอบโจทย์ได้ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จึงต้องการกระบวนทัศน์ใหม่ในการทำความเข้าใจและแก้ปัญหาการบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีคิดที่เป็นนวัตกรรมใหม่ สอดคล้องกับพฤติกรรมการระบายน้ำดั้งเดิมของพื้นที่ และเกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด การศึกษาชิ้นนี้จึงใช้แนวทางการบริหารจัดการระบบระบายน้ำผิวดินที่คำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Low Impact Development : LID)[2] เป็นต้นแบบของแนวคิดที่พึงปฏิบัติ เพื่อนำมาปรับใช้กับการดำเนินการในพื้นที่วิทยาเขตบางเขน โดยตระหนักถึงความต้องการในการใช้ที่ดินจากการเจริญเติบโตทางกายภาพของวิทยาเขตบางเขนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การศึกษาวิจัยได้นำข้อมูลจากการศึกษาของพาสินีและคณะ (2545) เกี่ยวกับผังการใช้ที่ดินและแนวทางการวางระบบระบายน้ำผิวดินแรกเริ่มของมหาวิทยาลัย เพื่อวิเคราะห์หาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและลดลงของสัดส่วนการใช้ที่ดินประเภทต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงของระบบระบายน้ำผิวดินจากอดีตถึงปัจจุบัน นอกจากนี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่เพิ่มเติมในรูปของแผนที่ ภาพถ่าย รูปวาด และการสัมภาษณ์แบบเจาะจงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการบริหารจัดการดูแลรักษาระบบระบายน้ำผิวดินและการใช้ที่ดินภายในวิทยาเขต เพื่อทำการวิเคราะห์หาแนวโน้มของลักษณะการพัฒนาพื้นที่มหาวิทยาลัยที่จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการระบายน้ำผิวดินของวิทยาเขตบางเขนในอนาคต การศึกษาวิจัยได้ใช้กรอบแนวคิดของ LID มาทำการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาแนวแนวทางการบริหารจัดการระบบระบายน้ำผิวดินภายในวิทยาเขตที่ส่งเสริมพฤติกรรมการไหลของน้ำตามธรรมชาติและคำนึงถึงลักษณะการใช้งานของพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย เพื่อนำเสนอแนวปฏิบัติในการออกแบบวางผังพื้นที่เปิดโล่งของวิทยาเขตบางเขนตามแนวคิด LID

LID: สู่แนวคิดสาธารณูปโภคสีเขียว

ตามธรรมชาติเมื่อเกิดฝนตกลงมา น้ำส่วนหนึ่งจะตกค้างอยู่ที่พืชพรรณตั้งแต่ไม้ยืนต้นจนถึงไม้คลุมดินและระเหยสู่ชั้นบรรยากาศ ส่วนหนึ่งจะซึมกลับลงดินหลังจากผ่านการกรองสารปนเปื้อนบางชนิดตามวิถีธรรมชาติ ส่วนที่เหลือจึงไหลลงสู่แหล่งน้ำลำคลองต่างๆ แต่ลักษณะพื้นที่ในเขตเมืองอันมีสัดส่วนของปริมาณพื้นผิวดาดแข็งจำนวนมากเช่น ลานจอดรถ ถนน ดาดฟ้าอาคาร กลับสกัดกั้นมิให้น้ำฝนที่ตกลงมาซึมกลับสู่ชั้นใต้ดิน ปริมาณน้ำผิวดินจำนวนมหาศาลจึงเกิดขึ้นและสร้างภาระที่ต้องทำการระบายออกจากพื้นที่อย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการท่วมขัง เอกสารเผยแพร่แนวคิด LID Strategies โดย Prince George's County[3] กล่าวไว้ว่า ระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดิน ณ ปัจจุบันในเขตเมืองใหญ่ส่วนมากยังเป็นแบบอนุรักษ์นิยม (Conventional Stormwater Management) และมีแนวคิดพื้นฐานว่า *"น้ำผิวดินเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ต้องจัดการระบายออกจากพื้นที่อย่างรวดเร็วที่สุด"* แนวคิดนี้ให้ความสำคัญกับประสิทธิภาพความรวดเร็วของการระบายน้ำออกจากพื้นที่ไม่ว่าจะมีปริมาณมากเพียงใดก็ตาม ดังนั้นองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ถนน หลังคา รางระบายน้ำ ขอบทาง ท่อน้ำ ลานจอดรถ จึงได้รับการออกแบบให้สามารถลำเลียงน้ำผิวดินออกจากพื้นที่

[1] แนวคิดนี้เป็นแนวคิดการบริหารจัดการน้ำผิวดินแบบอนุรักษ์นิยม (Conventional System) ที่เชื่อมั่นในระบบระบายน้ำแบบพึ่งพาโครงสร้าง(Structural System) อันได้แก่ท่อและบ่อพักคอนกรีตตลอดจนบ่อรับน้ำขนาดใหญ่ว่า สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการบริหารจัดการน้ำผิวดินของพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

[2] บาศมน (2550) ได้เรียกแนวทางนี้ว่า "แนวทางการออกแบบเพื่อลดปัญหาน้ำท่วม"

ได้อย่าง *"รวดเร็วที่สุด"* น้ำผิวดินจำนวนมากจะไหลลงสู่ท่อระบายน้ำใต้ดิน ก่อนเดินทางไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมขนาดใหญ่ที่ปลายทาง (end-of-pipe-system) และปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาอย่างต่อเนื่อง ได้แก่มลพิษปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ มลพิษปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดิน และการกัดเซาะชายฝั่ง (Ferguson, 2002) ระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดินแบบอนุรักษ์นิยมนี้ ไม่เปิดโอกาสให้ระบบอุทกวิทยา (hydrologic cycle) ในพื้นที่สามารถทำหน้าที่ของตัวเองได้อย่างที่ควรจะเป็นตามธรรมชาติ หากแต่ถูกแทรกแซงด้วยกระบวนการเชิงวิศวกรรมที่เร่งให้เกิดความเร็วเกินปกติ นอกจากนี้เมื่อระบบมีอายุเก่าแก่ก็ต้องใช้งบประมาณจำนวนมหาศาลในการซ่อมแซมหรือสร้างใหม่ นอกจากการทำหน้าที่ระบายน้ำออกจากพื้นที่แล้ว ระบบนี้ไม่สามารถตอบสนองการเป็นแหล่งน้ำใช้อุปโภค สิ่งอำนวยความสะดวกของชุมชน (community facilities) การเป็นภูมิทัศน์ที่ดีของชุมชนตลอดจนเป็นถิ่นที่อยู่ (habitat) ของสัตว์ท้องถิ่นอื่นๆ ในพื้นที่ได้ ซึ่งความต้องการนอกเหนือที่กล่าวมานี้เป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาสภาพแวดล้อมเมืองอย่างยั่งยืน[4] ในปี พ.ศ. 2542 หลังจากการค้นคว้าวิจัยอย่างยาวนาน กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติแห่งเทศบาลเมืองปรินซ์จอร์จ มลรัฐแมรี่แลนด์ (Prince George County Maryland, Department of Environmental Resources) ร่วมกับสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency) ได้เผยแพร่คู่มือที่ชื่อว่า *Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach* เพื่อเป็นแนวทางต้นแบบให้กับหน่วยงานท้องถิ่นในมลรัฐต่างๆ ได้นำไปปรับใช้และพัฒนาระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดินให้มีความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และสร้างความยั่งยืนให้แก่สภาพแวดล้อม โดยได้นำเสนอว่า LID คือทางเลือกใหม่ของการบริหารจัดการน้ำผิวดินที่สามารถป้องกันน้ำท่วมและอนุรักษ์หรือฟื้นฟูระบบนิเวศวิทยาของพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆ ด้วยการให้ความสำคัญกับการจัดการ ณ พื้นที่ต้นทาง (on-site management) Coffman (2002) อธิบายว่าแนวคิด LID นั้นมุ่งเน้นการรักษาสภาพระบบอุทกวิทยาในพื้นที่หลังการพัฒนาปรับเปลี่ยนให้ใกล้เคียงกับสภาพดั้งเดิมก่อนการพัฒนา (predevelopment hydrologic function) ตลอดจนมุ่งฟื้นฟูหน้าที่ทางอุทกวิทยาในพื้นที่ที่สูญเสียไปให้กลับมาดีกว่าเดิม ด้วยการเลียนแบบพฤติกรรมการไหลของน้ำตามธรรมชาติอันได้แก่ การกักเก็บ หน่วงเวลาการระบาย การซึมกลับและการระบายออกของปริมาณน้ำผิวดินที่เป็นแบบแผนเดียวกันต่อเนื่องตลอดภายในพื้นที่ โดยแนวทาง LID สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวางแผนในการพัฒนาพื้นที่ใหม่หรือการปรับปรุงพื้นที่เก่า (retrot) ในสภาพแวดล้อมเมือง ประโยชน์ขั้นพื้นฐานของแนวทาง LID คือการอนุรักษ์และปรับปรุงคุณภาพน้ำ ป้องกันมลพิษปนเปื้อนน้ำ บริหารจัดการน้ำผิวดินอย่างมีประสิทธิภาพสามารถป้องกันน้ำท่วมและประหยัดทั้งค่าก่อสร้างและบำรุงรักษา สามารถอนุรักษ์แหล่งน้ำใต้ดิน ตลอดจนสร้างสภาพแวดล้อมที่น่าอยู่ให้กับชุมชนได้ (Guillette, 2010) ในทางปฏิบัติ LID เป็นการสร้างภูมิทัศน์เพื่อการบริหารจัดการน้ำผิวดินอย่างเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยมุ่งเน้นการจัดการบนพื้นที่ต้นทาง เพื่อจัดการน้ำฝน ณ พื้นที่ที่ตกทันที มากกว่าการผลักภาระให้ระบบส่วนกลาง Hager (2003) ได้อธิบายรายละเอียดการประยุกต์ใช้แนวทาง LID เพื่อสร้างสรรค์ภูมิทัศน์ว่าสามารถจะเริ่มตั้งแต่ระดับการจัดการวางผังที่เน้นย้ำการอนุรักษ์องค์ประกอบทางภูมิทัศน์ธรรมชาติดั้งเดิมที่สำคัญของพื้นที่ เช่น กลุ่มพืชพรรณสำคัญ เนิน แอ่งน้ำลุ่มต่ำ และจำกัดพื้นที่ทำงานก่อสร้างให้อยู่ในวงแคบที่สุด เคารพต่อสภาพภูมิประเทศดั้งเดิม (strategic grading) จากนั้นจึงบูรณาการเทคนิคพิเศษต่างๆเพื่อจัดการกับน้ำผิวดินที่เกิดขึ้น โดยคำนึงถึงหน้าที่ของการลำเลียง (conveyance) กักเก็บ (storage) ซึมกลับ (inltration) และ การจัดภูมิทัศน์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การลำเลียงน้ำผิวดินผ่าน ร่องระบายน้ำผิวหญ้า (grassed channels) ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม(vegetation swales/ bio-swales/

[3] www.epa.gov/owow/NPS/lid/lidnatl.pdf

[4] http://www.ciria.com/suds/background.htm

bio-retention channels) และการซอยย่อยพื้นผิวดาดแข็งมิให้ต่อเนื่องด้วยการปลูกพืชพรรณแทนที่

- การสร้างกระบวนการกักเก็บเพื่อลดปริมาณน้ำผิวดินสูงสุดที่ถูกระบายออกจากพื้นที่ (peak discharge) ด้วยองค์ประกอบภูมิทัศน์ต่างชนิด เช่น บ่อเก็บน้ำใต้ทางเท้า (pedestal sidewalks) สวนหลังคา สวนในบ้าน ถังเก็บน้ำฝน (rain barrels) หรือหน่วยเก็บน้ำใต้ดินในลักษณะอื่นๆ
- การสร้างกระบวนการการซึมกลับเพื่ออนุรักษ์ระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้วยองค์ประกอบภูมิทัศน์เช่น พื้นผิวแบบรูพรุน (permeable/porous pavements) คูน้ำ สระน้ำ และอุปกรณ์หน่วงน้ำใต้ดินเพื่อการปล่อยซึมกลับภายหลัง (exltration devices)
- การจัดภูมิทัศน์เพื่อส่งเสริมกระบวนการลำเลียงกักเก็บ ซึมกลับ การปรับลดความชันพื้นที่ และการใช้พืชคลุมดินท้องถิ่น

ทั้งนี้เทคนิคของ LID ไม่จำเป็นต้องเป็นสิ่งใหม่ แต่เป็นนวัตกรรมทางแนวคิดของการบริหารจัดการน้ำผิวดิน โดยรวบรวมและปรับปรุงเทคนิควิธีการต่างๆ ที่มีอยู่เดิมเข้าด้วยกัน เพื่อสร้างแนวทางการบริหารจัดการน้ำที่เบ็ดเสร็จและกระจายตัวอย่างทั่วถึงในพื้นที่ต้นทาง สามารถตอบสนองทั้งการป้องกันน้ำท่วมและฟื้นฟูระบบนิเวศของสภาพแวดล้อม เทคนิคของ LID ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาโครงสร้างอันซับซ้อน แต่เป็นการใช้องค์ประกอบทางภูมิทัศน์เพื่อการระบายน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดและหลากหลาย ด้วยเหตุนี้ LID จึงถูกใช้สลับกับคำว่า “สาธารณูปโภคสีเขียว” (green infrastructure)[5] อย่างแพร่หลาย ความมีประสิทธิภาพของ LID ทำให้ EPA ของสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่งต่อการนำแนวคิด LID และ Green Infrastructure ผนวกเข้าไว้ในการออกกฎหมายควบคุม (stormwater regulations) ที่กำลังอยู่ระหว่างการปรับปรุงและมีกำหนดจะแล้วเสร็จภายในปี พ.ศ. 2545 นี้ โดย EPA มีแนวโน้มที่จะนำเทคนิคเฉพาะของ LID บางเทคนิคบรรจุลงไปในเนื้อหาของกฎข้อบังคับได้แก่ สวนกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (rain garden) ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (bio-swales) หลังคาเขียว (green roofs) พื้นผิวแบบรูพรุน (porous paving) ลดการใช้ขอบทาง (curb cuts) และถังเก็บน้ำฝน (rain barrels & cisterns.)[6] เพื่อเป็นการสนับสนุนแนวคิดนี้ ASLA (American Society of Landscape Architecture) จึงได้ทำการประชาสัมพันธ์ให้ผู้ที่ได้นำเทคนิค LID ไปใช้กับโครงการจริง ได้ส่งรายละเอียดการประเมินผลแนวทางการใช้ LID มายัง ASLA โดย ASLA ตั้งเป้าที่จะรวบรวมตัวอย่างจริงให้ได้ 300 ตัวอย่างเพื่อนำส่ง EPA ภายในเดือน มี.ค. 2555 นี้ การเคลื่อนไหวอย่างจริงจังในประเทศสหรัฐอเมริกาตลอดจนในภูมิภาคอื่นทั่วโลก[7] ได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของ LID และแนวคิดสาธารณูปโภคสีเขียว ต่อการพัฒนาสภาพแวดล้อมเมืองอย่างยั่งยืน ดังนั้นเมื่อย้อนกลับมาพิจารณากรณีศึกษาในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จึงสมควรเป็นอย่างยิ่งที่จะมีการนำแนวคิดนี้มาทำการศึกษาเพื่อค้นหาแนวทางและเทคนิคที่เหมาะสมกับสภาพอุทกวิทยาของพื้นที่

วิทยาเขตบางเขนจากอดีตสู่ปัจจุบัน

1. สถานการณ์พื้นที่สีเขียวเปิดโล่ง

จากการศึกษาพบว่า นับแต่มหาวิทยาลัยเริ่มมีการกำหนด

---

[5] เอกสารเผยแพร่ของ U.S. Department of Housing and Urban Development Ofce of Policy Development and Research, The Practice of Low Impact Development กล่าวอธิบายไว้ว่า Green Infrastructure Development มีความหลายของระดับการใช้งาน ตั้งแต่การใช้ถังเก็บน้ำฝนในบ้านพักอาศัยไปจนถึงการบริหารจัดการน้ำผิวดินในระดับเมือง จังหวัด และประเทศ

Available: (www.huduser.org/publications/pdf/practlowimpctdevel.pdf) [cited August 30, 2011]. อ้างใน Dunn (2010).

[6] Bradford Mckee. 2011. Land Matters: Got Stormwater? Landscape Architecture Magazine, March 2011, Vol 101:4. ในบทความนี้ได้มีการใช้คำว่า LID ควบคู่ไปกับคำว่า Green Infrastructure เช่นกัน

[7] Larry Coffman ผู้เชี่ยวชาญคนสำคัญในการพัฒนาแนวคิด LID ร่วมกับ Prince George County ได้กล่าวไว้ว่า แนวคิด LID มิได้เป็นแนวคิดใหม่หากแต่มีการถือกำเนิดมาแล้วในช่วงต้นของ ค.ศ. 1980s ในประเทศเยอรมัน ฝรั่งเศส และญี่ปุ่น อ้างใน Hager (2003)

ผังแม่บทเมื่อปี พ.ศ. 2534 สามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของวิทยาเขตบางเขนได้เป็น เขตการศึกษา เขตการบริหารและสนับสนุนการศึกษา เขตบริการ เขตพักอาศัยและนันทนาการ พาสินีและคณะ (2545) ทำการเปรียบเทียบผังแม่บทของวิทยาเขต ระหว่างปี พ.ศ. 2534 และ 2543 พบว่าในระยะช่วงเวลา 9 ปีนี้ วิทยาเขตมีมีแนวโน้มการขยายตัวที่สูงมาก การใช้ที่ดินไม่เป็นไปตามผังแม่บทที่กำหนด เกิดการใช้พื้นที่แบบผสม (mixed use) เกือบทุกเขต ก่อให้เกิดปัญหาการก่อสร้างอาคารที่ไม่มีระบบชัดเจน เกิดปัญหาจราจรและมลภาวะเป็นพิษ จนถึงปัจจุบัน ณ ปี พ.ศ. 2554 สภาพการณ์การใช้ที่ดินของวิทยาเขตก็ยังไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือไม่มีแผนในการใช้ที่ดินที่ชัดเจน อาคารหลายอาคารตั้งอยู่บนพื้นที่ที่ได้รับการกำหนดไว้ให้เป็นพื้นที่สีเขียวเปิดโล่ง[8] เพื่อการบริการและนันทนาการและเพื่อการเป็นพื้นที่กันชนระหว่างพื้นที่วิทยาเขตกับถนนใหญ่ภายนอก เป็นที่น่าสังเกตว่าในขณะที่มีการพัฒนาอาคารสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ในวิทยาเขตเพื่อรองรับการเติบโตของมหาวิทยาลัยอย่างต่อเนื่อง แต่พื้นที่สีเขียวเปิดโล่งตลอดจนพื้นที่รอยต่อระหว่างหน่วยงานกลับยังคงอยู่ในสภาพดั้งเดิมและมีจำนวนลดน้อยลง ปราศจากการปรับปรุงให้เหมาะสมกับการใช้งานและบางส่วนยังคงสภาพเป็นพื้นที่รกร้างขาดการดูแล เป็นพื้นที่ด้อยใช้ แหล่งน้ำและคูน้ำบางส่วนตื้นเขิน รกร้างกลายเป็นพื้นที่เสื่อมโทรม ที่ตั้งของอาคารใหม่หลายอาคารรุกล้ำแหล่งน้ำและโครงข่ายคูระบายน้ำเดิม พื้นที่เปิดโล่งเหล่านี้จึงถูกลดบทบาทลงจากการเป็นองค์ประกอบสำคัญของภูมิทัศน์วิทยาเขตบางเขนกลายเป็นเพียงแค่พื้นที่ “เหลือใช้” จากการพัฒนา

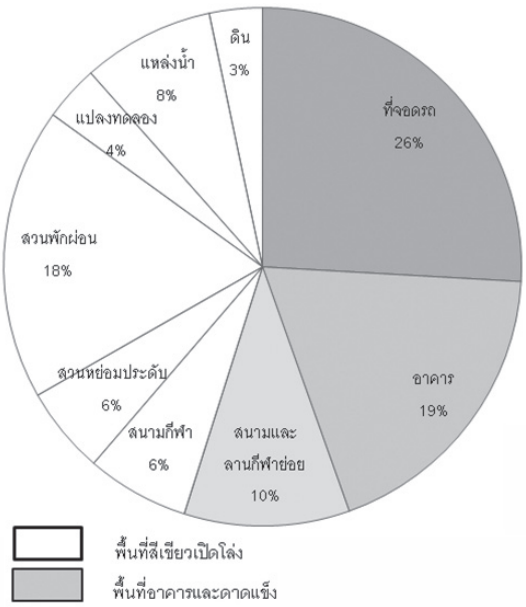
2. สัดส่วนการใช้ที่ดินในวิทยาเขต ณ ปัจจุบัน

จากการสำรวจในปี พ.ศ. 2553 พบว่ามีสัดส่วนของพื้นที่สีเขียวเปิดโล่งที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้คิดเป็นร้อยละ 45 ของที่ดินในวิทยาเขตทั้งหมด ในขณะที่สัดส่วนของพื้นที่อาคารและพื้นที่ดาดแข็งอื่นๆ คิดเป็นร้อยละ 56 ของที่ดินในวิทยาเขตทั้งหมด (ดูภาพที่ 2) ในการสำรวจพบว่าเขตที่พื้นที่สีเขียวเปิดโล่งที่มีลักษณะเป็นผืนขนาดใหญ่ (patch) และค่อนข้างต่อเนื่องถึงกันอยู่ในเขตของพื้นที่หอพักและการนันทนาการ ส่วนเขตที่มีพื้นที่เปิดโล่งสีเขียวหลงเหลือน้อยที่สุดคือ เขตพื้นที่การศึกษา บริการการศึกษา และการพาณิชยกรรม (ดูภาพที่ 1) พื้นที่ลานจอดรถบนดินมีสัดส่วนการใช้ที่ดินในวิทยาเขตมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งคิดเป็นร้อยละ 26 รองลงมาคือการใช้ที่ดินเพื่อการปลูกสร้างอาคารของทั้งวิทยาเขตร้อยละ 19 ใกล้เคียงกับการใช้ที่ดินเพื่อเป็นสวนพักผ่อนร้อยละ 18 ส่วนพื้นที่แหล่งน้ำนั้นมีสัดส่วนคิดเป็นร้อยละ 8 ของพื้นที่วิทยาเขต แม้ในภาพรวมสัดส่วนการใช้ที่ดินระหว่างพื้นที่สีเขียวเปิดโล่งและพื้นที่ดาดแข็งรวมถึงอาคารสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ค่อนข้างมีความใกล้เคียงกัน แต่จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของวิทยาเขตในอดีตจนถึงปัจจุบัน พบว่าแนวโน้มของการใช้ที่ดินเพื่อการปลูกสร้างสิ่งก่อสร้างใหม่ๆ ยังจะคงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการพัฒนาเติบโตของมหาวิทยาลัย ซึ่งเท่ากับว่าพื้นผิวที่รองรับและซึมกลับของน้ำผิวดินจะมีสัดส่วนที่ลดลงเรื่อยๆ เช่นกัน หากไม่มีการกำหนดแผนการใช้ที่ดินที่ชัดเจนและเหมาะสมก็จะทำให้เกิดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมในวิทยาเขตตามมาอย่างแน่นอนในอนาคต

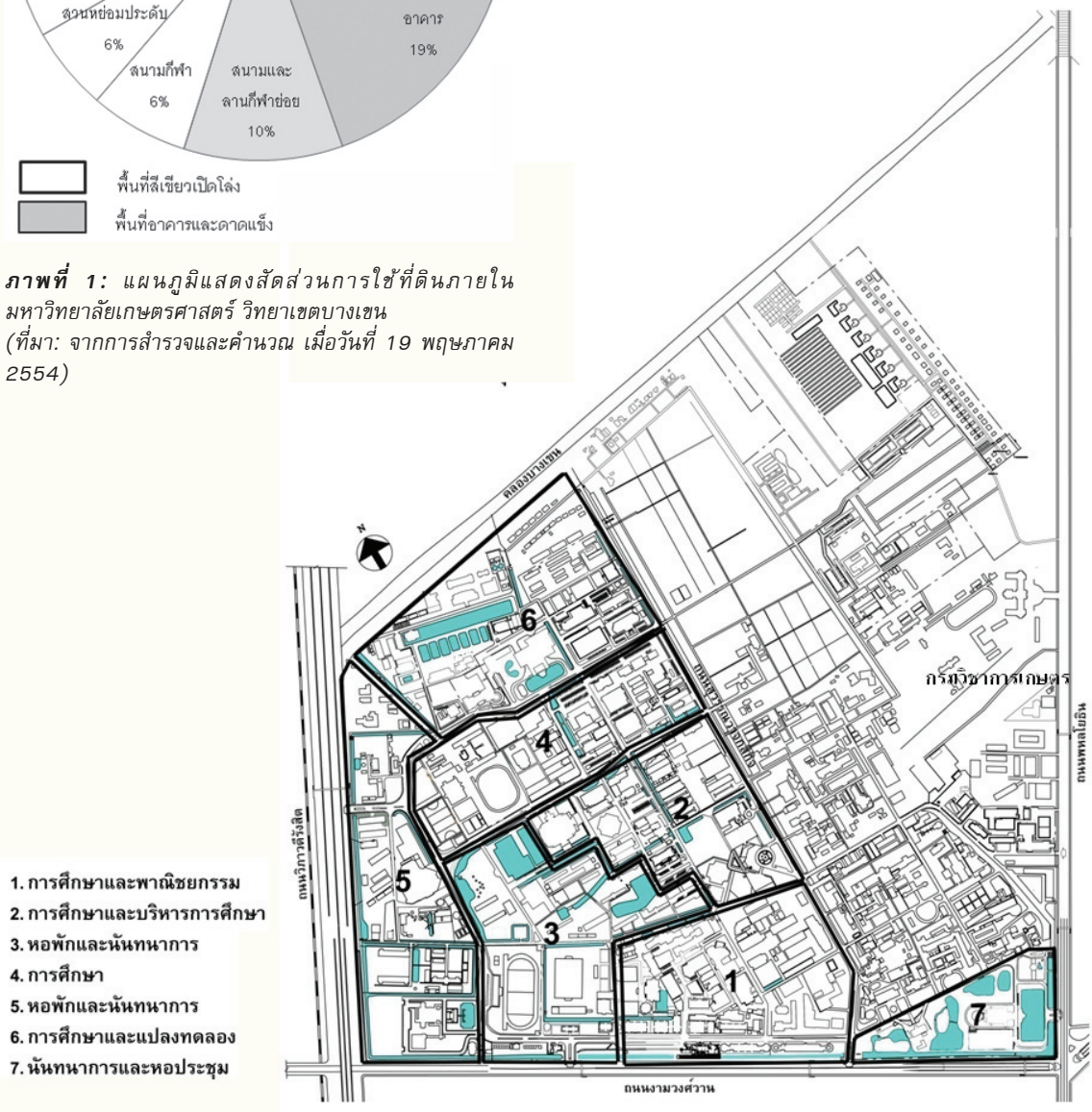
3. ลักษณะการระบายน้ำผิวดินในวิทยาเขตบางเขน

ปัจจุบันโครงข่ายการบริหารจัดการระบายน้ำผิวดินของวิทยาเขตบางเขนประกอบด้วย ระบบคูน้ำผสมผสานกับระบบท่อระบายน้ำใต้ดินและระบบทางระบายน้ำแบบเปิด (ดูภาพที่ 3 และ 4) และแหล่งน้ำหลากหลายขนาดที่กระจายตัวอยู่ ณ จุดต่างๆ ในวิทยาเขต โดยกลุ่มแรกทำหน้าที่ซึมน้ำกลับและลำเลียงน้ำออกจากพื้นที่ ส่วนกลุ่มหลังทำหน้าที่รับ ชะลอน้ำ และซึมน้ำกลับ เพื่อลดปริมาณน้ำผิวดินที่ต้องระบายออกจากพื้นที่วิทยาเขต ระบบผสมผสานนี้เป็นระบบที่เอื้อต่อการบริหารจัดการปริมาณน้ำผิวดินเป็นจำนวนมากในพื้นที่ลุ่มต่ำเมื่อเกิดฝนตกหนัก โดยปริมาณน้ำผิวดินที่เกิดขึ้นหลังฝนตกหนักจะได้รับการหน่วง กักเก็บ ซึมกลับ ในพื้นที่วิทยาเขตก่อนจะค่อย

[8] พื้นที่สีเขียวเปิดโล่งในการศึกษานี้หมายรวมถึง พื้นผิวที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้เช่น สนามหญ้า พื้นดิน พื้นบล็อกหญ้า พื้นกรวด และแหล่งน้ำต่างๆ ได้แก่บึง สระ และโครงข่ายคูระบายน้ำ



ภาพที่ 1: *แผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้ที่ดินภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน*
(ที่มา: จากการสำรวจและคำนวณ เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2554)



ภาพที่ 2: *ผังแสดงการแบ่งเขตแสดงลักษณะการใช้ที่ดินในวิทยาเขต*
(ที่มา: จากการสำรวจและกำหนด เมื่อวันที่ 19 พฤษภาคม 2554)

ทำการทยอยสูบออกด้วยเครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่ 2 จุดลงสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะของกทม.อันได้แก่ คลองหมู่ไผ่ทางด้านเหนือของพื้นที่และคลองระบายน้ำริมถนนวิภาวดีรังสิต ดังนั้นในฤดูฝนจึงมีการพร่องน้ำในคูระบายน้ำเตรียมไว้เสมอเพื่อรับปริมาณน้ำผิวดินที่จะเกิดขึ้นจากพายุฝนตกหนัก จากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่กองยานพาหนะและอาคารสถานที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบได้ให้ข้อมูลว่า โครงข่ายคูระบายน้ำแบบเปิดในวิทยาเขต เป็นระบบน้ำนิ่งที่จะเกิดการเคลื่อนไหวถ่ายเทก็ต่อเมื่อมีการผลักดันน้ำและสูบน้ำด้วยเครื่องกลออกจากพื้นที่ ดังนั้นการระบายน้ำออกจากวิทยาเขตที่มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีความสะดวกของการไหล ปราศจากสิ่งกีดขวาง คูรับน้ำและแหล่งน้ำทั้งหลายสามารถเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายอย่างสมบูรณ์ไม่ขาดช่วง นอกจากนี้ระบบระบายน้ำในวิทยาเขตบางเขนเป็นระบบรวมหรือที่เรียกว่า CSO (Combine Sewage Overow) โดยทำหน้าที่รับน้ำเสียจากอาคารและน้ำผิวดินรวมถึงน้ำฝนที่ตกลงมาโดยตรง ให้ไหลรวมกันก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จากการสำรวจพบว่าน้ำผิวดินจากคูระบายน้ำในวิทยาเขตจะถูกสูบออกสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะภายนอกโดยไม่มีการบำบัดแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามดังที่ได้กล่าวแล้วว่า ปัจจุบันโครงข่ายการระบายน้ำผิวดินในวิทยาเขตได้ถูกรุกล้ำจากการก่อสร้างอาคาร และถูกเปลี่ยนแปลงด้วยการดาดแข็ง แทนที่ด้วยระบบท่อระบายใต้ดินและท่อลอด (culvert) หรือจนกระทั่งถมทับเพื่อเปลี่ยนแปลงการใช้งาน สิ่งเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญตามมาได้แก่ 1. คุณภาพน้ำเน่าเสียและปนเปื้อนสารโลหะหนัก สารเคมีและสารแขวนลอย 2. การเกิดน้ำท่วมขังเมื่อเกิดฝนตกหนักเนื่องจากระบายน้ำไม่ทัน ในกรณีแรกนั้นพบว่าเนื่องจากมหาวิทยาลัยยังใช้ระบบระบายน้ำแบบรวม จึงทำให้น้ำเสียจากอาคารไหลลงสู่คูระบายน้ำโดยตรง ดังนั้นจึงเกิดภาวะของคูน้ำเน่าเสียเป็นจุดๆในบริเวณที่มีการปล่อยน้ำเสียออกมา

ภาพที่ 3: *ทางระบายน้ำพุทธรักษาบนเกาะกลางถนนเมื่อวันฝนตกหนัก*
(ที่มา : ภาพถ่าย เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2554)

ภาพที่ 4: *คูระบายน้ำภายในวิทยาเขต*
(ที่มา : ภาพถ่าย เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2554)

เป็นปริมาณมากจากอาคารประเภท โรงอาหาร หอพัก ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม ห้องปฏิบัติการอุตสาหกรรมเกษตร[9] นอกจากนี้จากการศึกษาพบว่าท่อลอด ที่เกิดจากการปิดผิวหน้าของคูน้ำเพื่อใช้ประโยชน์เป็นลานดาดแข็งสำหรับจอดรถ (ดูภาพที่ 5) มีส่วนที่ทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย เนื่องจากเมื่อเกิดการสูบน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากพื้นที่ น้ำระดับผิวบนอันเป็นน้ำฝนที่รับเข้ามาใหม่จะถูก

[9] น้ำเสียจากอาคารประเภท โรงอาหาร หอพัก ศูนย์ผลิตภัณฑ์นม ห้องปฏิบัติการอุตสาหกรรมเกษตร เกิดจากการชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลาย เช่น การอาบน้ำ การล้างภาชนะอุปกรณ์ต่างๆ อนึ่งแม้ศูนย์ผลิตภัณฑ์นมมีบ่อบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตนมโดยตรงแต่น้ำในคูระบายน้ำบริเวณศูนย์ฯ ก็ยังเกิดการเน่าเสียอยู่

ระบายออกก่อน บริเวณท้องท่อยังคงเหลือน้ำเก่าตกค้างที่คุณภาพไม่ดีทำให้เกิดน้ำเน่าเสียได้ หากมีการใช้ท่อลอดมากขึ้นก็สามารถสันนิษฐานได้ว่า จะเกิดการเน่าเสียของน้ำในคูน้ำเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน ส่วนกรณีของการปนเปื้อนโลหะหนักนั้น แม้ว่าปัจจุบันยังมิได้มีงานวิจัยเรื่องการปนเปื้อนของน้ำในวิทยาเขตบางเขนที่ชัดเจน แต่หากเทียบเคียงข้อมูลสนับสนุนจากงานศึกษาที่มีอยู่มากเรื่องคุณภาพน้ำผิวดินในพื้นที่เมืองที่มีการพัฒนาหนาแน่น พบว่าน้ำผิวดินเหล่านี้จะมีการปนเปื้อนของสารโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว จะมาจากพื้นที่จอดรถ โดยปนเปื้อนมากับน้ำมันและสารหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์ ในขณะที่สารละลายแร่ธาตุจำพวก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส นั้นมาจากปุ๋ยและสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการดูแลรักษาภูมิทัศน์ กรณีของการเกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่วิทยาเขตพบว่าเกิดจากสาเหตุหลักๆ ได้ 2 ประการ ประการแรกคือการมีปริมาณน้ำผิวดินที่ต้องระบายออกจากพื้นที่ (peak runoff discharge) สูงเกินขีดความสามารถในการกักเก็บและระบายออก ประการที่สองมีสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำผิวดินมิให้ลงสู่แหล่งรับน้ำ สาเหตุของประการแรกนั้นเกิดจาก วิทยาเขตมีพื้นที่ดาดแข็งและพื้นที่อาคารคลุมดินเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเกิดฝนตกหนักจึงทำให้เกิดน้ำนองพื้นที่เพิ่มมากขึ้นและมีอัตราการไหลลงสู่แหล่งรับน้ำเป็นปริมาณมากขึ้นและเร็วขึ้นเนื่องจากไม่มีพื้นผิวขรุขระตามธรรมชาติช่วยชะลอความเร็วการไหลของน้ำผิวดิน แต่เนื่องจากโครงข่ายการระบายน้ำที่มีอยู่ไม่สามารถทำการรับและสูบน้ำผิวดินปริมาณมากที่เกิดขึ้นออกจากพื้นที่ได้ทัน จึงส่งผลให้น้ำผิวดินส่วนเกินคงค้างอยู่บนถนนและพื้นที่ต่ำในหลายจุดของวิทยาเขตง นอกจากนี้การมีสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำผิวดิน จากการทรุดตัวของพื้นที่ถนน ทางเท้า ทำให้ท่อระบายน้ำเกิดการทรุดตัว และระดับพื้นที่การก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างใหม่ที่ไม่สัมพันธ์กับระดับดินเดิมเช่นขอบของคูระบายน้ำดาดแข็งที่สูงกว่าพื้นที่ดินโดยรอบ สิ่งเหล่านี้ทำให้น้ำผิวดินไม่สามารถไหลลงแหล่งรับน้ำได้สะดวก ส่งผลให้เกิดการท่วมขังของน้ำผิวดิน (ดูภาพที่ 6)

การวิเคราะห์ศักยภาพและข้อจำกัดของพื้นที่ต่อการดำเนินการตามแนวทาง LID

ในการวิเคราะห์พื้นที่ผู้ศึกษาได้แบ่งการพิจารณาเป็น 2 ระดับคือ ระดับผังแม่บทและระดับพื้นที่เฉพาะ โดยในระดับผังแม่บทได้มีการตั้งเกณฑ์ย่อยเพื่อพิจารณาศักยภาพพื้นที่ตามเกณฑ์เพื่อหาความเป็นไปได้ของการนำแนวทาง LID เข้าประยุกต์ใช้กับพื้นที่โดยครอบคลุมหัวข้อดังนี้ ศักยภาพการอนุรักษ์แหล่งน้ำดั้งเดิม ศักยภาพการอนุรักษ์พื้นที่สีเขียวเปิดโล่งขนาดใหญ่ ศักยภาพในการประยุกต์ใช้กลยุทธ์ปรับปรุงจากของเดิม ศักยภาพในการพัฒนาให้เป็นพื้นที่ภูมิทัศน์ลุ่มต่ำ (landscape depression) ซึ่งเกณฑ์นี้เป็นการพิจารณาจากความต้องการพื้นที่ของแต่ละกลยุทธ์และเทคนิค LID ว่า

ภาพที่ 5: *การสร้างที่จอดรถคร่อมคูน้ำเดิมและแทนที่ด้วยท่อลอดขนาดใหญ่ บริเวณพื้นที่ด้านหลังอาคาร KU avenue (ที่มา: ภาพถ่าย เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2554)*

ภาพที่ 6: *ขอบดาดแข็งของคูระบายน้ำที่สูงกว่าระดับพื้นดินกีดขวางมิให้น้ำผิวดินไหลลงได้อย่างสะดวก (ที่มา: ภาพถ่าย เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2554)*

ต้องการมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจึงพบว่าพื้นที่ในเขตหอพักและนันทนาการมีศักยภาพสูงสุดในเกือบทุกด้าน เนื่องจากมีพื้นที่เปิดโล่งขนาดใหญ่หลงเหลือมากที่สุด ในขณะที่พื้นที่ส่วนการศึกษา การบริการ และการพาณิชยกรรม มีพื้นที่เปิดโล่งหลงเหลือน้อยกว่า สามารถประยุกต์ใช้กลยุทธ์ปรับปรุงจากของเดิมและจำกัดปริมาณพื้นดาดแข็งเป็นหลัก

ในระดับการหาศักยภาพของพื้นที่เฉพาะในการศึกษานี้ ได้ทำการพิจารณาความเป็นไปได้ของการเลือกใช้เทคนิคที่เป็นตัวแทนของ LID ว่าควรประยุกต์ใช้เข้ากับพื้นที่ลักษณะเช่นใดในวิทยาเขตผลปรากฏดังตารางที่ 1 ดังต่อไปนี้

ในกรณีของเทคนิคสวนหลังคา (roof garden)นั้น เมื่อเทียบกับการจัดภูมิทัศน์บนดินตามปกติจะพบว่า ค่าก่อสร้างตั้งต้นยังมีราคาค่อนข้างสูง หากขาดการบำรุงรักษาที่ดีและสม่ำเสมอก็จะใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งในกรณีนี้มหาวิทยาลัยอาจจะมีข้อจำกัดทางด้านแรงงานคนและงบประมาณในการบำรุงรักษาที่เพียงพอ อย่างไรก็ตามหากมีการศึกษาแนวทางการทำสวนหลังคาที่มีการดูแลรักษาต่ำในอนาคต สวนหลังคาก็น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่ง ในส่วนของ rain barrels & cisterns นั้นแม้กรรมวิธีในการติดตั้งถังเก็บน้ำไม่ว่าจะเป็นใต้ดินหรือบนดินไม่ซับซ้อนแต่อย่างใด แต่ก็ต้องการพื้นที่ที่ใกล้กับตัวอาคารเพื่อรับน้ำฝนจากหลังคา ดังนั้นในเขตที่มีความหนาแน่นของอาคารค่อนข้างสูงอาจจะใช้เทคนิคนี้ได้ยากเนื่องจากอาจกลายเป็นสิ่งกีดขวางการใช้พื้นที่ และอาจจะสร้างทัศนียภาพที่ไม่ดีแก่สภาพแวดล้อมได้หากไม่มีการกำบัง ส่วนในกรณี permeable pavement นั้น ต้องมีการคิดค้นวิธีที่สามารถสร้างพื้นผิวที่ยอมให้น้ำซึมผ่านและไม่ทรุดตัว เนื่องจากในวิทยาเขตนั้นปัจจุบันพื้นที่จอดรถและทางเท้าที่มีการปูบล็อกหญ้าเกิดปัญหาการทรุดตัวอย่างสูง เกิดอุปสรรคต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก

นอกจากเทคนิคพิเศษที่มีการศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้เข้ากับพื้นที่วิทยาเขตแล้ว การบริหารจัดการในระดับการวางแผนและการกำหนดทิศทางการพัฒนาพื้นที่และการใช้ที่ดิน มีความสำคัญเป็นอย่างมาก วิทยาเขตบางเขนจำเป็นต้องมีเกณฑ์และข้อกำหนดในการพัฒนาพื้นที่สำหรับการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตและกรณีของการ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความเหมาะสมของการนำเทคนิค LID ประยุกต์ใช้กับพื้นที่ในวิทยาเขต

เทคนิค	ลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสม
ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม (vegetated swales)	• เกาะกลางถนน ส่งเสริมการสร้างทางระบายน้ำเกาะกลางพุทธรักษาในพื้นที่วิทยาเขตมากขึ้น โดยอาจจะเปลี่ยนวัสดุพืชพรรณที่ใช้เพื่อสร้างความน่าสนใจ • ไหล่ทางขนาบถนนสายหลักของวิทยาเขต โดยต้องไม่ขัดแย้งกับการใช้งานของพื้นที่
ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (bio-retention/rain gardens)	พื้นที่สวนหย่อมบริเวณ คณะ สำนัก สถาบัน
ระบบกักเก็บน้ำด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำ (stormwater wetlands)	พื้นที่สีเขียวลุ่มต่ำขนาดใหญ่ในส่วนหอพักและนันทนาการและพื้นที่รอยต่อระหว่างหน่วยงาน
พื้นผิวแบบรูพรุน (permeable pavements)	พื้นที่ลานจอดรถ ลานกีฬาย่อย และลานเอนกประสงค์
ถังเก็บน้ำฝน (rain barrels & cisterns)	พื้นที่ข้างอาคารสิ่งปลูกสร้างที่ยังมีพื้นที่ด้านข้างอาคารหลงเหลืออยู่และต้องมีการกำบังหรืออกแบบมิให้เป็นที่รบกวนทัศนียภาพทางสายตา
สวนหลังคา (roof gardens)	พื้นที่ดาดฟ้าอาคารขนาดใหญ่ที่มีการเข้าถึงจากผู้ใช้ที่มีปริมาณมากและหลากหลาย สามารถเป็นพื้นที่สาธารณะเพื่อการพักผ่อนได้

ปรับปรุงพื้นที่เดิม เพื่อให้เกิดภูมิทัศน์ที่มีความสอดคล้องในการชะลอ กักเก็บ ซึมกลับ และระบายของน้ำผิวดินตลอดโครงข่าย ควรมีการป้องกันการกระจายตัวของพื้นที่ดาดแข็งและอาคารสิ่งปลูกสร้างอย่างไร้ทิศทางด้วยการส่งเสริมการพัฒนาอาคารแบบซ้อนชั้นในบริเวณที่มีการพัฒนาอย่างค่อนข้างหนาแน่นอยู่เดิมได้แก่ เขตพื้นที่การศึกษา และบริการส่วนกลาง ควรต้องมีการตรวจสอบอย่างจริงจังให้ผังบริเวณของพื้นที่ก่อสร้างใหม่ต้องสอดคล้องกับระดับเดิมของพื้นที่รอยต่อ ไม่กีดขวางการไหลของน้ำผิวดิน และต้องนำกลยุทธ์ของ strategic grading ที่กำหนดให้เก็บรักษาสภาพเดิมของพื้นที่ก่อนการก่อสร้างให้มากที่สุดเพื่อทำให้ลักษณะการระบายน้ำของพื้นที่ก่อนและหลังการพัฒนาอยู่ในสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่สามารถกระทำได้ทันทีในทุกพื้นที่ได้แก่ การปลูกพืชพรรณบริเวณพื้นที่หน้าดินโล่งว่างเพื่อชะลอการไหลของน้ำหรือการปลูกแถบพืชพรรณคลุมดิน (vegetation strips) เพื่อกรองและชะลอการไหลของน้ำบริเวณพื้นที่ดาดแข็งเช่น ที่จอดรถ สนามกีฬา ลานเอนกประสงค์เป็นต้น (ดูภาพที่ 7) และเทคนิคที่น่าสนใจอีกเทคนิคคือ การปรับปรุงดิน (soil amendment) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการซึมน้ำกลับและเพิ่มแร่ธาตุในดิน อย่างไรก็ตาม เทคนิคการลดปริมาณขอบทางและรางระบายน้ำ (curb & gutter) เพื่อส่งเสริมการระบายน้ำแบบไหลแผ่ซ่าน (sheet drain) อาจจะมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ เนื่องจากพื้นที่ในวิทยาเขตต้องการโครงข่ายทางเดินเท้าที่ต่อเนื่องตลอดทั้งพื้นที่ อาจจะต้องมีการศึกษาการออกแบบพื้นที่ทางเท้าริมถนนที่ไม่กีดขวางการระบายน้ำเช่นการวางแนว vegetated swale ไว้ตรงกลางระหว่างผิวการจราจรและผิวทางเท้า เป็นต้น (ดูภาพที่ 8 และ 9)

สิ่งสำคัญยิ่งอีกประการในการปรับปรุงพัฒนาพื้นที่วิทยาเขตตามแนวทาง LID คือการอนุรักษ์องค์ประกอบภูมิทัศน์ที่มีความสำคัญต่อการบริหารจัดการการระบายน้ำผิวดินของพื้นที่ ได้แก่ โครงข่ายคูน้ำในสภาพธรรมชาติและเกาะกลางถนนทางระบายน้ำพุทธรักษา เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสองนี้รวมถึงแหล่งน้ำดั้งเดิมภายในวิทยาเขต และพื้นที่สีเขียวเปิดโล่งขนาดใหญ่เช่น สวนพรรณไม้ สนามหญ้าโล่ง สนามกีฬา ทำหน้าที่ช่วยหน่วงชะลอและกักเก็บน้ำผิวดินเมื่อเกิดพายุฝนตกหนัก โดยการอนุรักษ์องค์ประกอบภูมิทัศน์เหล่านี้จะต้องเป็นมากกว่าการอนุรักษ์เพียงแค่รูปแบบซึ่งไม่สามารถตอบรับกับการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ได้ การอนุรักษ์ต้องอยู่บนพื้นฐานของความเข้าใจและความตั้งใจที่จะส่งเสริมความสมบูรณ์ของระบบอุทกวิทยาในพื้นที่และขณะเดียวกันต้องสอดคล้องกับความต้องการใช้งานในปัจจุบันของวิทยาเขตด้วย

ภาพที่ 7: *สภาพพื้นที่จอดรถในวิทยาเขต*
(ที่มา: ภาพถ่าย เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2554)

ภาพที่ 8: *ตัวอย่างการใช้เทคนิค ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุม ในพื้นที่จอดรถ*
(ที่มา: http://www.lakesuperiorstreams.org/stormwater/toolkit/ lterstrips.html (Retrieved August 19, 2011))

ภาพที่ 9: *สภาพทางเท้าบนถนนสุวรรณวาจกสิกิจ ณ ปัจจุบัน*
(ที่มา: ภาพถ่าย เมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม 2554)

ภาพที่ 10: *ตัวอย่างการใช้ทางระบายน้ำมีพืชพรรณปกคลุมแทนการใช้ขอบทางและรางระบายเพื่อรับน้ำผิวดินจากถนน (ที่มา: http://www.lakesuperiorstreams.org/stormwater/toolkit/ images/vegetated.jpg (Retrieved August 20, 2011))*

สรุปผลการศึกษา

แนวทางการศึกษาบริหารจัดการน้ำผิวดินในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนนั้น มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อแก้ปัญหาน้ำท่วมขังเมื่อเกิดฝนตกหนัก และแก้ปัญหาน้ำเน่าเสียและปนเปื้อนมลพิษในแหล่งน้ำด้วยแนวคิด LID ถึงแม้ผลการศึกษาจะพบว่าปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่วิทยาเขตนั้น ยังไม่มีความรุนแรงแต่สร้างความรำคาญและความเดือดร้อนในช่วงระยะเวลาสั้นๆหากมีฝนตกลงมาอย่างหนัก เนื่องจากยังมีสัดส่วนพื้นที่เปิดโล่งสีเขียวที่สามารถรับน้ำและหน่วงน้ำอยู่ในพื้นที่ได้อยู่เกือบครึ่งหนึ่งของที่ดินทั้งหมดในวิทยาเขต และโครงข่ายคูรับน้ำในพื้นที่ยังค่อนข้างมีความต่อเนื่อง แต่ในอนาคตหากการพัฒนาพื้นที่เป็นไปแบบไร้ทิศทางและขาดแนวทางที่ชัดเจน อาจส่งผลให้ปริมาณพื้นที่รับน้ำลดลง และสวนทางกับปริมาณน้ำที่ต้องสูบออกสู่ภายนอกที่มากขึ้น สร้างปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรังให้เกิดขึ้นได้ ในระยะยาวจะเกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจเนื่องจากมหาวิทยาลัยต้องนำเงินส่วนหนึ่งมาใช้แก้ปัญหาปลายเหตุอันเกิดจากระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานใช้การไม่ได้ จึงสมควรต้องมีแผนงานในการอนุรักษ์และฟื้นฟูสภาพแหล่งน้ำเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพเชิงอุทกวิทยาอย่างสมบูรณ์ ในส่วนปัญหาคุณภาพน้ำเน่าเสียเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไขเนื่องจากมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามการเติบโตทางกายภาพของหน่วยงานในมหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยควรมีการจัดการแยกระบบระบายน้ำผิวดินและน้ำเสียของอาคารออกจากกัน และแยกบำบัดน้ำเสีย ณ พื้นที่ต้นทางก่อนปล่อยลงสู่ระบบระบายน้ำรวมของวิทยาเขต อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาต่อไปว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบใดจึงจะเหมาะสม ส่วนปัญหามลพิษปนเปื้อนในน้ำผิวดินจำพวกสารโลหะหนัก สารแขวนลอย และสารละลายแร่ธาตุที่เกิดขึ้น สามารถใช้เทคนิคกรองและบำบัดที่ต้นทางเช่น ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (bio-retention/rain garden) และแถบพืชพรรณ (vegetation strip) ผนวกเข้าเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่จอดรถบนดิน ตลอดจนลดทอนการสร้างภูมิทัศน์ที่ต้องใช้สารเคมีในการบำรุงรักษาสูง

มหาวิทยาลัยต้องการแผนเชิงรุกและเป็นนวัตกรรมในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในอนาคต ด้วยระบบสาธารณูปโภคสีเขียวที่สามารถตอบโจทย์ทั้งการป้องกันน้ำท่วมและการรักษาคุณภาพน้ำตลอดจนตอบสนองความต้องการในการใช้งานเชิงนันทนาการ เป็นภูมิทัศน์เอนกประสงค์ (multi-functional landscape) ที่สามารถเป็นทั้งสาธารณูปโภค และสาธารณูปการ ดูแลรักษาง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต่อประชาคมผู้ใช้ในมหาวิทยาลัย การสร้างระบบสาธารณูปโภคสีเขียวนั้นต้องอาศัยแผนการดำเนินงานทั้งระยะสั้นและระยะยาว โดยในระยะสั้นควรทำการเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขปัญหาที่สามารถกระทำได้ทันทีได้แก่ การปรับปรุงสิ่งกีดขวางการระบายน้ำผิวดิน ณ ปัจจุบันเช่น ปรับระดับขอบบนของคูระบายน้ำดาดแข็งที่สูงกว่าระดับพื้นดินโดยรอบ ปรับระดับท่อรับน้ำฝังใต้ทางเท้าที่สูงกว่าระดับถนน การสร้างทางระบายน้ำปกคลุมด้วยพืชพรรณ ในบริเวณที่จอดรถหรือลานดาดแข็งขนาดใหญ่ จนกระทั่งการปรับปรุงดินภายในพื้นที่เปิดโล่ง ในวิทยาเขตทุกส่วน ให้มีความร่วนซุย น้ำซึมผ่านได้ เพิ่มแร่ธาตุในดิน ลดการใช้สารเคมีบำรุงภูมิทัศน์ เพื่อลดความแน่นของดิน เป็นต้น ในแผนระยะยาวมหาวิทยาลัยควรพิจารณานำเทคนิค LID ที่สำคัญได้แก่ ทางระบายน้ำปกคลุมด้วยพืชพรรณ (vegetated swales) ระบบกักเก็บน้ำด้วยพืชพรรณ (bio-retention/rain gardens) ผิวพื้นแบบรูพรุน (permeable pavements) ระบบกักเก็บน้ำด้วยพื้นที่ชุ่มน้ำ (stormwater wetlands) ถังเก็บน้ำฝน (rain barrels & cisterns) และสวนหลังคา (roof gardens) มาปรับใช้ในพื้นที่วิทยาเขตอย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตามการปรับปรุงนี้จะสามารถกระทำได้ก็ต่อเมื่อมหาวิทยาลัยประกาศนโยบาย การควบคุมน้ำ ณ พื้นที่ต้นทาง เพื่อให้ทุกหน่วยงานรับผิดชอบการจัดการ

น้ำผิวดินที่เกิดขึ้นในพื้นที่ครอบครองด้วยแนวทาง LID โดยถือว่าเป็นหน้าที่ของทุกหน่วยงาน ไม่ผลักภาระไปยังส่วนกลางคือ กองยานพาหนะและอาคารสถานที่เท่านั้น มหาวิทยาลัยควรตั้งเป้าหมายในการลดทอนการใช้ระบบระบายน้ำที่พึ่งพาโครงสร้าง ส่งเสริมระบบโครงข่ายการระบายน้ำแบบไม่พึ่งพาโครงสร้างเลียนแบบธรรมชาติ อนุรักษ์และฟื้นฟูระบบโครงข่ายคูน้ำและพื้นที่ลุ่มต่ำตลอดจนแหล่งน้ำ ณ ปัจจุบัน ที่มีบทบาทสำคัญในพื้นที่เพื่อเชื่อมต่อกัน ทำให้เกิดโครงข่ายของพื้นที่รับน้ำที่สมบูรณ์และกระจายตัวทั่วพื้นที่วิทยาเขต ไม่รวมศูนย์อยู่เพียงบริเวณใดบริเวณหนึ่งเพียงอย่างเดียว และท้ายที่สุด มหาวิทยาลัยควรมีการจัดทำผังอนุรักษ์โครงข่ายพื้นที่สีเขียวเปิดโล่งในวิทยาเขต ควบคู่กับผังการใช้ประโยชน์ที่ดินในวิทยาเขต เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืนในอนาคต

ข้อเสนอแนะจากการศึกษาระบบการบริหารจัดการน้ำผิวดินตามแนวทางของ LID เพื่อประยุกต์ใช้เข้ากับ พื้นที่วิทยาเขตบางเขนชิ้นนี้ มุ่งศึกษาประเด็นเชิงกายภาพ โดยคำนึงถึงลักษณะทางกายภาพ พฤติกรรมการระบายน้ำ หรือลักษณะอุทกวิทยาของพื้นที่ อย่างไรก็ตามยังมีรายละเอียดปลีกย่อย ของเทคนิค LID แต่ละชนิดอีกมากที่ต้องได้รับการศึกษาเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพในการ ชะลอ กักเก็บ กรอง ซึมกลับ บำบัด และการควบคุมการตกตะกอนตลอดจนการกัดเซาะ ในสภาพแวดล้อมของวิทยาเขตที่เป็นพื้นที่ลุ่มต่ำ มีฝนตกชุก ดินอุ้มน้ำและระบายน้ำยาก ว่าควรเป็นอย่างไรและดำเนินการได้มากน้อยเพียงใด ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการดาดแข็งคูระบายน้ำกับการปล่อยให้เป็นไปในลักษณะธรรมชาตินั้นว่ามีข้อดีและข้อด้อยต่อการความเหมาะสมของอุทกวิทยาในพื้นที่วิทยาเขตอย่างไร นอกจากนี้ยังมีประเด็นทางทัศนคติและการยอมรับของผู้เกี่ยวข้องทั้งผู้กำหนดนโยบาย ผู้ใช้ ตลอดจนผู้ดูแลรักษา ที่ต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาระบบสาธารณูปโภคสีเขียวที่สร้างประโยชน์สูงสุดให้กับพื้นที่วิทยาเขต

บรรณานุกรม

พาสินี สุนากรและคณะ. 2545. รายงานผลกระทบทางด้านกายภาพอันเนื่องมาจากการเติบโตขององค์กร: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน. กรุงเทพฯ: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บาศมน รักษาจันทร์. 2550. แนวทางการออกแบบเพื่อลดปัญหาน้ำท่วม. บิลเดอร์นิวส์ 71: 39.

Coffman, L.S. 2002. "Low-Impact Development : An Alternative Stormwater Management Technology." In Robert L. France, ed. Handbook of Water Sensitive Planning and Design, 97-124. Boca Raton: Lewis.

Dunn, A.D. 2010. "Sitting Green Infrastructure: Legal and Policy Solutions to Alleviate Urban Poverty and Promote Healthy Communities." Boston College Environmental Affairs Law Review, 37 (2010): Available : http://ssrn.com/abstract=1517909. [Retrieved August 30, 2011].

Ferguson, B.K. 2002. "Stormwater Management and Stormwater Restoration." In Robert L. France, ed. Handbook of Water Sensitive Planning and Design, V 11-28. Boca Raton: Lewis.

Guillette, A. 2009. "Achieving Sustainable Site Design through Low Impact Development Practices." WBDG. National Institute of Building Sciences (NIBS). Available http://www.wbdg.org/ resources/lidsitedesign.php [Retrieved April 8, 2011].

Hager, M.C. 2011. "Lot-level approaches to Stormwater Management are Gaining Ground." Journal of Surface Water Quality Professionals, January/ February 2003. Available: http://www.stormwater.kytc.ky.gov/mcm1/documents/LID%20Article.pdf. [Retrieved August 30, 2011].

"Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach." 2011. [Online]. Available : www.epa.gov/owow/NPS/lidnatl.pdf [Retrieved August 20, 2011].