

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยวิธีการสำรวจระยะไกล
กรณีศึกษาพื้นที่ราบภาคกลาง
Estimation of Evapotranspiration by Remote Sensing Method
A Case Study of the Central Plain of Thailand

เอกสิทธิ์ โสสิตสกุลชัย^{1*}
Ekasit Kositsakulchai^{1*}

ABSTRACT

The remote sensing method in estimating crop evapotranspiration (ET) in term of evaporation flux from the Central Plain of Thailand, during the dry season of 2001-2002 was investigated. The evaporation flux was estimated by the surface energy balance approach, and validated by the results from the FAO Penman-Monteith and the evaporation pan methods.

Surface albedo, vegetation index (NDVI) and surface temperature were used as basic inputs in calculating the energy balance parameters, including net radiation, soil heat flux and sensible heat flux. These parameters were subsequently used in estimating the evaporative fraction (EF) by 2 comparative approaches: SEBAL and S-SEBI, and finally the 24-h actual ET was derived. The results showed that the maximum ET increased during the dry season which was in good agreement with the reference crop ET derived from the FAO Penman-Monteith method. Also, the actual ET from the irrigated area presented similar tendency. However, in the non-irrigated area, the actual ET was lesser due to the difference in the evaporative fraction between these two areas. The evaporative fraction could be used to describe the soil moisture of the investigated area.

In conclusion, the surface energy balance algorithms yielded reliable results in estimating ET from satellite image. However, further researches are still needed in order to improve the accuracy of the estimation and to minimize limitations of the algorithms, especially in the period of cloudy sky.

Key words : Evapotranspiration, Surface Energy Balance, NOAA/AVHRR, Central Plain of Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการใช้เทคนิคสำรวจระยะไกลสำหรับการประเมินการใช้น้ำของพืชในเขตพื้นที่ราบภาคกลางระหว่างฤดูแล้งปี 2544 ถึง 2545 ในการนี้ ได้เลือกใช้หลักสมมูลของพลังงานที่พื้นผิว สำหรับการประเมินอัตราการระเหย พร้อมกับได้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับการใช้น้ำของพืชที่หาจากวิธี FAO Penman-Monteith และ ถาดวัดการระเหย Class A การสะท้อนของพื้นผิว ดัชนีพืชพรรณ และอุณหภูมิพื้นผิวที่หาจากข้อมูล AVHRR ของดาวเทียม NOAA เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประเมินตัวแปรของสมการสมมูลพลังงาน ประกอบด้วย พลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิ พลังงานที่ถ่ายเทลงดิน และพลังงานที่ถ่ายเทสู่อากาศ จากนั้น ข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกใช้สำหรับหาสัดส่วนการระเหยโดย 2 กระบวนวิธีเปรียบเทียบกัน (SEBAL และ S-SEBI) และท้ายสุด นำไปใช้หาอัตราการระเหยเฉลี่ยรายวัน ผลการประเมินพบว่า อัตราการใช้น้ำสูงสุดของพืชในเขตชลประทานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งสอดคล้องกับอัตราการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่หาจากวิธี FAO Penman-Monteith ส่วนอัตราการระเหย

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. +66 (0) - 3435 - 1897, Fax. +66 (0) - 3435 - 1404, E-mail address: ekasit.k@ku.ac.th

จริงของพืชในเขตชลประทานมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับอัตราการใช้น้ำสูงสุด แต่พื้นที่นอกเขตชลประทานมีค่าต่ำกว่าอันเป็นผลมาจากความแตกต่างของค่าสัดส่วนการระเหยระหว่างพื้นที่ทั้งสอง ซึ่งค่าสัดส่วนการระเหยนี้สามารถใช้อธิบายสถานะของความชื้นในพื้นที่ได้

กระบวนการวิิหาการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลดาวเทียมโดยหลักสมมูลพลังงานให้ผลในเกณฑ์น่าเชื่อถือได้ แต่ยังต้องการงานวิจัยต่อเนื่องอีกเพื่อให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำยิ่งขึ้น และเพื่อลดข้อจำกัดของกระบวนการวิิหาโดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ในการบริหารจัดการน้ำและพัฒนาเป็นเครื่องมือใช้งานจริงต่อไป

คำสำคัญ: ปริมาณการใช้น้ำของพืช สมมูลพลังงานที่พื้นผิว ข้อมูล AVHRR ของดาวเทียม NOAA ที่ราบภาคกลาง

คำนำ

การใช้น้ำเพื่อการเกษตรเป็นกิจกรรมที่มีการใช้น้ำมากที่สุดและมีลำดับความสำคัญสูงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่ทำการเกษตรเป็นหลักอย่างประเทศไทย การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอย่างถูกต้องแม่นยำช่วยให้ทำการวางแผนบริหารจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพและใช้น้ำให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด ถึงกระนั้น การทำงานในพื้นที่ขนาดใหญ่ระดับลุ่มน้ำหรือทั้งระบบส่งน้ำชลประทานมีความจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก การรวบรวมข้อมูลอย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์นั้นกระทำได้ยาก และยังมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง

การใช้วิธีสำรวจระยะไกลเป็นแนวทางหนึ่งที่แก้ปัญหาในด้านข้อมูลได้ เนื่องจากแนวทางนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ดีกับพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยให้ผลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง และไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดในภาคสนามมากนัก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูลภาพดาวเทียมร่วมกับการสำรวจภาคสนาม (ground truth) สามารถช่วยให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องยิ่งขึ้น (Kite and Droogers, 2000a)

งานศึกษาทางด้านการหาค่าการระเหยและการใช้น้ำของพืชถือได้ว่าเป็นงานหลักอันหนึ่งในการนำเทคนิคการสำรวจระยะไกลมาใช้ทางด้านอุทกวิทยาและการบริหารจัดการน้ำ (D'Souza *et al.*, 1993; Diekkruiger *et al.*, 1999; Schultz and Engman, 2000; Schmugge *et al.*, 2002) ถึงกระนั้น การนำเทคนิคการสำรวจระยะไกลมาประยุกต์นั้นยังคงจำกัดอยู่ในระดับงานวิจัยเป็นส่วนใหญ่ ข้อจำกัดนี้เป็นผลมาจากต้นทุนในการจัดหาข้อมูลภาพดาวเทียมและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญทั้งในด้านการสำรวจระยะไกลและด้าน

การจัดการน้ำในการทำงาน (Bastiaanssen *et al.*, 2000)

Kite และ Droogers (2000a) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคต่าง ๆ ในการหาค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช ได้แก่ (1) การใช้ข้อมูลจากการตรวจวัดจากแปลงเพาะปลูกและสถานีตรวจอากาศคำนวณตามขั้นตอนของ FAO-24 (Doorenbos and Pruitt, 1977) และ FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) (2) การใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา และ (3) การใช้วิธีการสำรวจระยะไกล (Granger, 1997; Bastiaanssen *et al.*, 1998; Choudhury and DiGirolamo, 1998) ผลการศึกษาของ Kite และ Droogers (2000a; 2000b) มิได้สรุปว่าวิธีใดให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำกว่ากัน แต่ได้ทำการสรุปเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแต่ละวิธีกับค่าเฉลี่ยที่ได้จากทุกวิธี ซึ่งทุกวิธีให้ผลลัพธ์ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้นวิธีที่คำนวณตามขั้นตอน FAO-24 และวิธีของ Choudhury และ DiGirolamo (1998) ซึ่งให้ค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยค่อนข้างมาก

นอกจากนี้ Kite และ Droogers (2000a) ยังได้สรุปประเด็นเกี่ยวกับความต้องการใช้ข้อมูลเพื่อการหาปริมาณค่าการใช้น้ำ และการนำไปใช้งาน โดยเกือบทุกเทคนิคการหาค่าการใช้น้ำของพืชต้องการข้อมูลภูมิอากาศ โดยวิธีในกลุ่มของการคำนวณตามขั้นตอนของ FAO และการใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาต้องการข้อมูลดินเพิ่มเติมในการคำนวณ ในขณะที่การใช้วิธีสำรวจระยะไกลต้องการข้อมูลดาวเทียม

ในส่วนของการนำไปใช้งาน วิธีการใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาและวิธีสำรวจระยะไกล จะมีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณมากกว่าวิธีการคำนวณตามขั้นตอนของ FAO ในขณะที่วิธีสำรวจระยะไกลมีจุดเด่นในเรื่องการครอบคลุมพื้นที่กว้างได้ดี

โดยมีรายละเอียดระดับปานกลางถึงดี ส่วนแบบจำลองทางอุทกวิทยามีจุดเด่นในเรื่องของการคำนวณที่เวลาต่อเนื่องและการนำไปใช้เพื่อการทำนายการใช้น้ำของพืชล่วงหน้า

งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นการศึกษาเพื่อประเมินแนวทางการใช้ข้อมูล AVHRR ของดาวเทียม NOAA ที่หาได้จากอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้น้ำของพืชทั้งภูมิภาค โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ (1) เพื่อศึกษาและทดสอบกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล AVHRR ของดาวเทียม NOAA สำหรับใช้ประเมินค่าการใช้น้ำของพืช และ (2) เพื่อประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชในเขตที่ราบภาคกลางจากข้อมูลดาวเทียมพร้อมกับเปรียบเทียบกับวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

ข้อมูลและวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

ที่ราบภาคกลางเป็นพื้นที่ราบลุ่มรูปสามเหลี่ยม (Delta) อยู่บริเวณพื้นที่ตอนล่างของกลุ่มน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำแม่กลอง สภาพภูมิอากาศของพื้นที่นี้ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมทำให้มีฝนตกและลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน มีผลให้อากาศแห้งแล้งและหนาวเย็นเป็นบางช่วง ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีในพื้นที่ราบภาคกลางอยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,400 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำท่าสูงสุดของลำน้ำสายหลักในพื้นที่ เกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม อันมีสาเหตุมาจากอิทธิพลของลมมรสุมและลมพายุโซนร้อนจากทะเลจีนใต้ ลำน้ำสายหลักที่ไหลผ่านที่ราบภาคกลางได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำสุพรรณ (หรือแม่น้ำท่าจีน) และแม่น้ำแม่กลอง พื้นที่ราบภาคกลางมีสภาพเป็นพื้นที่ราบลุ่มและดินเป็นดินตะกอนเหนียวมีสภาพพื้นที่เหมาะสมต่อการเกษตรโดยเฉพาะการทำนา เมื่อมีการพัฒนาแหล่งเก็บกักน้ำบริเวณต้นน้ำและระบบชลประทาน ทำให้มีน้ำเพียงพอสำหรับการทำนาปรัง นอกจากนี้ ยังได้มีการพัฒนาพื้นที่จากการทำนา เป็นการทำสวนผลไม้ สวนผัก สวนดอกไม้ และบางบริเวณได้พัฒนาไปเป็นพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

ข้อมูลที่ใช้

ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ เป็นข้อมูลแบบจำลองระดับความสูง (Digital Elevation Model, DEM) จัดทำโดยสถาบัน National Oceanic and

Atmospheric Administration (NOAA) ข้อมูลเป็นแบบราสเตอร์ มีขนาดจุดภาพ (pixel size) 30 พิลิปดา ข้อมูล AVHRR ของดาวเทียม NOAA ได้จากการประมวลผลผ่านเครือข่ายโดยโปรแกรม PaNDA (Package for Noaa Data Analysis) ที่เว็บไซต์ของ Institute of Industrial Science, University of Tokyo ข้อมูลดาวเทียมมีขนาดจุดภาพ 30 พิลิปดา ในการประมวลผลได้ทำการแปลงระบบพิกัดเป็นระบบ UTM, Datum WGS84 โดยมีขนาดจุดภาพ 1,000 เมตร

ข้อมูล DEM และข้อมูลดาวเทียมที่เลือกใช้ครอบคลุมพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาและแม่กลอง โดยมีพิกัดระหว่างละติจูด 13°N ถึง 17°N และ ลองจิจูด 98°E ถึง 102°E โดยข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลในช่วงฤดูแล้งเดือนพฤศจิกายน 2544 ถึง เมษายน 2545

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาใช้สำหรับการประเมินการใช้น้ำของพืชโดยวิธี FAO Penman-Monteith และ การวัดการระเหย Class A เป็นข้อมูลรายวันระหว่างปี 2544 ถึง 2545 จากสถานีตรวจอากาศเกษตรที่ตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา จำนวน 8 สถานี ข้อมูลประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศสูงสุดและต่ำสุด, ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดและต่ำสุด, ทิศทาง และความเร็วลมเฉลี่ย, ความยาวนานของแสงแดด, ปริมาณน้ำระเหยจากภาตวัดการระเหย และปริมาณน้ำฝน

วิธีการ

การประเมินการระเหยจากข้อมูลดาวเทียมประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ การเตรียมข้อมูล ซึ่งเป็นการจัดหาข้อมูลดาวเทียมโดยการดาวน์โหลดจากอินเทอร์เน็ต รวมถึง การปรับรูปแบบของข้อมูลและระบบพิกัดอ้างอิง และการคัดจุดภาพที่เป็นเมฆออกจากภาพถ่าย (cloud masking) ขั้นที่สอง เป็นการประเมินอัตราการระเหยจากข้อมูลดาวเทียมตามหลักสมดุลพลังงาน แบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย (1) การหาพารามิเตอร์พื้นผิว (2) การหาพารามิเตอร์ของสมการสมดุลพลังงาน (3) การหาสัดส่วนการระเหย และ (4) การหาอัตราการระเหยเฉลี่ยในรอบวัน และขั้นที่สาม การแปลงผลลัพธ์และตรวจสอบ การตรวจสอบผลเชิงคุณภาพ เป็นการพิจารณาความเป็นไปได้และความสอดคล้องของข้อมูลที่ปรากฏขึ้นในแผนที่ทั้งในเรื่องของตำแหน่งและเวลา ซึ่งกระทำร่วมกับการแปลงผลลัพธ์เชิงบรรยาย และการตรวจสอบภาคสนาม นอกจากนี้ ได้ใช้วิธีการทางสถิติช่วยในการสรุปข้อมูล

เชิงปริมาณ เพื่อใช้ตรวจสอบเปรียบเทียบกับผลการใช้น้ำของพืชจากวิธีต่าง ๆ

1. พารามิเตอร์พื้นผิว

พารามิเตอร์พื้นผิว (surface parameters) ประกอบด้วย การสะท้อนของพื้นผิว ดัชนีพืชพรรณ และอุณหภูมิพื้นผิว

การสะท้อนของพื้นผิว (surface albedo) เป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกจากพื้นผิวโลกต่อรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในช่วงคลื่นสั้น มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.3 ถึง 3 ไมโครเมตร (Basstiaanssen, 1998) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ค่าการสะท้อนของพื้นผิวนี้ใช้ band 1 และ band 2 ของข้อมูล AVHRR

ดัชนีพืชพรรณ (vegetation index, VI) เป็นค่าที่บอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมแผ่นดิน โดยค่า Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) หาจากสมการ

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

โดยที่

NIR : ค่าการสะท้อนของพื้นผิวในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (band 2 ของข้อมูล AVHRR)

RED : ค่าการสะท้อนของพื้นผิวในช่วงคลื่นสีแดง (band 1 ของข้อมูล AVHRR)

อุณหภูมิพื้นผิว (surface temperature) เป็นค่าอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นดินหรือผิวของสิ่งปกคลุมดิน การประเมินใช้กระบวนการวิธี Split-Window (Ulivieri *et al.*, 1994) โดยใช้ข้อมูล AVHRR ของดาวเทียม NOAA ในช่วงคลื่น thermal infrared (band 4 และ band 5) ร่วมกับข้อมูลการแปลงของพื้นผิว (surface emissivity) และข้อมูล DEM

2. การหาพารามิเตอร์ของสมการสมดุลพลังงาน

สมการสมดุลพลังงาน เขียนได้ดังนี้

$$R_n = G_o + H + \lambda E \quad (2)$$

โดยที่

R_n : รังสีแสงอาทิตย์สุทธิที่ได้รับ (net radiation)

G_o : ความร้อนที่ถ่ายเทลงดิน (soil heat flux)

H : ความร้อนที่ถ่ายเทสู่อากาศ (sensible heat flux)

λE : ความร้อนทำให้น้ำระเหย (latent heat flux)

พลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (net radiation) คำนวณจากสมการสมดุลรังสีที่พื้นผิว (surface radiation balance) ดังนี้

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) \cdot R_{L\downarrow} \quad (3)$$

โดยที่

R_n : รังสีแสงอาทิตย์สุทธิ (net radiation)

α : การสะท้อนของพื้นผิว (surface albedo)

ϵ_0 : การแผ่รังสีของพื้นผิว (surface emissivity)

$R_{s\downarrow}$: รังสีแสงอาทิตย์คลื่นสั้นที่ตกกระทบพื้นผิว (incoming shortwave radiation)

$R_{L\downarrow}$: รังสีแสงอาทิตย์คลื่นยาวที่ตกกระทบพื้นผิว (incoming longwave radiation)

$R_{L\uparrow}$: รังสีแสงอาทิตย์คลื่นยาวที่สูญเสียจากพื้นผิว (outgoing longwave radiation)

พลังงานที่ถ่ายเทลงดิน (soil heat flux) เขียนเป็นรูปสมการการนำความร้อนในดิน ดังนี้

$$G_o = \lambda_s \frac{dT}{dz} \quad (4)$$

โดยที่

G_o : ความร้อนในดิน (soil heat flux)

λ_s : การนำความร้อนของดิน (soil thermal conductivity)

dz : ระยะความลึกของดินนับจากผิวดิน

dT : ผลต่างของอุณหภูมิ

พลังงานที่ถ่ายเทสู่อากาศ หรือ พลังงานความร้อนที่รู้สึกได้ (sensible heat flux) เขียนเป็นรูปสมการดังนี้

$$H = \frac{\rho_{air} \times C_{p,air} \times dT}{r_{ah}} \quad (5)$$

โดยที่

H : ความร้อนในอากาศ (sensible heat flux)

ρ_{air} : ความหนาแน่นของอากาศ (air density)

$C_{p,air}$: ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ

r_{ah} : ความต้านทานของอากาศในการพาความร้อน (aerodynamic resistance to heat transport)

dT : ผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่พื้นผิวกับอากาศ

3. สัดส่วนการระเหย

สัดส่วนการระเหย (evaporative fraction) เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ในการระเหยกับพลังงานสุทธิที่พื้นผิวได้รับ ($R_n - G_o$) เขียนได้ดังสมการ

$$\Lambda = \frac{\lambda \cdot E}{(R_n - G_o)} \quad (6)$$

การหาสัดส่วนการระเหยจากสมการสมดุลพลังงาน ได้กระทำตามสองแนวทางเปรียบเทียบกัน คือ ตามกระบวนการวิธี SEBAL (Bastiaanssen *et al.*, 1998) และตามกระบวนการวิธี S-SEBI (Menenti & Choudhury, 1993; Roerink *et al.*, 2000) วิธี SEBAL ใช้ข้อมูล พารามิเตอร์ของสมการสมดุลพลังงาน ส่วนวิธี S-SEBI ใช้ข้อมูลการสะท้อนแสงของพื้นผิวกับอุณหภูมิพื้นผิวที่ระดับอ้างอิง ทั้งสองวิธี ต้องทำการกำหนดพื้นที่อ้างอิง สองลักษณะ ได้แก่ บริเวณที่ชุ่มชื้น และบริเวณที่แห้ง โดยบริเวณที่ชุ่มชื้นจะถือว่าเป็นพื้นที่ซึ่งพลังงานที่ได้รับทั้งหมดที่ถูกใช้ในการระเหยน้ำ ($\Lambda = 1$) ส่วน บริเวณที่แห้ง ถือว่าเป็นพื้นที่ซึ่งไม่มีการระเหยของน้ำ พลังงานที่ได้รับทั้งหมดถูกถ่ายเทสู่อากาศเป็นความร้อนที่รู้สึกได้ ($\Lambda = 0$)

4. กระบวนการวิธี SEBAL

SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) ใช้พารามิเตอร์ของสมการสมดุลพลังงานที่พื้นผิว 3 ตัวในการคำนวณ ได้แก่ รังสีแสงอาทิตย์สุทธิที่ได้รับ (R_n) ความร้อนที่ถ่ายเทลงดิน (G_o) และ ความร้อนที่ถ่ายเทสู่อากาศ (H)

การหาความร้อนที่ถ่ายเทสู่อากาศ (H) เป็นขั้นตอนที่ยากที่สุดของกระบวนการวิธี SEBAL ในการคำนวณต้องทำซ้ำหลาย ๆ รอบเพื่อให้ได้คำตอบ และต้องเลือกพื้นที่อ้างอิงสองลักษณะจากแผนที่อุณหภูมิพื้นผิว โดยจุดที่อุณหภูมิต่ำสุดในแผนที่ถือว่าเป็นจุดที่ชุ่มชื้น และจุดที่อุณหภูมิสูงสุดถือว่าเป็นจุดที่แห้ง

จากนั้น จึงนำพารามิเตอร์ของสมการสมดุลพลังงานมาคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยของน้ำ (λE) ตามสมการ

$$\lambda E = R_n - G_o - H \quad (7)$$

สัดส่วนการระเหยของวิธี SEBAL หาได้จากการแทนสมการ (7) ลงในสมการ (6) จะได้สมการ

$$\Lambda = \frac{(R_n - G_o - H)}{(R_n - G_o)} \quad (8)$$

5. กระบวนการวิธี S-SEBI

การหาสัดส่วนการระเหยตามวิธี S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index) ไม่ต้อง

คำนวณพารามิเตอร์ของสมการสมดุลพลังงาน ในการคำนวณใช้ข้อมูลการสะท้อนของพื้นผิว (surface reflectance, r_0) และข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่ระดับความสูงอ้างอิง (surface temperature for reference elevation, T_0) มาพล็อตกราฟ ดังแสดงใน Figure 1 จากกราฟสามารถสังเกตแนวโน้มตรงที่เกิดจากจุดเรียงกันเป็นขอบเขตล่างและขอบเขตบนซึ่งแปรผันตามค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว (r_0) โดยแนวของขอบเขตล่างถือว่าเป็นบริเวณที่ชุ่มชื้น ในทางตรงข้าม แนวขอบเขตบนเป็นบริเวณที่แห้ง

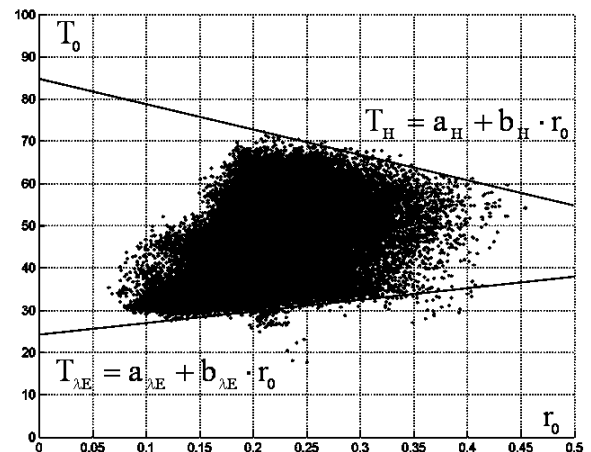


Figure 1 Feature space plot of reflectance (r_0) and surface temperature (T_0)

สัดส่วนการระเหยคำนวณโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว T_0 , การสะท้อนของพื้นผิว r_0 , อุณหภูมิสูงสุด T_H และอุณหภูมิต่ำสุด $T_{\lambda E}$ โดยที่ค่าของ T_H และ $T_{\lambda E}$ นั้นจะแปรผันตาม r_0 ซึ่งเขียนเป็นสมการเชิงเส้นได้เป็น

$$T_H = a_H + b_H \cdot r_0 \quad (9)$$

$$T_{\lambda E} = a_{\lambda E} + b_{\lambda E} \cdot r_0 \quad (10)$$

สัดส่วนการระเหยของวิธี S-SEBI หาได้จากสมการ

$$\Lambda = \frac{T_H - T_0}{T_H - T_{\lambda E}} \quad (11)$$

6. การหาอัตราการระเหยเฉลี่ยในรอบวัน

การประเมินพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ เป็นการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายขณะที่ดาวเทียมเคลื่อนผ่าน ผลลัพธ์ที่ประมวลได้นั้นเป็นผลขณะที่ถ่ายภาพ สำหรับการระเหยหรือปริมาณการใช้

น้ำของพืชนั้น ค่าที่ได้ขณะถ่ายภาพดาวเทียมนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงต้องการปรับเป็นปริมาณการระเหยตลอดวัน (24-h actual evapotranspiration) โดยใช้ข้อมูลพลังงานรังสีแสงอาทิตย์สุทธิในรอบวัน R_{n24} และพลังงานที่ถ่ายเทลงดินเฉลี่ยในรอบวัน G_{o24} ร่วมกับสัดส่วนการระเหย Λ โดยตั้งสมมติฐานว่าค่าสัดส่วนการระเหยนี้ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน

ปริมาณการระเหยตลอดวัน คำนวณจากผลคูณของสัดส่วนการระเหยกับพลังงานสุทธิตลอดวัน ($R_{n24} - G_{o24}$) และแปลงจากหน่วยพลังงานเป็นปริมาณน้ำโดยการหารด้วยค่าความร้อนแฝงของการระเหย (λ) ตามสมการ

$$ET_{a24} = \Lambda \cdot \frac{(R_{n24} - G_{o24})}{\lambda} \quad (12)$$

ผลและวิจารณ์

7. สัดส่วนการระเหย

การหาสัดส่วนการระเหย (Figure 3) ได้กระทำตามสองกระบวนการวิธี ได้แก่ SEBAL และ S-SEBI จากการพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้ (Table 1 และ Figure 2) พบว่า สัดส่วนการระเหยที่หาจากทั้งสองกระบวนการวิธีให้ผลลัพธ์ที่ไม่ต่างกันมากนัก โดยมีค่าต่างกันน้อยกว่า 0.10 ทั้งพื้นที่ในเขตชลประทาน (irrigation) และนอกเขตชลประทาน (non-irrigation) โดยเดือนที่มีค่าต่างกันค่อนข้างมาก (มากกว่า 0.10) เป็นผลลัพธ์ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคมของพื้นที่ในเขตชลประทาน

ความแตกต่างของสัดส่วนการระเหยระหว่างพื้นที่ในกับนอกเขตชลประทานมีค่าน้อยในช่วงปลายฤดูฝน/ต้นฤดูแล้ง และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงปลายฤดูแล้ง เนื่องจาก ในช่วงฤดูแล้งพื้นที่ในเขตชลประทานยังคงมีความชุ่มชื้นจากน้ำชลประทาน เมื่อได้รับพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ พื้นที่นี้ยังคงมีปริมาณน้ำสำหรับการระเหย ทำให้ค่าสัดส่วนการระเหยมีค่าสูงและมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย

ในทางตรงกันข้ามกับพื้นที่นอกเขตชลประทาน ซึ่งในช่วงปลายฤดูฝนมีความชุ่มชื้นใกล้เคียงกับพื้นที่ในเขตชลประทานทำให้ค่าสัดส่วนการระเหยในช่วงนี้ไม่ต่างกันมากนัก แต่เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้งปริมาณความชื้นในดินลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งมีผลให้ค่าสัดส่วนการระเหยมีแนวโน้มลดลง

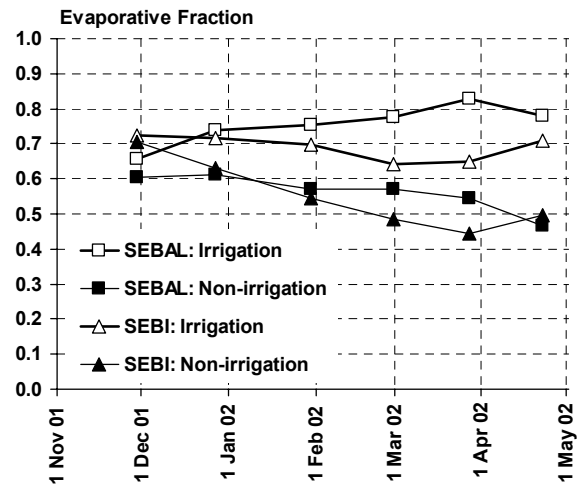


Figure 2 Comparison of evaporative fraction

อนึ่ง ในการคำนวณหาสัดส่วนการระเหยโดยวิธี SEBAL และ วิธี S-SEBI นั้น ทั้งสองวิธีจำเป็นต้องกำหนดพื้นที่อ้างอิงเป็นบริเวณที่ชุ่มชื้น และบริเวณที่แห้ง ข้อจำกัดประการหนึ่งของทั้งสองวิธีสำหรับการนำมาใช้กับพื้นที่ในเขตชลประทาน คือ การกำหนดบริเวณที่แห้ง ซึ่งหาได้ยากในเขตชลประทาน

นอกจากนี้ วิธี SEBAL เลือกจุดภาพเพียงจุดเดียวเป็นพื้นที่อ้างอิง หากเลือกจุดภาพที่ไม่เหมาะสมจะมีผลอย่างมากต่อผลลัพธ์ ส่วนวิธี S-SEBI ถึงแม้ว่าจะใช้จุดภาพหลายจุดที่เรียงเป็นแนวขอบเขตล่างและขอบเขตบน ทำให้ผลลัพธ์น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น แต่ปัญหาที่พบคือมีจำนวนจุดภาพไม่พอเพียงที่จะเรียงเป็นแนวเส้นตรงขอบเขตบนของบริเวณที่แห้ง

8. ปริมาณการใช้น้ำของพืช

ผลการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชรายวัน (Figure 4) จากสองวิธีเปรียบเทียบกัน ได้แก่ วิธี SEBAL (Figure 5) และวิธี S-SEBI (Figure 6) จากการพิจารณาผลลัพธ์ (Table 2) พบว่า ทั้งสองวิธีให้ค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยมีปริมาณการระเหยต่างกันน้อยกว่า 1 มิลลิเมตรต่อวัน ทั้งพื้นที่ในเขตชลประทานและนอกเขตชลประทาน (Table 2) โดยเดือนที่มีค่าต่างกันค่อนข้างมาก (มากกว่า 0.5 มิลลิเมตรต่อวัน) เป็นผลลัพธ์ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคม โดยเฉพาะผลของพื้นที่ในเขตชลประทาน ซึ่งมีผลคล้ายคลึงกับผลของค่าสัดส่วนการระเหย

ความแตกต่างของอัตราการระเหยระหว่างพื้นที่ในเขตชลประทานกับนอกเขตชลประทานของทั้งสอง

วิธี มีค่าน้อยในช่วงปลายฤดูฝน/ต้นฤดูแล้ง และเพิ่มมากขึ้นเมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูแล้ง ซึ่งสามารถอธิบายได้คล้ายคลึงกับกรณีผลลัพธ์ของค่าสัดส่วนการระเหย นอกจากนี้ ได้แสดงเส้นที่บัสซึม ซึ่งเป็นค่าของอัตราการระเหยในกรณีที่ค่าสัดส่วนการระเหย เท่ากับ 1 โดยสามารถแปลความหมายได้ว่าเป็นอัตราการระเหยของพืชในกรณีที่ไม่มีน้ำจำกัด หรือเป็นอัตราการระเหยสูงสุดของพืช (crop evapotranspiration, ETc) โดยเส้นนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง เมื่อพิจารณาพื้นที่ในเขตชลประทาน อัตราการระเหยของแนวโน้มเพิ่มขึ้นขนานไปกับแนวโน้มของอัตราการระเหยสูงสุด

ของพืช ส่วนอัตราการระเหยของพื้นที่นอกเขตชลประทานมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ส่วนปริมาณการใช้น้ำที่แท้จริง (ETA) ทั้งที่หาจากวิธี SEBAL และ วิธี S-SEBI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากค่าน้อยในช่วงปลายฤดูฝนจนไปหาค่ามากในฤดูแล้ง ซึ่งเป็นแนวโน้มที่สมเหตุสมผล เนื่องจาก อัตราการระเหยส่วนนี้เป็นผลลัพธ์จากพื้นที่ในเขตชลประทาน ซึ่งในฤดูแล้งยังคงมีการส่งน้ำชลประทานทำให้ยังคงมีน้ำสำหรับการระเหย แต่ให้ค่าต่ำกว่าเนื่องจากยังคงมีปริมาณน้ำที่จำกัดและการกระจายไม่สม่ำเสมอ

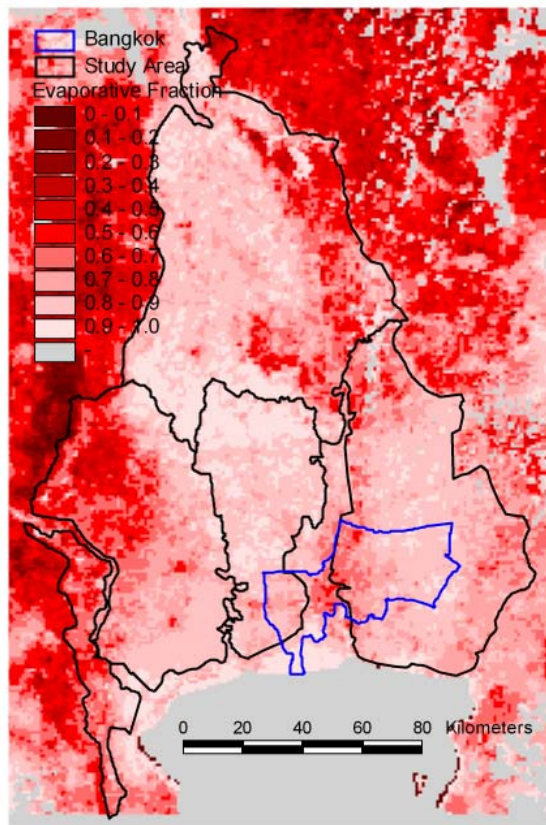


Figure 3 Example of evaporative fraction in February 28, 2002 estimated by SEBAL method

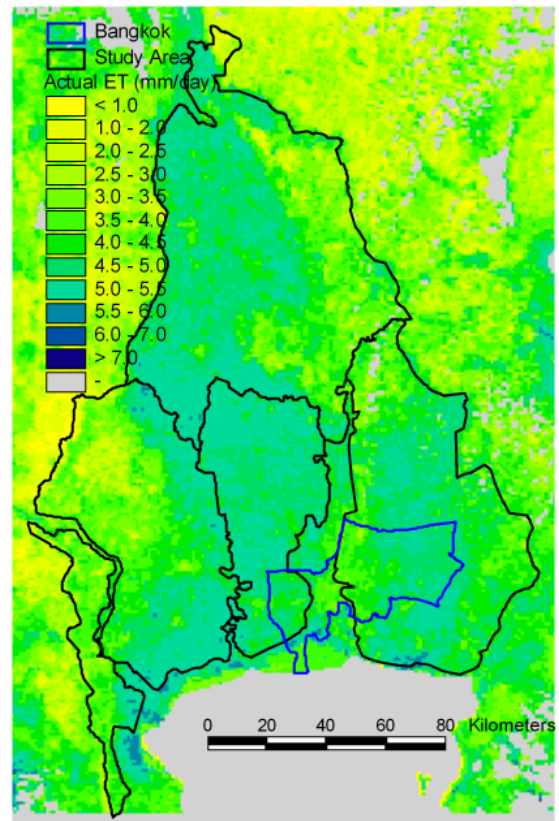


Figure 4 Example of daily evapotranspiration in February 28, 2002 estimated by SEBAL method

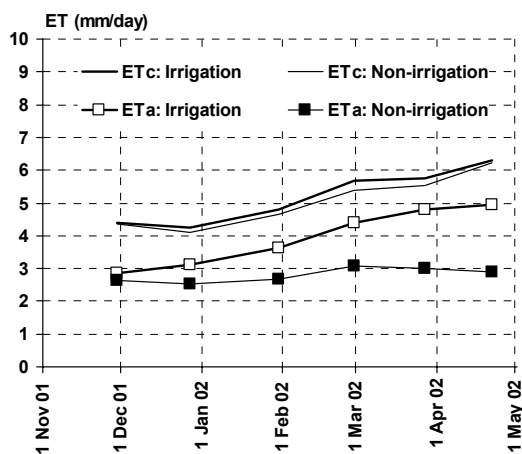


Figure 5 Evapotranspiration estimated by SEBAL method

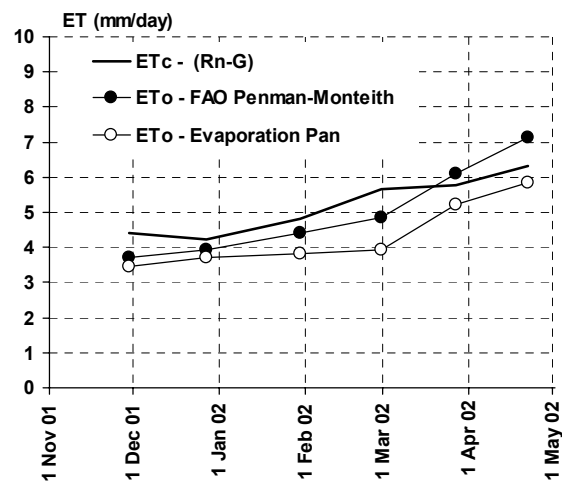


Figure 7 Comparison of maximum evapotranspiration with ETa

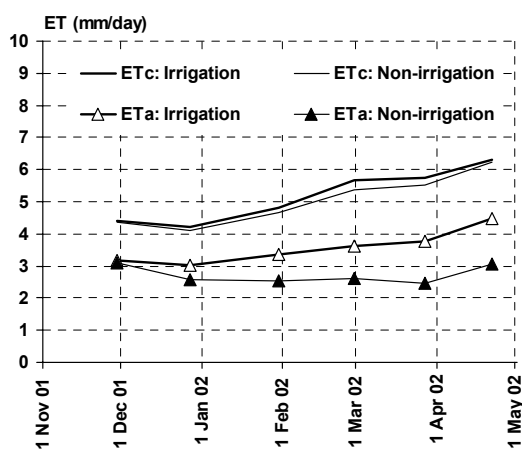


Figure 6 Evapotranspiration estimated by S-SEBI method

Table 1 Evaporative fraction Λ estimated by SEBAL and S-SEBI methods

DATE	Λ : SEBAL		Λ : S-SEBI	
	Irrigation	Non-irrigation	Irrigation	Non-irrigation
29 Nov 01	0.61	0.66	0.71	0.73
27 Dec 01	0.61	0.74	0.63	0.72
30 Jan 02	0.57	0.75	0.54	0.70
28 Feb 02	0.57	0.78	0.49	0.64
27 Mar 02	0.54	0.83	0.44	0.65
22 Apr 02	0.47	0.78	0.50	0.71

Table 2 Evapotranspiration estimated by different methods

DATE	ETa: SEBAL		ETa: S-SEBI		ETc	ETo	ETo
	Irrigation	Non-irrigation	Irrigation	Non-irrigation	EF = 0	Evap. Pan	Penman-Monteith
29 Nov 01	2.87	2.65	3.18	3.09	4.39	3.45	3.71
27 Dec 01	3.12	2.51	3.03	2.59	4.23	3.70	3.94
30 Jan 02	3.62	2.67	3.36	2.54	4.80	3.84	4.42
28 Feb 02	4.39	3.07	3.62	2.61	5.66	3.93	4.87
27 Mar 02	4.78	3.02	3.75	2.45	5.76	5.21	6.12
22 Apr 02	4.94	2.90	4.48	3.07	6.32	5.84	7.14

9. การตรวจสอบผลลัพธ์

การตรวจสอบผลลัพธ์กระทำโดยเปรียบเทียบกับอัตราการระเหยที่คำนวณโดยวิธี FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) และภาวะวัดการระเหย Class A (Doorenbos & Pruitt, 1977) เนื่องจากอัตราการระเหยที่หาจากข้อมูลดาวเทียมเป็นค่าอัตราการระเหยจริง (actual evapotranspiration, ETa) ในขณะที่อัตราการระเหยที่หาจากวิธี FAO Penman-Monteith และภาวะวัดการระเหยนั้น เป็นอัตราการระเหยหรือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (reference crop evapotranspiration, ETo) ซึ่งมีสมมติฐานว่าเป็นอัตราการระเหยจากผิวน้ำที่ปกคลุมดินสม่ำเสมอและมีน้ำไม่จำกัด

ในการเปรียบเทียบจึงเลือกใช้ปริมาณการใช้น้ำสูงสุดของพืช (crop evapotranspiration, ETc) ที่ประเมินจากข้อมูลดาวเทียมซึ่งได้กำหนดให้ค่าสัดส่วนการระเหย เท่ากับ 1 (Figure 7) ซึ่งค่า ETc นี้ได้ลดปัจจัยความแตกต่างเรื่องปริมาณความชื้นในดิน ผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่า ETc ประเมินจากข้อมูลดาวเทียมมีค่าใกล้เคียงกับค่า ETo จากวิธี FAO Penman-Monteith โดยมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยในช่วง 4 เดือนแรก (ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์) และต่ำกว่าในช่วง 2 เดือนหลัง และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

สรุป

งานวิจัยนี้ ได้ใช้เทคนิคสำรวจระยะไกลสำหรับการประเมินปริมาณการใช้น้ำของพืชในพื้นที่ราบภาคกลาง ระหว่างฤดูแล้งปี 2544-45 โดยได้เลือกใช้หลักสมมูลของพลังงานที่พื้นผิวสำหรับการประเมินอัตราการระเหย จาก 2 กระบวนวิธี เปรียบเทียบกัน คือ กระบวนวิธี SEBAL และ กระบวนวิธี S-SEBI พร้อมกันนี้ได้เปรียบเทียบผลลัพธ์กับการใช้น้ำของพืชที่หาจากวิธี FAO Penman-Monteith และภาวะวัดการระเหย Class-A

ผลการประเมิน พบว่า อัตราการใช้น้ำสูงสุดของพืชในเขตชลประทานมีค่าระหว่าง 4.2 ถึง 6.3 มิลลิเมตรต่อวัน โดยมีแนวโน้มเพิ่มจากช่วงต้นฤดูแล้งในเดือนพฤศจิกายน และสูงสุดในเดือนเมษายน ส่วนอัตราการระเหยจริงมีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 5 มิลลิเมตรต่อวัน สำหรับพื้นที่ในเขตชลประทาน โดยมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกับอัตราการใช้น้ำสูงสุด สำหรับพื้นที่นอกเขตชลประทาน อัตราการระเหยจริงมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 3 มิลลิเมตรต่อวัน ความแตกต่างของอัตราการระเหยนี้เป็นผลมาจากความแตกต่างของค่าสัดส่วนการระเหยของพื้นที่ทั้งสอง โดยพื้นที่ในเขตชลประทานมีค่าสัดส่วนการระเหยเฉลี่ยราว 0.7 ถึง 0.75 ในขณะที่พื้นที่นอกเขตมีค่าเฉลี่ยราว 0.55 เท่านั้น ส่วนผลการเปรียบเทียบกับวิธี FAO Penman-Monteith พบว่าอัตราการใช้น้ำสูงสุดของพืชหาจากข้อมูลดาวเทียม ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงและมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน

ผลจากงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการประยุกต์การสำรวจระยะไกลสำหรับหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการบริหารจัดการน้ำชลประทาน ในส่วนกระบวนการวิิหาการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลดาวเทียมโดยวิธี SEBAL ให้ผลที่น่าเชื่อถือ ในขณะที่วิธี S-SEBI มีความเหมาะสมในทางปฏิบัติ เนื่องจาก กระบวนวิธีไม่ซับซ้อนมากนัก

คำขอบคุณ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณ Dr. Frédéric Born นักวิจัยที่ปรึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่สนับสนุนทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ และนายชูพันธุ์ ชมภูจันทร์ นิสิตปริญญาโท ที่มีส่วนช่วยเหลือในการรวบรวมและประมวลข้อมูลดาวเทียม

เอกสารอ้างอิง

- เอกสิทธิ์ โฆสิตสกุลชัย. 2547. การหาค่าการใช้น้ำของพืชในโครงการชลประทานขนาดใหญ่โดยใช้การสำรวจระยะไกล. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สกอ. และ สกว. 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.
- Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R.A. Feddes and A.A.M. Holtslag. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. J. Hydrol. 212-213 (1-4): 198-212.
- Bastiaanssen, W.G.M., D.J. Molden and I.W. Makin. 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. Agric. Water Manage., 46: 137-155.
- Choudhury, B.J. and N.E. DiGirolamo. 1998. A biophysical process-based estimate of global land surface evaporation using satellite and ancillary data I. Model description and comparison with observations. J. Hydrol., 205: 164-185.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1977. Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Rome.
- D'Souza, G., A.S. Belward and J. Malingreau. 1993. Advances in the Use of NOAA-AVHRR Data for Land Application. Institute of Remote Sensing Application. Isapra, Italy. 479 p.
- Diekkruger, B., M.J. Kirkby and U. Schroder (eds.). 1999. Regionalization in Hydrology. IAHS Publ. 254. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford.
- Granger, R.J. 1997. Comparison of surface and satellite-derived estimates of evapotranspiration using a feedback algorithm. In: Applications of Remote Sensing in Hydrology. Proc. Symp. No 17, NHRI, Saskatoon, p. 71-81. National Hydrology Research Institute (NHRI), Canada.
- Kite, G.W. and P. Droogers. 2000a. Comparing Estimates of Actual Evapotranspiration from Satellites, Hydrological Models and Field Data: A Case Study from Western Turkey. Research Report 42. IWMI, Colombo.
- Kite, G.W. and P. Droogers. 2000b. Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data. J. Hydrol. 229: 3-18.
- Menenti, M. and B.J. Choudhury. 1993. Parameterization of land surface evaporation by means of location dependent potential evaporation and surface temperature range, pp. 561-568. In: Exchange Processes at the Land Surface for a Range of Space and Times Scales. IAHS Publ. 212. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford.
- Roerink, G.J., Z. Su and M. Menenti. 2000. S-SEBI : A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. Physics and Chemistry of the Earth. 25(2): 147-157.
- Schultz, G.A. and E.T. Engman (eds.). 2000. Remote Sensing in Hydrology and Water Management. Springer, Berlin. 483 p.
- Schmugge, T.J., W.P. Kustas, J.C. Ritchie, T.J. Jackson and A. Rango. 2002. Remote sensing in hydrology. Adv. in Wat. Resour., 25: 1367-1385.
- Ulivieri, C., M.M. Castronuovo, R. Francioni and A. Cardillo. 1994. A Split Window Algorithm for Estimating Land Surface Temperature from Satellites. Adv. Space Res. 14: 59-65.

Received 12 April 2005

Accepted 8 December 2005