

แบบจำลองเชิงอ็อบเจกต์ “jlrAls-SW” สำหรับจำลองการไหลของน้ำในดิน

jlrAls-SW: An Object-Oriented Model for Soil-Water Flow Simulation

ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์¹ และเอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์กุลชัย^{1*}

Yutthana Phankamolsil¹ and Ekasit Kositsakulchai^{1*}

ABSTRACT

This paper applied the object-oriented approach for developing a soil-water flow model. Java and Repast, an agent-based modeling toolkit, were selected as development tools. The jlrAls (Java, Irrigation, Artificial Intelligences) model was designed for simulating hydrological processes in agricultural land; jlrAls-SW was a module of the main model. jlrAls-SW model simulated 1-D soil-water flow processes using Richards' equation and solved the equation by finite difference method. The model structure consisted of three main objects: "Weather", "Crop" and "Soil". These objects were linked by message passing. The object "Soil" was the core component for simulating soil-water flow. In order to test the model, daily soil water movement was simulated during the period of two years (January 2001 – December 2002) in Nakhon Pathom and Saraburi soil series. The simulation options included 2 cases, bare soil and grass covered surface. For validating, the results of jlrAls-SW model were compared with those of SWAP model. Both models were configured with identical parameters and input variables. It was found that, soil evaporation and transpiration estimated by the jlrAls-SW and SWAP model were in good agreement. Moreover, a good consistency could be observed from soil moisture variation curve in cases of bare soil and grass covered surface. Finally, the object-oriented approach is applicable for developing complex soil-water flow model. However the model application in large scale area requires appropriate processes in object analysis and design, and high performance computer.

Key words: Field water management, Unsaturated soil water flow, Soil-plant-water relations, Object orientation, Simulation modeling.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำในดิน โดยใช้แนวทางเชิงอ็อบเจกต์ด้วยภาษาจาวา (Java) และใช้ชุดเครื่องมือรีพาสต์ (Repast) ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองบนพื้นฐานของเอเจนต์ (agent-based modeling) แบบจำลองจี้เรลส์ (Java, Irrigation, Artificial Intelligences, jlrAls) ถูกออกแบบสำหรับจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาในพื้นที่เกษตรกรรม โดย jlrAls-SW เป็นโมดูลหนึ่งของแบบจำลองหลัก ที่ทำหน้าที่จำลองกระบวนการไหลของน้ำในดินด้วยสมการของริชาร์ดแบบ 1 มิติ และหาคำตอบสมการโดยวิธี finite difference โครงสร้างแบบจำลองประกอบด้วยอ็อบเจกต์หลัก คือ อากาศ (Weather), พืช (Crop) และดิน (Soil) ซึ่งเชื่อมโยงกันผ่านการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยมีอ็อบเจกต์ "Soil" เป็นกลไก

¹ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University,
Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 0-3435-1897.Fax. 0-3435-1414, Email address: fengesk@ku.ac.th.

หลักของการจำลองการไหลของน้ำในดิน การทดสอบแบบจำลองกระทำโดยการจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในดินเป็นรายวัน ระยะเวลา 2 ปี (ม.ค.2544 ถึง ธ.ค.2545) ในกรณีดินเปล่าและกรณีปลูกหญ้ากับชุดดินนครปฐมและชุดดินสระบุรี การทวนสอบผลลัพธ์ทำโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับแบบจำลอง SWAP ด้วยการกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองให้เหมือนกัน จากผลการจำลองสถานการณ์ พบว่า แบบจำลองทั้งสองให้ผลลัพธ์ของปริมาณการระเหยจากดินและปริมาณการคายน้ำอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในดินมีแนวโน้มสอดคล้องกัน ทั้งกรณีดินเปล่าและกรณีปลูกหญ้า ท้ายสุด แนวทางเชิงอ็อบเจกต์สามารถประยุกต์ใช้และพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำที่ซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์แบบจำลองในพื้นที่ขนาดใหญ่ยังคงต้องการกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบเชิงอ็อบเจกต์ที่เหมาะสมและคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงในการทำงาน

คำสำคัญ : การจัดการน้ำระดับแปลง การไหลของน้ำในดินไม่อิ่มตัว ความสัมพันธ์ ดิน-น้ำ-พืช
แนวทางเชิงอ็อบเจกต์ การจำลองสถานการณ์

คำนำ

ปริมาณความชื้นในดิน เป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งสำหรับการบริหารจัดการน้ำชลประทาน เนื่องจาก เป็นข้อมูลที่ช่วยให้ทราบถึงความต้องการน้ำรวมถึง ประสิทธิภาพของการบริหารจัดการ การวิเคราะห์การไหลของน้ำในดินด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์เป็นแนวทางหนึ่งที่ใช้สำหรับการประเมินปริมาณความชื้นในดิน โดยทั่วไปการวิเคราะห์การไหลของน้ำในดินมีขั้นตอนค่อนข้างยุ่งยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการไหลของน้ำในดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากการหาคำตอบของสมการควบคุมการไหลจำเป็นต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงเลข

ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์สำเร็จรูปสำหรับช่วยในการวิเคราะห์การไหลของน้ำในดิน โดยอาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่ม กล่าวคือ กลุ่มแรกเป็นแบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาการเกษตร (agro-hydrology) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบ ดิน-น้ำ-พืช อาทิ แบบจำลอง SWAP (Kroes and van Dam, 2003) แบบจำลอง ORYZA2000 (Bouman *et al.*, 2001) ที่มีโมดูลย่อยสำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำในดินสำหรับพื้นที่สูง SAHEL (Wopereis *et al.*, 1996) และสำหรับพื้นที่ลุ่ม SAWAH (ten Berge *et al.*, 1992), PADDY (Wopereis *et al.*, 1996) หรือ ที่ใช้ในการวิเคราะห์เฉพาะการเคลื่อนที่ของน้ำและสารละลายในดิน เช่น HYDRUS (Simunek *et al.*, 1998) ซึ่งมีรุ่นที่วิเคราะห์การไหลทั้งแบบ 1 มิติ (HYDRUS1D), 2 มิติ (HYDRUS2D) และ 3 มิติ (HYDRUS3D) ส่วนกลุ่มที่สองเป็นแบบจำลองทางด้านอุทกธรณีวิทยา (geo-hydrology) เช่น แบบจำลอง SEEP2D (Jones, 1999) ที่เน้นการวิเคราะห์การไหลของน้ำลอดอาคาร หรือแบบจำลองระบบน้ำใต้ดินแบบ 3 มิติ อาทิ MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988) ที่ใช้ระเบียบวิธี finite difference คำนวณการไหลของ

น้ำ ส่วน FEMWATER (Lin *et al.*, 1996) ใช้ระเบียบวิธี finite element

แบบจำลองส่วนใหญ่ใช้วิธีเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเชิงกระบวนการงาน (procedure-oriented language) อาทิ ภาษาฟอร์แทรนหรือภาษาซี ถึงแม้ว่าแบบจำลองที่กล่าวมาจะมีการใช้งานในปัจจุบัน แต่การปรับแบบจำลองให้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือให้รองรับการจำลองกระบวนการที่ซับซ้อนเพิ่มขึ้นกระทำได้ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากแบบจำลองถูกพัฒนาโดยใช้ภาษาเขียนโปรแกรมและระบบปฏิบัติการแบบดั้งเดิม นอกจากนี้บางแบบจำลองยังมีค่าลิขสิทธิ์การใช้งานในราคาสูง (ยุทธนาและเอกสิทธิ์, 2550) ด้วยเหตุนี้แนวคิดเชิงอ็อบเจกต์ (object orientation) จึงมีแนวโน้มได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากแนวคิดนี้มีจุดเด่นหลายประการ ได้แก่ (1) การพัฒนาซอฟต์แวร์สามารถนำชุดคำสั่งกลับมาใช้ และขยายขีดความสามารถได้ง่าย (2) ชุดคำสั่งที่นำมาใช้ซ้ำได้ผ่านการตรวจสอบมาก่อนแล้ว จึงทำให้ทำงานได้อย่างรวดเร็วและน่าเชื่อถือมากขึ้น (3) ระเบียบวิธีเชิงอ็อบเจกต์เป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการทำงานกับระบบที่ซับซ้อน (4) วิธีการเชิงอ็อบเจกต์ให้แนวทางสำหรับการสร้างแบบจำลองที่สอดคล้องกับโลกตามความเป็นจริงได้โดยง่าย (Liu and Stewart, 2004) ในส่วนการประยุกต์แนวคิดเชิงอ็อบเจกต์ Pan *et al.*, (2000) ได้พัฒนาแบบจำลองการเจริญเติบโตของพืชผ่านทางอินเทอร์เน็ตเพื่อเป็นสื่อการเรียนรู้ ส่วน Papajorgji and Shatar (2004) ได้นำเสนอแนวคิดเชิงอ็อบเจกต์สำหรับการพัฒนาแบบจำลองโดยผนวกองค์ประกอบของดิน พืช และภูมิอากาศเข้าด้วยกัน

งานวิจัยชิ้นนี้ มีเป้าหมายเพื่อประยุกต์วิธีเชิงอ็อบเจกต์สำหรับแทนโครงสร้างดินและกระบวนการไหลของน้ำในดิน ซึ่งมีวัตถุประสงค์ต่อไปนี้ (1) พัฒนาแบบจำลองเชิงอ็อบเจกต์สำหรับจำลองการไหลของน้ำ

ในดิน (2) ทดสอบการทำงานของแบบจำลองและทวนสอบผลลัพธ์โดยเทียบกับแบบจำลอง SWAP

เครื่องมือและวิธีการ

สมการการไหลของน้ำในดิน

การจำลองกระบวนการไหลของน้ำในดินใช้สมการของริชาร์ด (Richards' equation) ซึ่งคำนวณการไหลของน้ำในดินแบบ 1 มิติ ในแนวดิ่ง สมการนี้มีพื้นฐานจากหลักการอนุรักษ์มวลสารและสมการของ Darcy (Jury *et al.*, 1991) ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S \quad (1)$$

โดย θ เป็นปริมาณน้ำในดิน [$L^3 L^{-3}$], h เป็นแรงดึงความชื้นในดิน [L], z เป็นระดับในแนวดิ่ง [L] (มีค่าเป็นบวกในทิศขึ้น), K เป็นค่าการนำน้ำของดิน [$L T^{-1}$], S เป็นอัตราการดูดซึมน้ำของรากพืชออกจากดิน [$L^3 L^{-3} T^{-1}$]

จากรูปของสมการที่ (1) ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ เนื่องจาก มีตัวแปร θ และ h ซึ่งเป็นตัวแปรไม่ทราบค่าสองตัว การหาคำตอบจึงทำโดยใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง θ และ h ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า water retention curve (WRC) หรือ เส้นอัตรลักษณะของน้ำในดิน (soil water characteristic) ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้สมการของ van Genuchten (1980) ดังนี้

$$\theta(h) = \theta_{res} + \frac{\theta_{sat} - \theta_{res}}{(1 + |\alpha h|^n)^m} \quad (2)$$

ค่าการนำน้ำของดินตามความชื้น (hydraulic conductivity curve) เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง K และ h ตามสมการ Mualem-van Genuchten (van Genuchten, 1980) ดังนี้

$$K(h) = K_{sat} S_e^\lambda [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2 \quad (3)$$

โดย K_{sat} เป็นค่าการนำน้ำของดินอิ่มตัว, θ_{sat} เป็นปริมาณน้ำในดินขณะดินอิ่มตัว, θ_{res} เป็นปริมาณน้ำในดินขณะดินแห้งในอากาศ, S_e เป็นระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำของดิน $S_e = (\theta - \theta_{res}) / (\theta_{sat} - \theta_{res})$, ส่วน α , n , m และ λ เป็นพารามิเตอร์ของสมการ โดย $m = 1 - 1/n$ และ λ ใช้เท่ากับ 0.50 (Mualem, 1976)

สมการที่ (1) สามารถเขียนในรูปอนุพันธ์ของ h โดยการกำหนดค่า water capacity (C) ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินเทียบกับแรงดึงของน้ำในดิน หรือ $C = \partial \theta / \partial h$ เมื่อแทนลงในสมการที่ (1) สามารถเขียนเป็นสมการ (4)

$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S \quad (4)$$

ค่า water capacity หาจากค่าอนุพันธ์ของสมการ WRC ของ van Genuchten ดังสมการ (5)

$$C(h) = \frac{(\theta_{sat} - \theta_{res}) \alpha^n n m |h|^{n-1}}{(1 + |\alpha h|^n)^{2-1/n}}; h < 0 \quad (5)$$

การหาคำตอบสมการด้วยวิธีเชิงเลข

การหาคำตอบสมการริชาร์ดด้วยวิธีเชิงเลขใช้แนวทางที่เสนอโดย van Dam and Feddes (2000) ซึ่งใช้ระเบียบวิธี finite difference กับสมการริชาร์ดรูปแบบผสม θ และ h และหาคำตอบด้วยวิธี modified Picard iteration scheme (Celia *et al.*, 1990) เกณฑ์การลู่เข้าของคำตอบกำหนดด้วยผลต่างของ θ (Huang *et al.*, 1996) สมการริชาร์ดในรูปแบบไม่ต่อเนื่องของชั้นดิน i (compartment i) เขียนได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} C_i^{j+1,p-1} (h_i^{j+1,p} - h_i^{j+1,p-1}) + \theta_i^{j+1,p-1} - \theta_i^j \\ = \frac{\Delta t^j}{\Delta z_i} \left[K_{i-(1/2)}^j \left(\frac{h_{i-1}^{j+1,p} - h_{i-1}^{j+1,p-1}}{\Delta z_u} \right) + K_{i-(1/2)}^j \right. \\ \left. - K_{i+(1/2)}^j \left(\frac{h_{i+1}^{j+1,p} - h_{i+1}^{j+1,p-1}}{\Delta z_l} \right) - K_{i+(1/2)}^j \right] \end{aligned} \quad (6)$$

โดย ดัชนีล่าง i เป็นตัวชี้ตำแหน่งของชั้นดิน โดยชั้นดินที่อยู่ด้านบนจะเป็น $i-1$ ชั้นดินด้านล่างจะเป็น $i+1$ เช่น h_i เป็นแรงดึงน้ำของชั้นดิน i ส่วนของชั้นดินด้านบนเป็น h_{i-1} หรือชั้นดินด้านล่างเป็น h_{i+1} ส่วนดัชนีบน j เป็นตัวชี้เวลาในขั้นปัจจุบัน โดยเวลาในขั้นถัดไปจะเป็น $j+1$

Δt^j เป็นขั้นเวลา (time step), Δz_i เป็นความหนาของชั้นดิน i ส่วน Δz_u เป็นผลต่างระหว่างความลึกที่จุดกึ่งกลางชั้นดินด้านบนกับชั้นดิน i ($\Delta z_u = z_{i-1} - z_i$) และ Δz_l เป็นผลต่างระหว่างความลึกที่จุดกึ่งกลางชั้นดิน i กับชั้นดินด้านล่าง ($\Delta z_l = z_i - z_{i+1}$), K^j เป็นค่าการนำน้ำของดินที่ชั้น

เวลาปัจจุบัน j โดยเป็นค่าเฉลี่ยของชั้นดินที่ i กับชั้นดินด้านบน ($K_{i-(1/2)}^j$) หรือ ชั้นดินด้านล่าง ($K_{i+(1/2)}^j$) ทั้งนี้ สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมจาก van Dam *et al* (1997) เนื่องจาก ค่า water capacity C ในสมการ (6) มีการเปลี่ยนแปลงมากในแต่ละรอบของการหาคำตอบ ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องในการหาปริมาณความชื้น θ ดังนั้น van Dam and Feddes (2000) จึงเสนอให้ใช้วิธีหาค่า C ที่ชั้นเวลา $j+1, p-1$ หรือ $C_{i,j+1,p-1}^j$ ขึ้นมาก่อน จากนั้น จึงหาคำตอบในชั้นเวลา $j+1, p$ โดยการคำนวณจะซ้ำจนกระทั่ง $\theta_{i,j+1,p-1}^j$ (ปริมาณน้ำในชั้นดิน i ที่ชั้นเวลา $j+1, p-1$) และ $\theta_{i,j+1,p}^j$ (ปริมาณน้ำที่ชั้นเวลา $j+1, p$) มีผลต่างไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด การระเหยและการคายน้ำ

การระเหยและการคายน้ำคำนวณจากสมการของ Penman-Monteith (Monteith and Unsworth, 1990) ดังนี้

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \{ (e_s - e_a) / r_a \}}{\Delta + \gamma(1 + r_s / r_a)} \quad (7)$$

โดย R_n พลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิที่ได้รับ, G เป็นพลังงานความร้อนถ่ายเทลงดิน, ρ_a เป็นความหนาแน่นของอากาศ, c_p เป็นค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, $(e_s - e_a)$ เป็นผลต่างระหว่างความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำจริง, Δ เป็นความชันของโค้งอุณหภูมิและความดันไอน้ำ, γ เป็นค่าคงที่ของเครื่องวัดความชื้น, r_s และ r_a เป็นความต้านทานของพื้นผิว และของการเคลื่อนที่ของอากาศ

แนวคิดเชิงอ็อบเจกต์

แนวคิดเชิงอ็อบเจกต์ (object orientation) มีที่มาจากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเชิงอ็อบเจกต์ (object-oriented programming, OOP) โดยภาษา Simula นับได้ว่าเป็นภาษาแรกที่ใช้แนวคิดนี้ในการเขียนโปรแกรมสำหรับแบบจำลองสถานการณ์แบบแยกหน่วย (discrete-event simulation) จากนั้นได้มีการพัฒนาการต่อมาเป็นการวิเคราะห์และการออกแบบเชิงอ็อบเจกต์ (object-oriented analysis and design) (Liu and Stewart, 2004)

องค์ประกอบมูลฐานของแนวคิดเชิงอ็อบเจกต์คือ “อ็อบเจกต์” นั่นเอง โดยในที่นี้จะหมายถึง สิ่งปรากฏอยู่ทั้งในโลกของความเป็นจริง (เป็นวัตถุจับต้องได้) และที่เป็นนามธรรม โดยอ็อบเจกต์ประกอบด้วย ข้อมูลคุณลักษณะของตัวเอง (attribute)

และ รายละเอียดประกอบการทำงานกับข้อมูล (method) ส่วนคำว่า “คลาส” (class) หมายถึง แม่แบบสำหรับสร้างอ็อบเจกต์ที่มีคุณลักษณะและการทำงานที่เหมือนกัน (Papajorgji and Pardalos, 2006) อ็อบเจกต์ถูกสร้างจากคลาส (หรือเป็น instance ของคลาส) ผ่านกลไกที่เรียกว่า instantiation การสร้างคลาสหนึ่งๆ ขึ้นมากระทำโดยการกำหนดสาระสำคัญของสิ่งที่กำลังพิจารณา เน้นรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา หรือที่เรียกว่า abstraction

นอกจากนี้ การประยุกต์แนวคิดเชิงอ็อบเจกต์ยังต้องการเครื่องมือที่สามารถรองรับคุณสมบัติของอ็อบเจกต์อีก 3 ประการ คือ encapsulation, inheritance และ polymorphism (1) การห่อหุ้มปกปิดโครงสร้างภายใน (encapsulation) เป็นเทคนิคการออกแบบให้ข้อมูลและการทำงานกับข้อมูลรวมอยู่ในอ็อบเจกต์เดียวกัน และปกปิดรายละเอียดโดยจำกัดให้เข้าถึงได้เฉพาะส่วนที่กำหนดไว้ (2) กลไกการสืบทอด (inheritance) เป็นความสามารถในการสืบทอดรายละเอียดประกอบของคลาสหนึ่งไปยังคลาสอื่นๆ ได้ และ (3) ภาวะพหุสัณฐาน (polymorphism) เป็นความสามารถในการสร้างคลาสจากฐานเดียวกันให้มีบทบาทต่างกันเพื่อการตอบสนองอย่างเหมาะสมกับข้อมูล

ภาษาจาวา (Java) และ Repast

ภาษาเขียนโปรแกรมจาวา (Java programming) มีต้นกำเนิดมาจากบริษัท Sun Microsystems โดยทีมงานของ James Gosling การพัฒนาเริ่มในปี พ.ศ. 2534 (ค.ศ. 1991) ซึ่งเดิมออกแบบเพื่อใช้ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กเรียกว่า “โอ๊ค” (Oak) และ เปลี่ยนเป็น “จาวา” ในปี พ.ศ. 2538 (ค.ศ. 1995) (Liang, 2005) จาวาเริ่มเป็นที่สนใจ เมื่อบริษัท Sun ประกาศให้จาวาเป็นภาษาสำหรับสร้างโปรแกรมบนอินเทอร์เน็ต โดยโปรแกรมถูกสร้างขึ้นบนคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่ง แล้วนำไปทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ต่างระบบได้โดยไม่ต้องคอมไพล์โปรแกรมใหม่ (วีระศักดิ์, 2543)

จาวาถูกออกแบบให้มีลักษณะ ดังนี้ (1) ง่ายต่อการเรียนรู้และใช้งาน (simple) (2) เป็นภาษาเชิงอ็อบเจกต์โดยสมบูรณ์ (object-oriented) (3) ทำงานโดยเชื่อมโยงกันผ่านเครือข่ายได้ (distributed) (4) ทำงานผ่านตัวแปลภาษา (interpreted) (5) คงทนต่อข้อผิดพลาดของโปรแกรม (robust) (6) ปลอดภัยในการประมวลผล (secure) (7) ทำงานบนเครื่องต่างระบบได้ (architecture-neutral) (8) ย้ายระบบได้โดยไม่ต้องทำการคอมไพล์ (portable) (9) มีสมรรถนะสูง

(high performance) ด้วยเทคโนโลยี JIT (just-in-time) (10) ประมวลผลได้หลายงานพร้อมกัน (multithreaded) (11) ปรับเปลี่ยนได้ง่าย (dynamic) (Liang, 2005)

Repast (Recursive Porous Agent Simulation Toolkit) เป็นชุดเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองบนพื้นฐานของตัวกระทำหรือเอเจนต์ (agent-based modeling [ABM]) (North *et al.*, 2006) การพัฒนา Repast ใช้แนวคิดเชิงอ็อบเจกต์ และได้ผนวกแนวคิดหลายอย่างจากชุดเครื่องมือ Swarm (Kennedy *et al.*, 2001) ชุดเครื่องมือของ Repast ได้แก่ เครื่องมือสำหรับจำลองกระบวนการเชิงพื้นที่ซึ่งรองรับการใช้งานร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เครื่องมือสำหรับบันทึกและแสดงผลการจำลองสถานการณ์รวมทั้งอนุญาตให้ผู้ใช้ปรับเปลี่ยนข้อมูลระหว่างการจำลองสถานการณ์ นอกจากนี้ยังมีคลังชุดคำสั่งสำหรับการพัฒนาแบบจำลองหลายรูปแบบ อาทิ วิธีเชิงพันธุกรรม (genetic algorithms) โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (artificial neural networks) พลวัตของระบบ (system dynamics) การจำลองแบบ Monte Carlo การใช้งาน Repast สามารถเลือกใช้ภาษาโปรแกรมได้หลายภาษา การพัฒนาแบบจำลองขั้นพื้นฐานสามารถเลือกใช้ Repast Py ที่เขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา Python ส่วนการพัฒนาแบบจำลองในขั้นสูงอาจเลือกใช้ Repast J ที่เขียนชุดคำสั่งด้วยภาษา Java หรือ Repast.NET ที่เขียนชุดคำสั่งด้วยภาษาที่รองรับ .NET framework (เช่น C#, VB.NET)

ผลและวิจารณ์

แบบจำลอง jlrAls

แบบจำลอง jlrAls (จีเรลส์) ย่อมาจาก Java, Irrigation, Artificial Intelligences เป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดยใช้แนวทางเชิงอ็อบเจกต์ (object orientation) ร่วมกับเทคนิคด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) ชุดคำสั่งของแบบจำลองใช้ภาษา Java และชุดเครื่องมือ Repast แบบจำลอง jlrAls จำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาในพื้นที่เกษตรกรรม โดยมีเป้าหมายที่จะประยุกต์สำหรับงานด้านบริหารจัดการน้ำชลประทาน โดยแบบจำลองที่นำเสนอในบทความนี้เป็นโมดูลส่วนหนึ่งของแบบจำลอง jlrAls โดยใช้ชื่อว่า jlrAls-SW (soil-water flow) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่จำลองกระบวนการไหลของน้ำในดินด้วยสมการของริชาร์ดแบบ 1 มิติ โครงสร้างของแบบจำลอง jlrAls-SW ใน Figure 1 ประกอบด้วยอ็อบเจกต์ weather, crop และ soil โดยอ็อบเจกต์ทั้งสามเชื่อมโยงกันผ่าน

กลไกการแลกเปลี่ยนข้อมูล (message passing) อ็อบเจกต์ soil เป็นองค์ประกอบหลักของแบบจำลองซึ่งทำหน้าที่จำลองการไหลของน้ำในดินโดยรับข้อมูลภูมิอากาศจากอ็อบเจกต์ weather ส่วนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพืชจะรับผ่านอ็อบเจกต์ crop อ็อบเจกต์ weather ทำหน้าที่เก็บข้อมูลและคำนวณพารามิเตอร์ของภูมิอากาศ และ อ็อบเจกต์ crop ทำหน้าที่จำลองกระบวนการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้แบบจำลองพืชอย่างง่าย (simple crop model) (Kroes and van Dam, 2003) ในบทความนี้ นำเสนอรายละเอียดของอ็อบเจกต์ soil เป็นหลัก

Figure 2 แสดงแบบจำลองเชิงแนวคิดของ jlrAls-SW โดยในภาพเป็นหน้าตัดดิน (soil profile) ซึ่งแบ่งเป็นชั้นดินย่อย (soil compartment) เรียงต่อกันในแนวดิ่ง มีองค์ประกอบของน้ำที่หมุนเวียน ได้แก่ ฝน (rainfall), การซึมลงดิน (infiltration), น้ำท่าผิวดิน (surface runoff), การระเหยจากดิน (soil evaporation), การคายน้ำ (transpiration) และการดูดซับน้ำของรากพืช (root water extraction) กระบวนการไหลเวียนของน้ำในดินเกิดขึ้นตามแนวดิ่ง กรณีมีน้ำบนผิวดินน้ำจากผิวดินจะไหลซึมลงดินผ่านชั้นดินย่อย กรณีผิวดินแห้งน้ำในดินจะระเหยขึ้นจากผิวดิน กรณีมีพืช พืชจะดูดซับน้ำผ่านรากและจะคายน้ำสู่บรรยากาศ และกรณีมีน้ำฝนส่วนเกินจากการซึมลงดินจะเกิดน้ำท่าไหลออกไปทางผิวดิน

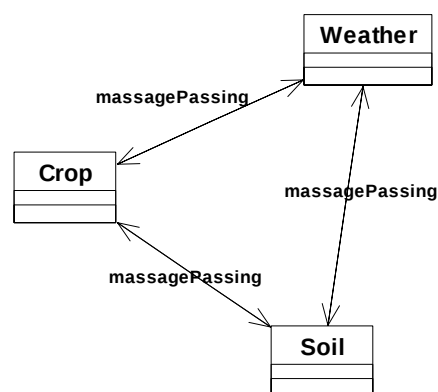


Figure 1 Relation of Class Soil-Weather-Crop.

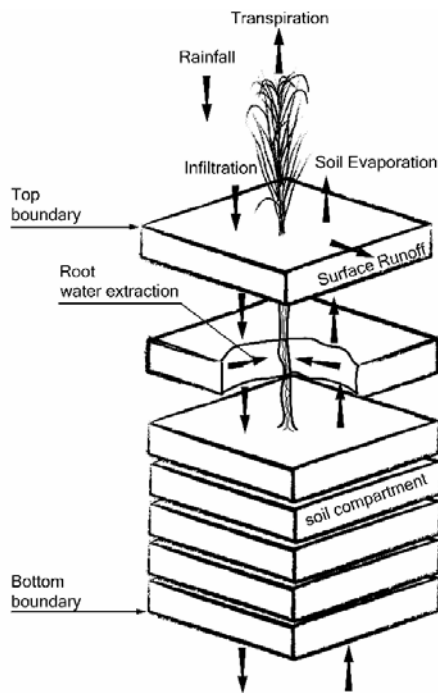


Figure 2 Conceptual model of soil water flow

การแทนโครงสร้างของดินดังกล่าวด้วยแนวทางเชิงอ็อบเจกต์ ทำโดย กำหนดอ็อบเจกต์ soil แทนดินและกระบวนการไหลของน้ำในดิน กำหนดอ็อบเจกต์ soilProfile แทนหน้าตัดดิน และกำหนดอ็อบเจกต์ soilCompartment แทนชั้นดินย่อย ซึ่งอ็อบเจกต์ soilCompartment มีจำนวนหลายชั้น แต่ละชั้นมีโครงสร้างเชื่อมต่อกันตามแนวตั้งจากบนลงล่าง โดยอ็อบเจกต์ soilProfile ห่อหุ้มอ็อบเจกต์ soilCompartment อีกครั้งหนึ่ง

ใน Figure 3 เป็นแผนภาพของคลาส Soil และคลาสประกอบของ Soil ได้แก่ SoilProfile, SoilCompartment และ SolverRichards แต่ละคลาสอธิบายด้วยคุณลักษณะของคลาส (attribute) และรายละเอียดประกอบการทำงาน (method) ในกรอบสี่เหลี่ยมแต่ละกรอบ กรอบด้านบนสุดแทนชื่อคลาส ถัดลงมาเป็น attributes ส่วนกรอบด้านล่างแทน method คลาส Soil มีความสัมพันธ์กับคลาส SoilProfile และคลาส SolverRichards เนื่องจากคลาสทั้งสองเป็นคุณลักษณะของคลาส Soil ส่วนของคลาส SoilProfile ยังมีความสัมพันธ์กับคลาส SoilCompartment เช่นกัน เนื่องจาก คลาส SoilCompartment เป็นคุณลักษณะหนึ่งของคลาส SoilProfile

แผนภาพของคลาสใน Figure 3 แสดงรายละเอียดหลัก ๆ ของคลาส ดังนี้ (1) คลาส Soil ประกอบด้วย attribute ชนิดอ็อบเจกต์ ได้แก่ crop, weather, solverRichards และ soilProfile ในส่วน method อาทิ run ทำหน้าที่จำลองการไหลของน้ำ

getH ทำหน้าที่อ่านค่าแรงดึงดูดความชื้น เป็นต้น (2) คลาส SoilProfile ประกอบด้วย attribute ได้แก่ อ็อบเจกต์ soilCompartment และจำนวน soilCompartment ส่วน method เช่น setH ทำหน้าที่กำหนดค่าแรงดึงดูดความชื้นให้แก่อ็อบเจกต์ soilCompartment ส่วน isSaturated ทำหน้าที่ตรวจสอบสภาพการอิ่มตัวด้วยน้ำของหน้าตัดดิน (3) คลาส SoilCompartment ประกอบด้วย attribute อาทิ ความหนา (dZ), ค่าการนำน้ำ (K0) ค่าความชื้นในขณะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Osat) และค่าการดูดซึมน้ำของรากพืช (Sa) เป็นต้น ในส่วน method ได้แก่ calO ทำหน้าที่คำนวณปริมาณน้ำในดิน setC คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น เป็นต้น (4) คลาส SolverRichards เป็นคลาสสำหรับแทนกระบวนการหาคำตอบสมการของริชาร์ดด้วยระเบียบวิธี finite difference โดย method ที่ทำหน้าที่คำนวณ ได้แก่ setTopBoundary ทำหน้าที่กำหนดเงื่อนไขการไหลเข้าของน้ำลงสู่ชั้นดิน checkConvergence ทำหน้าที่ตรวจสอบการลู่เข้าของคำตอบสมการ run ทำหน้าที่ส่งการ method ย่อยทั้งหมดทำงาน

การทดสอบแบบจำลอง

การทดสอบแบบจำลอง jlrAIs-SW ทำโดยการจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินเป็นสองกรณี คือ กรณีดินเปล่า (bare soil) และ กรณีปลูกหญ้า (grass covered surface) โดยใช้ข้อมูลรายวันระหว่าง 1 มกราคม 2544 ถึง 31 ธันวาคม 2545 รวม 2 ปี ข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลดิน และข้อมูลพืช

(1) ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจากสถานีตรวจอากาศเกษตรชัยนาทของกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด, ความยาวนานของแสงแดด, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน ใน Figure 4 แสดงปริมาณน้ำฝนรายวันและปริมาณน้ำฝนสะสมระหว่างปี พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ. 2545 (2001 ถึง 2002) โดยปริมาณน้ำฝนในปี 2544 เท่ากับ 850 มิลลิเมตร และปี 2545 เท่ากับ 820 มิลลิเมตร

(2) ข้อมูลดินเลือกใช้ชุดดินนครปฐม (NakhonPathom soil series, Np) เป็นตัวแทนดินร่วน และชุดดินสระบุรี (Saraburi soil series, Sb) เป็นตัวแทนดินเหนียว ซึ่งชุดดินทั้งสองพบมากในพื้นที่จังหวัดชัยนาท ในแบบจำลองกำหนดหน้าตัดดินลึก 2 เมตร และเนื้อดินเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ตลอดหน้าตัด การประมาณค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของดินใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนคุณสมบัติดิน

(pedotransfer function) (Wosten *et al.*, 2001) โดยใช้ข้อมูลเนื้อดิน (soil texture) ค่าอินทรีย์วัตถุ (organic matter) และค่าความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) จากกรมพัฒนาที่ดิน (สถิระ และคณะ, 2547) การกำหนดโครงสร้างชั้นดิน แบ่งดินออกเป็น 18 ชั้นดินย่อย (compartments) มีความหนาต่างกัน 7 ขนาด ได้แก่ 1, 2, 5, 10, 20, 40 และ 75 เซนติเมตร โดยแต่ละความหนามีจำนวนชั้นย่อย 5, 5, 2, 2, 2, 1 และ 1 ชั้น ตามลำดับ

(3) ข้อมูลพืช ใช้เฉพาะกรณีปลูกหญ้า โดยกำหนดความสูงคงที่ 12 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับพืชอ้างอิง (Allen *et al.*, 1998) และปลูกตลอดช่วงเวลาที่ยาลองสถานการณ์

การทวนสอบผลลัพธ์ของแบบจำลอง (model validation) ทำโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับแบบจำลอง SWAP โดยการกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองเหมือนกัน แบบจำลอง SWAP ย่อจาก Soil-Water-Atmosphere-Plant model เป็นแบบจำลองระบบ ดิน-น้ำ-บรรยากาศ-พืช ที่มีการจำลองกระบวนการคล้ายคลึงกับแบบจำลอง jlrAls โดยรายละเอียดของแบบจำลอง SWAP อาจดูได้จากเอกสารอ้างอิง (van Dam, J.C. *et al.* 1997; van Dam and Feddes. 2000; Kroes and van Dam, 2003)

การระเหยจากดินกรณีดินเปล่า

การเปรียบเทียบผลการประมาณค่าปริมาณการระเหยระหว่างแบบจำลอง jlrAls-SW และ SWAP ในกรณีดินเปล่าของชุดดินนครปฐม แสดงใน Figure 5 โดย Figure 5(a) เป็นศักยภาพการระเหยของดิน (potential soil evaporation) และ Figure 5(b) เป็นการระเหยของดินที่แท้จริง (actual soil evaporation) ส่วนใน Figure 6 แสดงค่าศักยภาพการระเหย และการระเหยจริงเทียบกับเวลา

ศักยภาพการระเหยของดินจากแบบจำลอง jlrAls-SW มีค่าระหว่าง 3.1 ถึง 7.5 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความเฉลี่ยเท่ากับ 4.89 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วน ผลจากแบบจำลอง SWAP มีค่าระหว่าง 3.2 ถึง 7.4 มิลลิเมตรต่อวัน และมีความเฉลี่ยเท่ากับ 4.99 มิลลิเมตรต่อวัน ค่าศักยภาพการระเหยของดินสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน ซึ่งตรงกับหน้าแล้ง ส่วนค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนธันวาคม

การประมาณค่าการระเหยของดินที่แท้จริง โดยแบบจำลอง jlrAls-SW มีค่าระหว่าง 0.2 ถึง 6.5 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.99 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนจากแบบจำลอง SWAP มีค่าระหว่าง 0.2

ถึง 6.6 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.94 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณการระเหยของดินที่แท้จริงสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม ซึ่งตรงกับช่วงฝนชุกทำให้ปริมาณน้ำในดินมีค่าสูง ส่วนค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงหน้าแล้งปริมาณน้ำในดินต่ำ

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าสูงใกล้เคียง 1 (Figure 5(a) และ (b)) ซึ่งหมายถึงแบบจำลองทั้งสองให้ผลการประมาณค่าศักยภาพการระเหยและปริมาณการระเหยจริงได้ใกล้เคียงกัน ในกรณีของการระเหยของดินที่แท้จริง (Figure 5(b)) สามารถสังเกตค่าการประมาณได้เป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มที่มีค่าสูงใกล้เคียงกับค่าศักยภาพการระเหย และกลุ่มที่มีค่าต่ำ โดยกลุ่มแรกแบบจำลองทั้งสองให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกัน ส่วนกลุ่มที่สองแบบจำลอง jlrAls-SW มีแนวโน้มให้ค่าสูงกว่าเล็กน้อย

การระเหยและคายน้ำกรณีปลูกหญ้า

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างแบบจำลอง jlrAls-SW และ SWAP ในกรณีปลูกหญ้าของชุดดินนครปฐมแสดงใน Figure 7 และ Figure 9 โดยใน Figure 7(a) เป็นศักยภาพการระเหยของดิน (potential soil evaporation) และ Figure 7(b) เป็นการระเหยของดินที่แท้จริง (actual soil evaporation) ส่วนใน Figure 9(a) เป็นศักยภาพการคายน้ำ (potential transpiration) และ Figure 9(b) เป็นการคายน้ำจริง (actual transpiration) ใน Figure 8 แสดงศักยภาพการระเหย และการระเหยจริงเป็นรายวัน ส่วน Figure 10 แสดงศักยภาพการคายน้ำ และการคายน้ำจริงเป็นรายวัน

ผลการประมาณค่าในส่วนของการประมาณการระเหย พบว่า ศักยภาพการระเหยของดินจากแบบจำลอง jlrAls-SW มีค่าระหว่าง 0.6 ถึง 1.4 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.90 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนจากแบบจำลอง SWAP มีค่าระหว่าง 0.6 ถึง 1.4 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.92 มิลลิเมตรต่อวัน การระเหยของดินที่แท้จริงจากแบบจำลอง jlrAls-SW มีค่าระหว่าง 0.02 ถึง 1.24 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.49 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนจากแบบจำลอง SWAP มีค่าระหว่าง 0.02 ถึง 1.27 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.48 มิลลิเมตรต่อวัน

ส่วนผลลัพธ์ของการประมาณการคายน้ำ พบว่า ศักยภาพการคายน้ำจากแบบจำลอง jlrAls-SW มีค่าระหว่าง 1.86 ถึง 6.85 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนจากแบบจำลอง SWAP มีค่าระหว่าง 1.55 ถึง 6.69 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.81 มิลลิเมตรต่อวัน ปริมาณการ

คายน้ำจริงจากแบบจำลอง jlrAls-SW มีค่าระหว่าง 0.13 ถึง 5.30 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.97 มิลลิเมตรต่อวัน ส่วนจากแบบจำลอง SWAP มีค่าระหว่าง 0.13 ถึง 5.25 มิลลิเมตรต่อวัน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.81 มิลลิเมตรต่อวัน

ผลการประมาณค่าจากแบบจำลอง jlrAls-SW และ SWAP ในกรณีปลูกหญ้าให้ค่าการระเหยจากดินและการคายน้ำใกล้เคียงกัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ 1 ในทุกกรณี (Figure 7 และ Figure 9) ถึงกระนั้นแบบจำลอง SWAP ประเมินปริมาณการระเหยจากดินต่ำกว่าแบบจำลอง jlrAls-SW เล็กน้อย (Figure 7) ส่วนปริมาณการคายน้ำแบบจำลอง jlrAls-SW ประเมินค่าสูงกว่าแบบจำลอง SWAP เล็กน้อย (Figure 9) นอกจากนี้จากการพิจารณาผลลัพธ์ของศักย์การระเหย (Figure 7(a)) กับ การระเหยจริง (Figure 7(b)) สังเกตได้ว่า ศักย์การระเหยมีการกระจายตัวเรียงกันเป็นเส้นตรง แต่การระเหยจริงมีบางค่ากระจายตัวออกจากแนวเส้นตรง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าบางกรณีแบบจำลอง jlrAls-SW ให้ค่าสูงกว่า แต่เกิดขึ้นไม่บ่อยนักจึงทำให้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ยังคงมีค่าสูงใกล้เคียง 1

การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน

ใน Figure 11 เป็นปริมาณความชื้นในดินจากแบบจำลอง jlrAls-SW และ SWAP ในดินชุดดินนครปฐม (Np) และชุดดินสระบุรี (Sb) กรณีดินเปล่า ส่วน Figure 12 เป็นกรณีปลูกหญ้า

นับตั้งแต่เริ่มต้นการจำลองสถานการณ์ในเดือนมกราคม ปริมาณความชื้นในดินมีปริมาณลดลงช้าๆ จนกระทั่งฝนตกถึงขั้นหลังเดือนเมษายน ปริมาณความชื้นจึงกลับเพิ่มขึ้นและมีการแกว่งตัวในช่วงไม่กว้างตลอดฤดูฝน เมื่อฝนหยุดตกหลังเดือนตุลาคม ทำให้ปริมาณความชื้นค่อยๆ ลดลง จนกระทั่งเดือนเมษายนในปีถัดไป ปริมาณน้ำในดินจึงกลับเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ในช่วงปลายฤดูฝนของ

รอบปีที่สองระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ปริมาณความชื้นในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก จนทำให้หน้าตัดดินอิ่มตัวด้วยน้ำทั้งหน้าตัดในการจำลองสถานการณ์บางกรณี

จากการพิจารณาปริมาณน้ำฝนรายปี พบว่าทั้งสองปีมีปริมาณน้ำฝนรวมใกล้เคียงกัน แต่ในปีแรก (พ.ศ. 2544) การกระจายของฝนค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดช่วงฤดูฝน ส่วนในปีหลัง (พ.ศ. 2545) ฝนจะตกชุกในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม (Figure 4) ซึ่งจากผลการจำลองสถานการณ์ชี้ให้เห็นว่าการกระจายของฝนที่ตกในรูปแบบของปีหลัง จะมีปริมาณน้ำซึมลงดินมากกว่า

ในภาพรวมผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในดินมีแนวโน้มสอดคล้องกัน ทั้งผลจากแบบจำลอง jlrAls-SW และ SWAP ทั้งกรณีดินเปล่าและกรณีปลูกหญ้า โดยผลลัพธ์จากแบบจำลอง jlrAls-SW ให้ค่าปริมาณความชื้นในดินโดยเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อย ชุดดินสระบุรีซึ่งเป็นดินเหนียวมีปริมาณความชื้นในดินโดยเฉลี่ยสูงกว่าชุดดินนครปฐมซึ่งเป็นดินร่วน และท้ายสุดผลการจำลองกรณีปลูกหญ้ามียุติปริมาณน้ำในดินโดยเฉลี่ยน้อยกว่ากรณีดินเปล่า

แต่มีข้อสังเกตสำหรับผลลัพธ์ของแบบจำลอง SWAP ในการจำลองกรณีปลูกหญ้าของชุดดินสระบุรี (Figure 12) ซึ่งให้ผลไม่สอดคล้องกับผลของแบบจำลอง jlrAls-SW โดยปริมาณความชื้นในดินมีค่าค่อนข้างต่ำกว่ามาก และมีการตอบสนองต่อปริมาณน้ำฝนที่ซึมลงดินน้อย ทั้งนี้เนื่องจากชุดดินสระบุรีเป็นดินเหนียวมีค่าการนำน้ำค่อนข้างต่ำ เมื่อฝนตกในปริมาณมากมีผลให้น้ำซึมลงดินไม่หมด จึงเกิดเป็นฝนส่วนเกินขึ้น แบบจำลอง SWAP กำหนดให้ฝนส่วนเกินไหลเป็นน้ำท่าผิวดินออกจากหน่วยที่พิจารณา ส่วนแบบจำลอง jlrAls-SW กำหนดให้เป็นน้ำซังบนผิวดินและไหลซึมลงดินในวันถัดมา

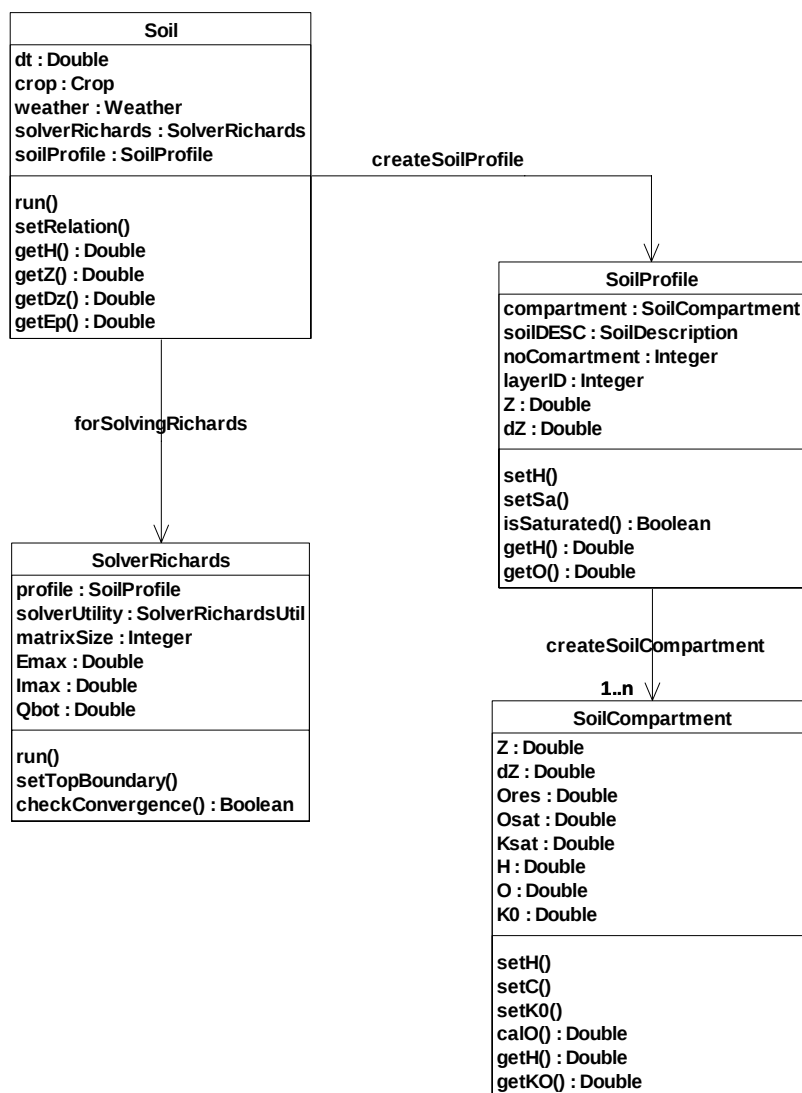


Figure 3 Class diagrams of class "Soil" and its composite classes.

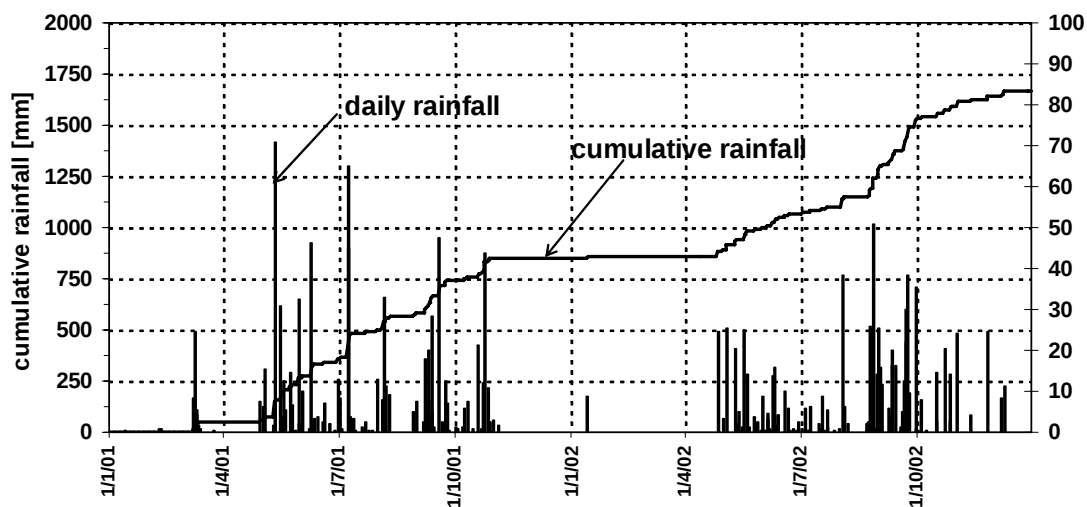


Figure 4 Daily rainfall and cumulative rainfall at Chainat station (January 2000 – December 2001)

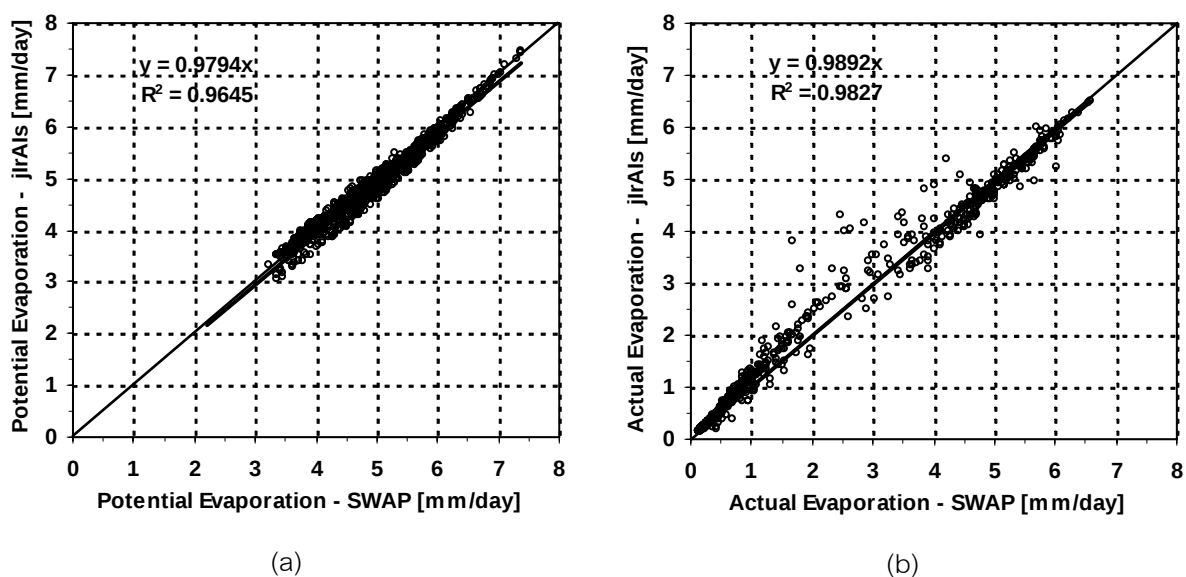


Figure 5 Comparison of soil evaporation estimated by SWAP and jlrAls models in case of bare soil:
(a) potential evaporation (b) actual evaporation.

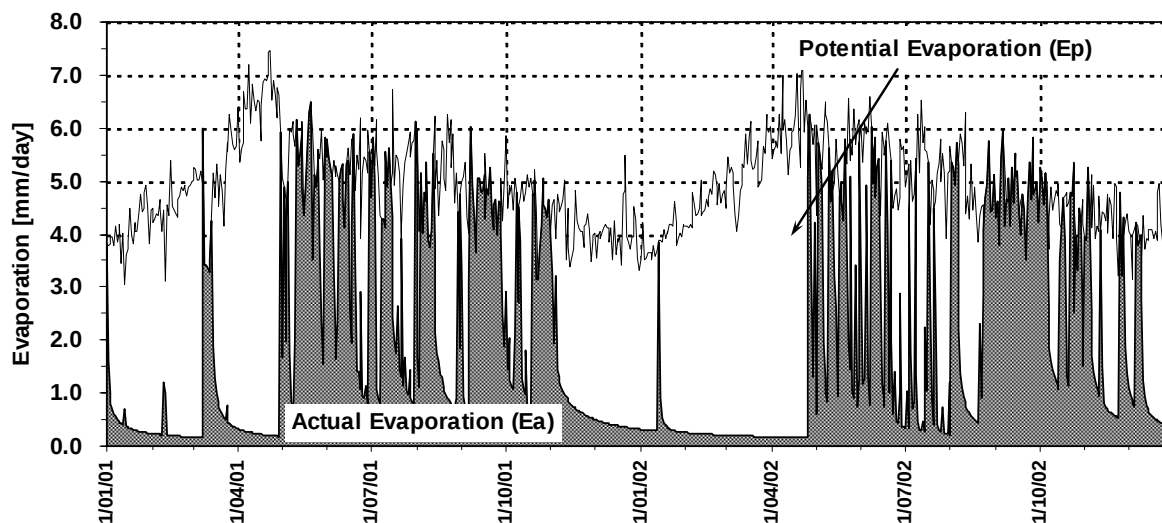
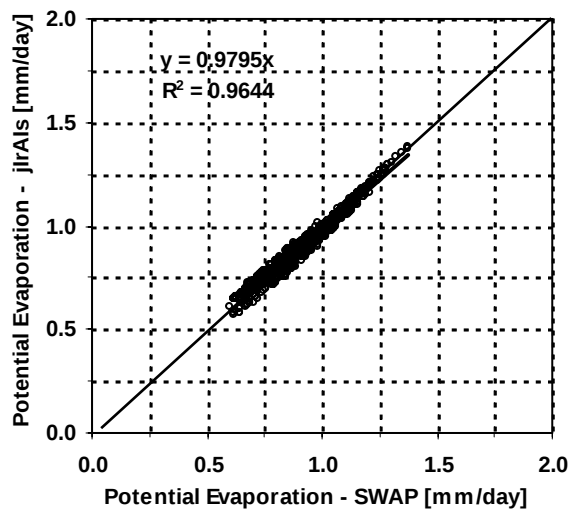
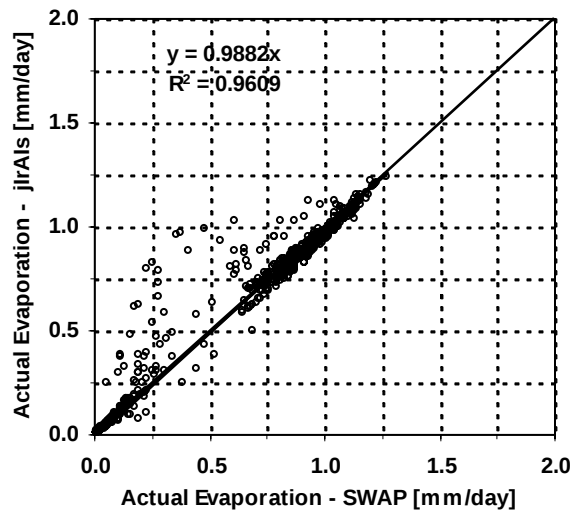


Figure 6 Soil evaporation estimated by jlrAIs-SW model in case of bare soil.



(a)



(b)

Figure 7 Comparison of soil evaporation estimated by SWAP and jlrAIs models in case of grass covered surface (a) potential evaporation (b) actual evaporation.

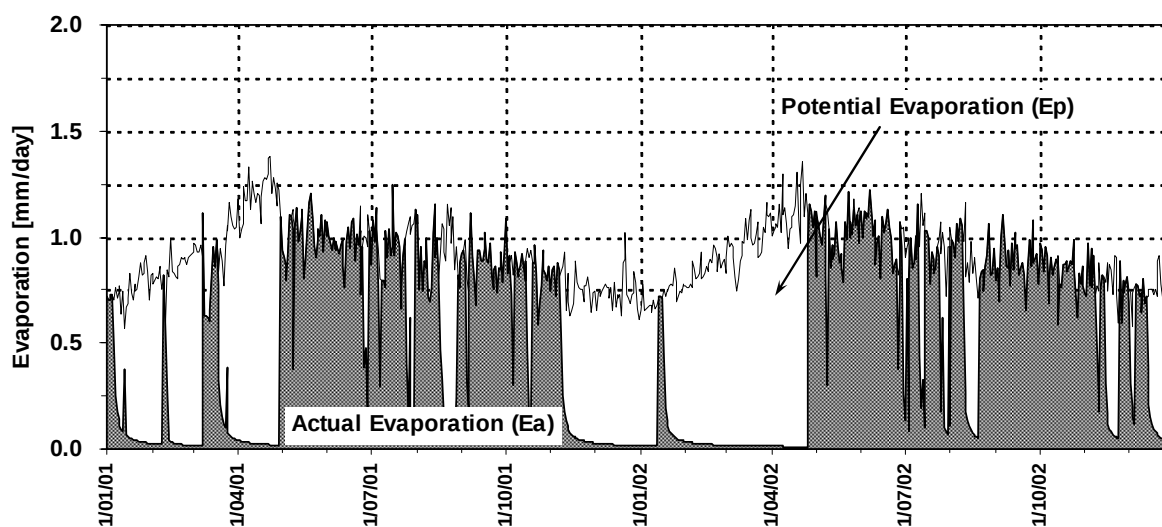


Figure 8 Soil evaporation estimated by jlrAls-SW model in case of grass covered surface.

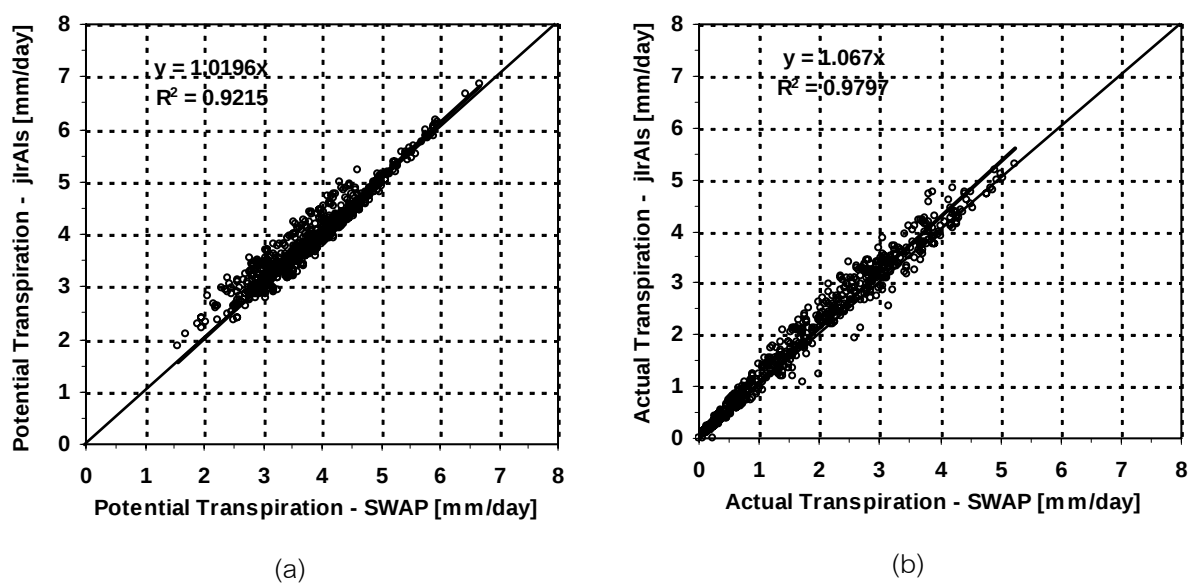


Figure 9 Comparison of transpiration estimated by SWAP and jlrAls models in case of grass covered surface : (a) potential transpiration (b) actual transpiration.

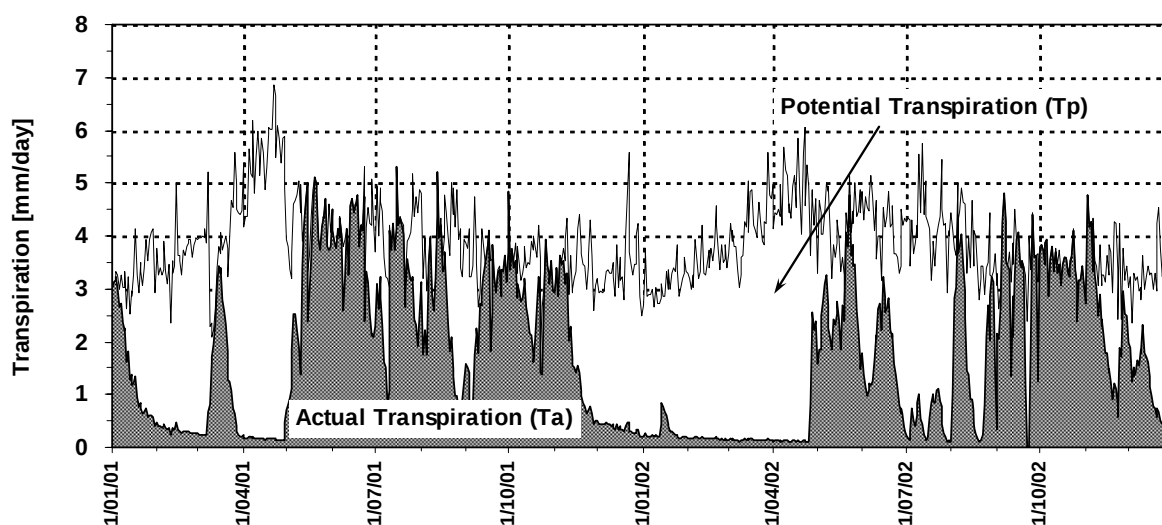


Figure 10 Transpiration estimated by jlrAls-SW model in case of grass covered surface

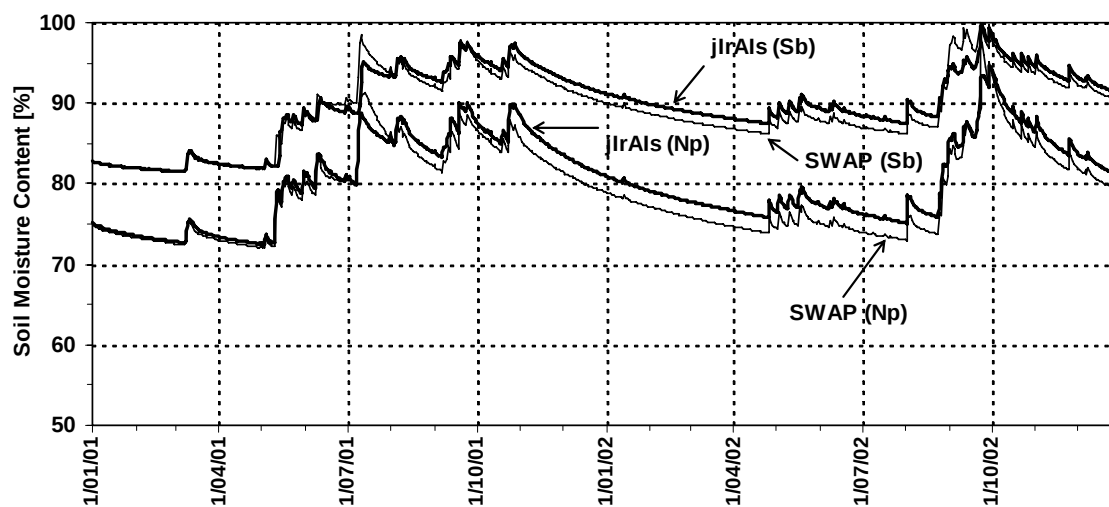


Figure 11 Dynamics of moisture in soil column in case of bare soil.

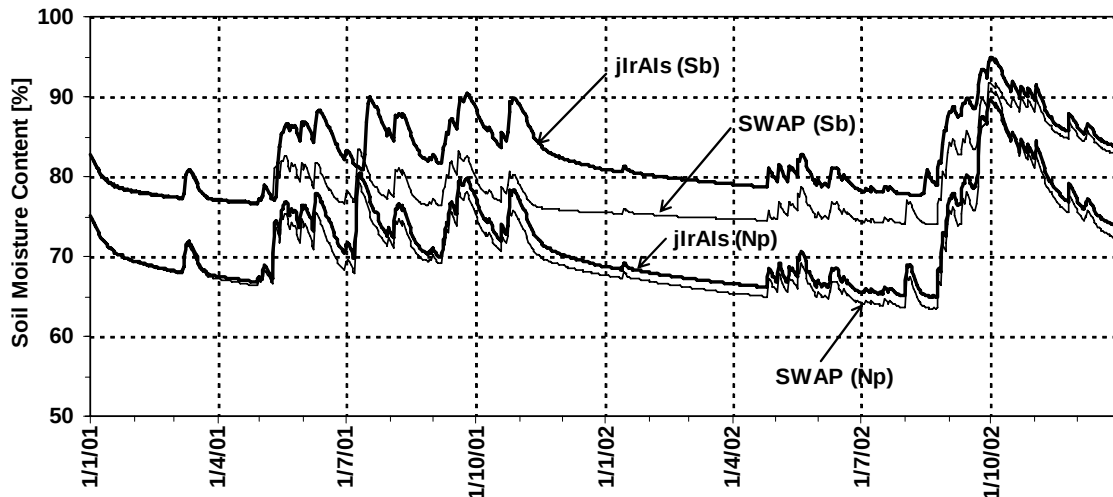


Figure 12 Dynamics of moisture in soil column in case of grass covered surface

สรุปและข้อเสนอแนะ

แบบจำลอง jlrAls-SW (soil-water flow) พัฒนาโดยใช้แนวทางเชิงอ็อบเจกต์ด้วยภาษา Java และชุดเครื่องมือ Repast ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือสำหรับสร้างแบบจำลองบนพื้นฐานของเอเจนต์ (agent-based modeling) โครงสร้างแบบจำลองนี้ประกอบด้วยอ็อบเจกต์หลักคือ weather, crop และ soil ซึ่งเชื่อมโยงกันผ่านกลไกการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยอ็อบเจกต์ soil เป็นองค์ประกอบหลักของการจำลองการไหลของน้ำในดิน การทดสอบแบบจำลองกระทำโดยการจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินโดยใช้ข้อมูลรายวัน ระยะเวลา 2 ปี (ม.ค.2544 ถึง ธ.ค.2545) กับชุดดินนครปฐมและชุดดินสระบุรี ในกรณีดินเปล่าและกรณีปลูกหญ้า การทวนสอบผลลัพธ์ทำโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์กับแบบจำลอง SWAP โดยกำหนดพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้งสองเหมือนกัน จากผลการจำลองสถานการณ์พบว่า แบบจำลองทั้งสองให้ผลลัพธ์ของปริมาณการระเหยจากดินและปริมาณการคายน้ำอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นในดินมีแนวโน้มสอดคล้องกัน ทั้งกรณีดินเปล่าและกรณีปลูกหญ้า โดยความชื้นในดินจากแบบจำลอง jlrAls-SW โดยเฉลี่ยสูงกว่า SWAP เล็กน้อย ในกรณีปลูกหญ้าโดยเฉลี่ยมีปริมาณน้อยกว่ากรณีดินเปล่า และท้ายสุดความชื้นในชุดดินสระบุรีมีปริมาณโดยเฉลี่ยสูงกว่าชุดดินนครปฐม แนวทางเชิงอ็อบเจกต์สามารถประยุกต์ใช้และพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใน

ดินที่มีความซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์แบบจำลองในพื้นที่ขนาดใหญ่ยังคงต้องการกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบเชิงอ็อบเจกต์ที่เหมาะสมและคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงในการทำงาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์บัณฑิตวิทยาลัย ทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนพัฒนาอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล และเป็นผลงานส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่อง การวินิจฉัยการจัดการน้ำในลุ่มแม่น้ำท่าจีน

เอกสารอ้างอิง

- ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์ และ เอกสิทธิ์ โสสิตสกุลชัย. 2550. การจำลองการไหลของน้ำผิวดินแบบ 2 มิติในพื้นที่ลาดชัน ด้วยระเบียบวิธี Finite Volume, น. 221-227. ใน: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12, พิษณุโลก. วสท, กรุงเทพฯ.
- วีระศักดิ์ ชิงฉาวร. 2545. Java programming volume I. ซีเอ็ดดูเคชั่น, กรุงเทพฯ. 432 น.

- สถิระ อุดมศรี, ขนิษฐศรี ชื่นตระกูล และ สมิตรา วัฒนา. 2547. การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคกลางของประเทศไทยจำแนกใหม่ตามระบบอนุกรมวิธานดิน. 2546. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.
- Allen, R. G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage paper 56. FAO, Rome.
- Bouman, B.A.M., M.J. Kropff, T.P. Tuong, M.C.S. Wopereis, H.F.M. ten Berge and H.H. van Laar. 2001. ORYZA2000: modeling lowland rice. IRRI, Los Banos.
- Celia, M.A., E.T. Boulotas and E.L. Zarba. 1990. A general mass conservation numerical solution for the unsaturated flow equation. Water Resour. Res. 26:1483-1496.
- Huang, K., B.P. Mohanty and M.T. van Genuchten. 1996. A new convergence criterion for the modified picard iteration method to solve the variably saturated flow equation. J. Hydrol. 178:69-91.
- Jones, N.L. 1999. SEEP2D primer environmental modeling research laboratory. Brigham Young University. Provo, UT.
- Jury, W., W.R. Gardner and W.H. Gardner. 1991. Soil physics, John Wiley&Sons, New York, NY. 328 p.
- Kennedy, J., R.C. Eberhart and Y. Shi. 2007. Swarm intelligence. Elsevier. URL: www.sciencedirect.com/science/book/9781558605954.
- Kroes, J.G. and J.C. van Dam. 2003. Reference manual SWAP version 3.0.3. Alterra-report 773. Alterra, Green World Research, Wageningen. 211 p.
- Liang, Y.D. 2005. Introduction to JAVA programming, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 1162 p.
- Lin, H.C., D.R. Richards, G.T. Yeh, J.R. Cheng, H.P. Cheng and N.L. Jones. 1996. FEMWATER. A three-dimensional finite element computer model for simulating density-dependent flow and transport. US Army Engineering Research and Development Center, Vicksburg, MS. 129 p.
- Liu, D. and T.J. Stewart. 2004. Integrated object-oriented framework for MCDM and DSS modeling. Decision Support Systems. 38:421-434.
- McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh. 1988. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. USGS, Reston, VA.
- Monteith, J.L. and M.H. Unsworth. 1990. Principles of environmental physics. 2nd ed. Edward Arnold, London. 291 p.
- Mualem, Y. 1976. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. Water Resour. Res. 22(supplement): 89S-108S.
- North, M.J., N.T. Collier and J.R. Vos. 2006. Experiences creating three implementations of the repast agent modeling toolkit. ACM T. Modell. Comput. Simul. 16(1):1-25.
- Pan, X., J.D. Hesketh and M.G. Huck. 2000. OWSimu: an object-oriented and web-based simulator for plant growth. Agr. Syst. 63:33-47.
- Papajorgji, P. and T.M. Shatar. 2004. Using the Unified Modeling Language to develop soil water-balance and irrigation-scheduling models. Environ. Modell. Soft. 19:451-459.
- Papajorgji, P.J. and P.M. Pardalos. 2006. Software engineering techniques applied to agricultural systems: an object-oriented and UML Approach, Springer, New York, NY. 247 p.
- Simunek, J., M. Sejna and M.Th. van Genuchten. 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-

- dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. U.S. Salinity Laboratory Agricultural Research Service, USDA, Riverside, CA.
- ten Berge, H.F.M., D.M. Jansen, K. Rappoldt and W. Stol. 1992. The soil water balance model SAWAH: User's guide and outline. CABO-TPE Simulation Report Series 22, CABO, Wageningen.
- van Dam, J.C. and R.A. Feddes. 2000. Numerical simulation of infiltration, evaporation and shallow groundwater levels with the Richards equation. J. Hydrol. 233:72-85.
- van Dam, J.C., J. Huygen, J.G. Wesseling, R.A. Feddes, P. Kabat, P.E.V. van Walsum, P. Groenendijk and C.A. van Diepen. 1997. Theory of SWAP version 2.0: Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.
- van Genuchten, M.Th. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892-898.
- Wopereis, M.C.S., B.A.M. Bouman, T.P. Tuong, H.F.M. ten Berge and M.J. Kropff. 1996. ORYZA_W: rice growth model for irrigated and rainfed environments. SARP Res. Proc. IRRI/AB-DLO, Wageningen.
- Wosten, J.H.M., Y.A. Pachepsky and W.J. Rawls. 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. J. Hydrol. 251:123-150.

Received 17 Noember 2007

Accepted 1 April 2008