การศึกษาการใช้ดาวเทียมจีพีเอสในการหาความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพื่อประยุกต์ใช้ในการคาดคะเนการทำฝนเทียม

GPS Supplementary Artificial Rainmaking via Precipitable Water Vapor Information from Tropospheric Analysis

อภิรัฐ ฉัตรานุสรณ์* และบุญทรัพย์ วิชญางกูร

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

ปัจจุบันงานสำรวจรังวัดด้วยจีพีเอสได้ถูกนำมาใช้ในงานสำรวจรังวัดอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีการสำรวจรังวัดแบบเดิม ในการวิจัยนี้จะใช้การหาแบบตำแหน่งจุดเดี่ยว โดยการหาตำแหน่งโดยวิธีจุดเดี่ยวใช้เครื่องรับสัญญาณเพียง 1 เครื่อง เพื่อหาค่าพิกัดตำแหน่งที่ต้องการ โดยการใช้เฟสของคลื่นส่ง (L1 และ L2) แต่เนื่องจากการรังวัดด้วยระบบจีพีเอสนั้นต้องมีการรับส่งข้อมูลระหว่างดาวเทียม จีพีเอสจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ และชั้นโทรโปสเฟียร์ โดยความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นเกิดจากการหักเหของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่สามารถกำจัดความคลาดเคลื่อนนี้ได้โดยวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นโทรโปสเฟียร์จะเกิดจากความชื้น ทำให้สามารถประมาณค่าความชื้นในชั้นบรรยากาศที่เกิดจากความผิดพลาดในการหาตำแหน่งของจีพีเอสได้นำมาประยุคต์ใช้ในการช่วยประมาณค่าความชื้นในอากาศเพื่อนำไปช่วยในการตัดสินใจในการทำฝนเทียม ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาการใช้ข้อมูลในการหาพิกัดด้วยระบบจีพีเอสแบบตำแหน่งจุดเดี่ยวเพื่อนำมาประเมินหาค่าความชื้นในบรรยากาศเพื่อใช้ในการทำฝนเทียมโดยมีการใช้สถานีฐานที่มีการรังวัดตำแหน่งของกรมโยธาธิการและผังเมืองเป็นสถานีฐานซึ่งบริการข้อมูล RINEX เพื่อใช้ในการประมวลผล

คำสำคัญ : จีพีเอส โทรโพสเฟียร์ การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ฝนหลวง

Abstract

In recent year, GPS surveying method has become widely integrated in surveying works because of its advantages over traditional surveying method. One of the techniques called single point positioning technique permits one GPS receiver to determine the absolute coordinates of a point with respect to a coordinates system

***ผู้รับผิดชอบบทความ :** Kantrachai@gmail.com

such as WGS84. The objective of this study is to apply GPS precise point positioning (PPP) software, which mainly uses carrier phase measurements from both frequencies (L1 and L2) to compute the error from the troposphere to predict the moisture content. Though troposphere is a source of error on GPS observations, it is possible to estimate the wet or moisture content in the atmosphere in term of precipitable water vapor (PWV) at the observed location. GPS analysis was made from GPS observation data collected from GPS station located in Nakornrachasrima, a northeast province of Thailand. The results were reinvestigated, and it is found that GPS provides useful moisture information that can be used for artificial rainmaker. This is particularly important, especially during the last portion of drought period, where water is mostly all depleted. GPS-based information through PWV for rainmaking is discussed and initial study is presented. This work presents possibility of implementing GPS data to aid rainfall making.

Keywords: GPS, troposphere, precise point positioning, rain marking

1. บทนำ

เนื่องจากท้องถิ่นหลายๆ แห่งในประเทศประสบปัญหาความแห้งแล้งหรือขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค และการทำเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูเพาะปลูก เกษตรกรจะประสบความเดือดร้อนทุกข์ยากมาก เนื่องจากบางครั้งฝนได้ทิ้งช่วงนานหรือภาวะฝนทิ้งช่วงเกิดในระยะวิกฤติของพืชผล คือพืชอยู่ในระยะที่กำลังให้ผลผลิตต่ำ หรืออาจจะไม่มีผลผลิตให้เลย เป็นต้น ดังนั้นภาวะฝนแล้งหรือฝนทิ้งช่วงในแต่ละครั้งแต่ละปีจึงสร้างความเดือดร้อนและความสูญเสียทางเศรษฐกิจแก่เกษตรกรเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ภาวะความต้องการใช้น้ำนับวันจะทวีปริมาณความต้องการเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราการเพิ่มของประชากร การขยายพื้นที่เกษตรกรรมและการเจริญเติบโตของกลุ่มอุตสาหกรรม เป็นต้น

เนื่องจากในปัจจุบันได้มีโครงการฝนหลวงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ทำให้เกิดฝนตกนอกเหนือจากที่จะได้รับ จากธรรมชาติ โดยนำเทคโนโลยีนำสมัยและทรัพยากรที่มีอยู่ประยุกต์กับศักยภาพของการเกิดฝนในเขตร้อน จากกรรมวิธีการทำฝนหลวงที่ใช้เป็นหลักอยู่ในปัจจุบันคือการโปรยสารเคมีฝนหลวงจากเครื่องบิน เพื่อเร่งหรือเสริมการก่อตัวและการเจริญเติบโตของเมฆ และการโจมตีกลุ่ม เป้าหมาย ที่ต้องการที่เคยปฏิบัติกันมาตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบันนี้ ในบางครั้งก็ประสบปัญหาที่ไม่เกิดประสบผลสำเร็จตามที่คาดหวังไว้เนื่องจากปริมาณความชื้นในอากาศไม่เพียงพอต่อการทำฝนเทียมในแต่ละครั้ง ทำให้สูญเสียงบประมาณไปอย่างมาก

แต่ในปัจจุบันงานสำรวจรังวัดด้วยจีพีเอสได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย และได้เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีข้อได้เปรียบในการทำงานที่สะดวกกว่าวิธีเดิม เช่น งานรังวัดระบบดาวเทียมจีพีเอส มีความสะดวกในการเลือกตำแหน่ง สามารถทำงานได้ทุกสภาพอากาศ การใช้ระบบจีพีเอสเพื่อศึกษาในเรื่องนี้มีข้อดีกว่าหลายประการ คือ ครอบคลุมเชิงพื้นที่ศึกษาได้กว้างกว่า ตรวจสอบได้ทุกสภาวะอากาศ ค่าใช้จ่ายได้ประสิทธิภาพกว่า และ

สามารถทำการวัดไอน้ำฝนได้ต่อเนื่องตลอดเวลา โดยปกติจีพีเอสใช้ในการรังวัดสำรวจเพื่อหาค่าพิกัดบนพื้นโลกโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ ที่ส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอส จะเกิดการเลื่อน (delay) ของคลื่นเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ทำให้มีผลความคลาดเคลื่อนของข้อมูล สำหรับชั้นไอโอโนสเฟียร์นั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของช่วงคลื่น ดังนั้นค่าดีเลย์ซึ่งมาจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์จะมีสาเหตุมาจาก 2 กรณี ที่เรียกว่า hydrostatic delayซึ่งส่วนนี้จะเกิดขึ้นจากก๊าซแห้ง (dry term) จึงเรียกว่าส่วนแห้ง และอีกปัจจัยหนึ่งเกิดจากไอน้ำจึงเรียกส่วนนี้ว่าส่วนเปียก (wet term) ซึ่งส่วนเปียกนี้เองที่สามารถคำนวนหาค่าประมาณค่าไอน้ำในบรรยากาศ (precipitable water vapor; PWV) ได้จากส่วนเปียกนี้เอง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อประยุกต์ใช้จีพีเอสในการหาค่าความชื้นสัมพัทธ์เพื่อใช้ในการทำฝนหลวง

2.2 เพื่อประยุกต์ใช้จีพีเอสในการลดระยะเวลาการหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

2.3 เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างการใช้จีพีเอสและบอลลูนตรวจอากาศ

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ในการปฏิบัติงานลงภาคสนามการเก็บข้อมูลในการทำงาน ใช้หลักการวิธีการรังวัดแบบสถิต โดยการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่ระยะและพื้นที่ต่างๆ กัน พร้อมทั้งทำการวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศในขณะทำการรังวัด

3.2 ใช้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้จากการปฏิบัติงานจากการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลผลร่วมกับซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล

3.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากซอฟต์แวร์กับช่วงระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม

3.4 เปรียบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องกับบอลลูนตรวจอากาศ

4. แนวทางและขั้นตอนการศึกษา

โดยการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวจะอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่งซึ่งมีสมการทางคณิตศาสตร์ [1,2,3] ดังนี้

$$\Phi_{i,k}^{p} = \rho_k^p + d - cdt^p + \frac{c}{f_i} N_{i,k}^p + I_{k,i,\Phi}^p + T_k^p + d_{k,i,\Phi} + d_{k,i,\Phi}^p + d_{i,k}^p + \varepsilon_{k,i,\Phi}^p$$

$$P_{i,k}^{p} = \rho_k^p - cdt_k + cdt^p + I_{k,i,p}^p + T_k^p + d_{k,i,p} + d_{k,i,p}^p + d_{i,P}^p + \varepsilon_{k,i,P}^p$$

โดยที่ i = ค่าเฟส L1 หรือ L2

f_i = ความถี่

k = ค่าเครื่องรับ

Φ_k^p, P_k^p = ซูโดเรนจ์จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)

ρ_k^p = ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)

N_k^p = เลขปริศนาของคลื่นส่ง (เมตร)

dt_k = ความคลาดเคลื่นนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

dt^p = ความคลาดเคลื่นนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

$I_{k,i,\Phi}^p$, $I_{k,i,p}^p$ = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)

T_k^p = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)

$d_{k,i,\Phi}, d_{k,i,p}$ = ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์เครื่องรับ (เมตร)

$d^p_{k,i,\Phi}, d^p_{k,i,p}$ = ความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (เมตร)

$d^p_{i,k}, d^p_{i,P}$ = ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ดาวเทียม

$\varepsilon^p_{k,i,\Phi}, \varepsilon^p_{k,i,P}$ = ความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวน

ในงานวิจัยนี้ใช้แนวคิดของ PPP ซึ่งเกี่ยวข้องกับการลดความคลาดเคลื่อนต่างดังปรากฏในสมการ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบ Saastamoinen model รายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก Saastamoinen (1973) [4] ร่วมกับ Niell mapping function (Niell, 1996) [5] การเปรียบเทียบดังกล่าวเป็นการทำขึ้นมาเพื่อให้แน่ใจถึงความถูกต้องของแมปปิ้งฟังก์ชั่น NMF ตลอดการใช้งานความพอดีกำลังน้อยที่สุด (least-square fit) ทาง Niellได้แสดงให้เห็นถึงความแปรผันชั่วคราวของแมปปิ้งฟังก์ชั่น NMF หาได้จากสมการดังนี้

$$m(E) = \frac{1 + \dfrac{a}{1 + \dfrac{b}{1+c}}}{\sin(E) + \dfrac{a}{\sin(E) + C}}$$

โดยที่ m(E) = ค่า Niell mapping function ณ elevation angle ต่างๆ

E = elevation angle

a, b และ c = ค่าสัมประสิทธิ์

สำหรับ hydrostatic NMF function ค่าสัมประสิทธิ์ a ที่ละติจูด ณ ขณะเวลา t

$$a(\varphi_i, t) a_{avg}(\varphi_i) + a_{amp}(\varphi_i) \cos\left(\frac{t - T_o}{365.25} 2\pi\right)$$

โดยที่ (φ_i, t) = ค่าสัมประสิทธิ์ a ที่ละติจูด ณ ขณะเวลา t

a avg (φ_i) = ค่า average ของสัมประสิทธิ์ a ที่ละติจูด

a amp (φ_i) = ค่า amplitude ของสัมประสิทธิ์ a ที่ละติจูด

t = จำนวนวันนับจากต้นปี (day of year)

T_0 = วันที่เกิดการ adopted phase มีค่าเท่ากับ 28

จากการใช้แบบจำลองความคลาดเคลื่อนดังที่กล่าวมาข้างต้น ค่าเลขปริศนาของดาวเทียมแต่ละตัวและความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับรวมทั้งค่าพิกัดเครื่องรับสัญญาณระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับจะเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าในสมการซึ่งจะต้องทำการประมาณค่าต่อไป การแก้สมการเพื่อหาค่าตัวแปรดังกล่าวจะใช้การประมาณค่าด้วยวิธี extended kalman filter (Witchayangkoon, 2000) [3] ในกรณีที่เวกเตอร์ค่าสังเกตและ state vector ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ทำให้เกิดวิธี extended kalman filter (EKF) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพในการจัดการกับระบบสมการที่ไม่ใช่เชิงเส้น โดย State vector (x) มีสมการเกี่ยวเนื่องกับเวลาดังนี้ $x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k$ สอดคล้องกับเวกเตอร์ค่าสังเกต z ดังนี้ $z_k = h(x_k) + v_k$ จากสมการดังกล่าวเปลี่ยนเป็นสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$x_{k+1} = \Phi_k \hat{x}_k + w_k$$
$$z_k = \tilde{z}_k + H(x_k - \tilde{x}_k) + v_k$$

เมื่อ H คืออนุพันธ์ย่อยของเวกเตอร์ค่าสังเกต z เทียบกับเวกเตอร์ x

5. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

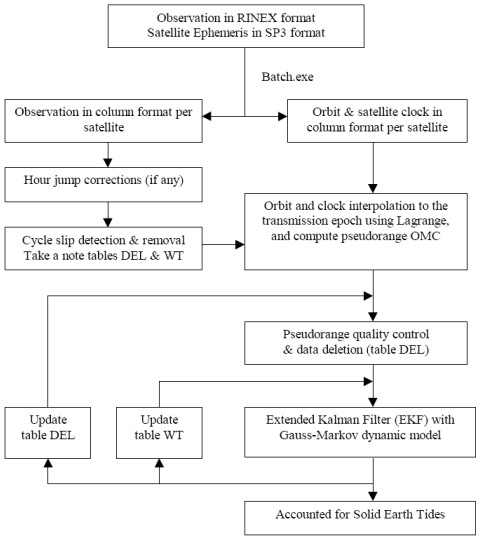
ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมของกรมโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดนครราชสีมา Leica รุ่น GRX1200 Pro เสาอากาศ AT504 รัศมีครอบคลุม 200 กิโลเมตร ระหว่างวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ.2552 ถึง 4 มิถุนายน พ.ศ. 2552ในแต่ละวันจะเป็นข้อมูลในการรับสัญญาณตั้งแต่เวลา 07:00:00 - 08:00:00 ในระบบเวลาท้องถิ่น สามารถข้อใช้บริการและดาวโหลดจากเว็บไซต์ http://202.149.105.234/spiderweb/frmIndex.aspx

ข้อมูลในการเปรียบเทียบการประเมินความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้จากศูนย์วิจัยปฏิบัติการฝนหลวงเฉลิมพระเกียรติ หมู่ที่ 11 ตำบลลังกาใหญ่ อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ระหว่างวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 ถึง 4 มิถุนายน พ.ศ. 2552 ในแต่ละวันจะเป็นข้อมูลในการรับสัญญาณจากบอลลูนตรวจอากาศตั้งแต่เวลา 07:00 - 08:00 ในระบบเวลาท้องถิ่น

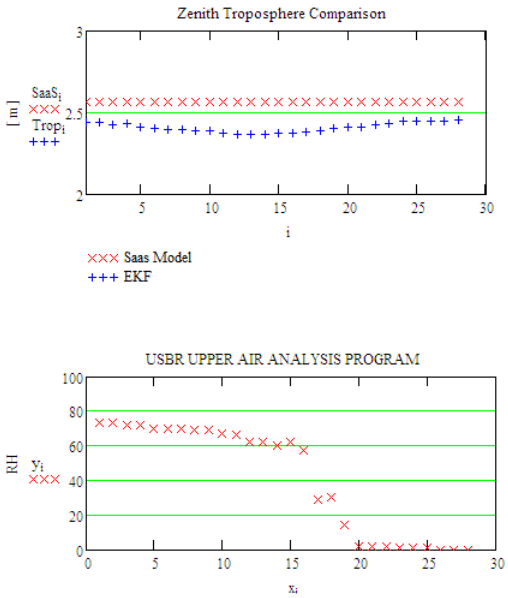
ในส่วนของข้อมูลวงโคจรดาวเทียม คณะผู้วิจัย ทำการดาวโหลดจากเว็บไซต์ http://igscb.jpl.nasa.gov/components/compindex.html

การเปรียบเทียบการประมวลผลข้อมูลจะทำช่วงเวลาใน 1 ชั่วโมง ระหว่าง 07:00 - 8:00 นาฬิกา ข้อมูลรับสัญญาณทุกๆ 10 วินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นจะมีจำนวน 30 ชุดข้อมูล ตารางที่ 1 แสดงจำนวนชุดข้อมูลในแต่ละวัน

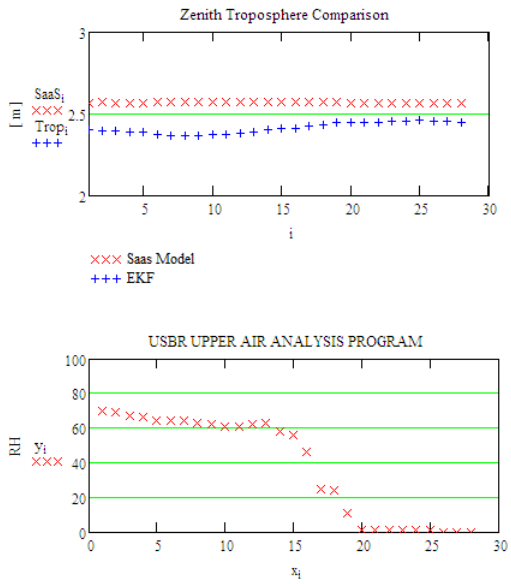
ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลดังแสดงรูปที่ 1 โดยกราฟย่อยรูปบนแสดงค่า delay แสดงค่าปรับแก้ของ Saastomoinen และค่า Troposphere delay กราฟย่อยรูปล่างแสดงค่าบอลลูนตรวจอากาศแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์



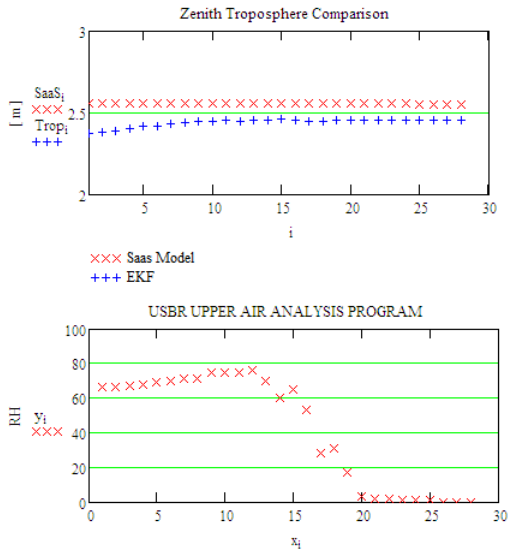
รูปที่ 1 ขั้นตอนการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ [3]



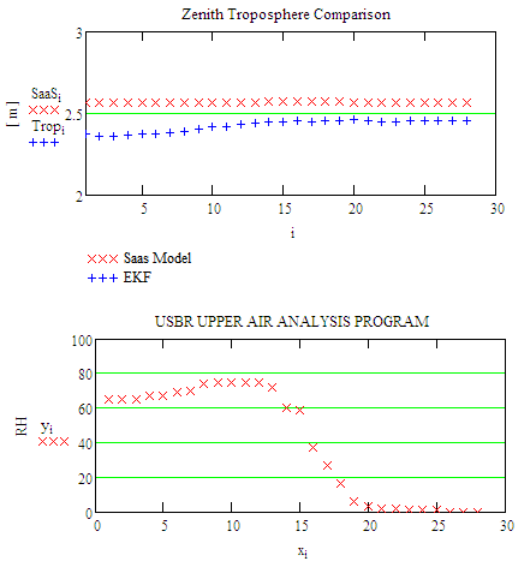
รูปที่ 2 การเปรียบเทียบกราฟโทรโพสเฟียร์กับบอลลูนตรวจอากาศ วันที่ 29 พฤษภาคม 2552



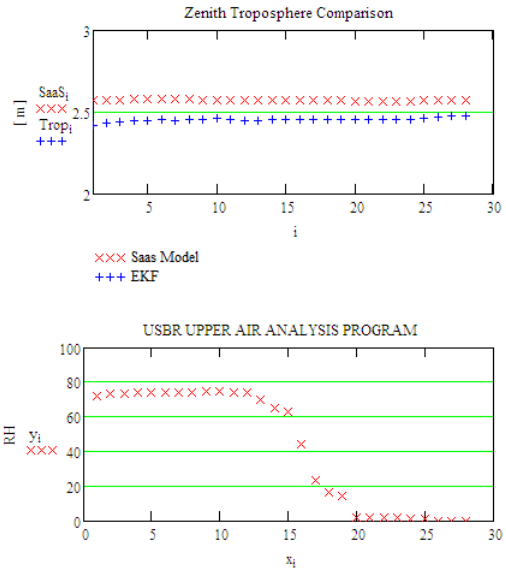
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบกราฟโทรโพสเฟียร์กับบอลลูนตรวจอากาศ วันที่ 30 พฤษภาคม 2552



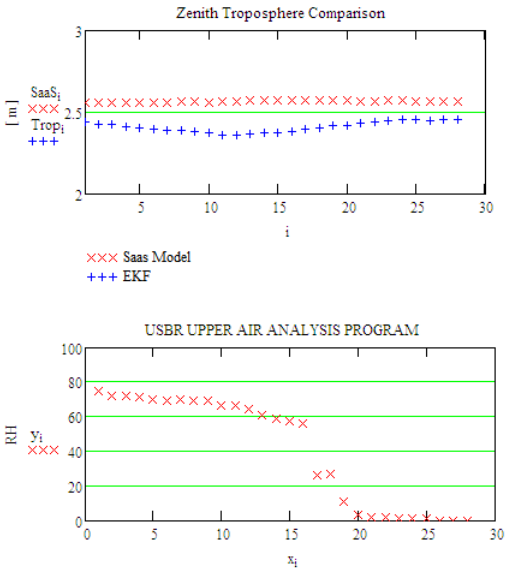
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบกราฟโทรโพสเฟียร์กับบอลลูนตรวจอากาศ วันที่ 1 มิถุนายน 2552



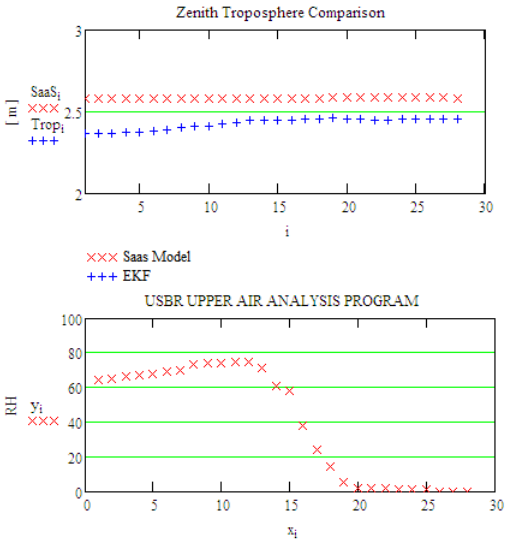
รูปที่ 4 การเปรียบเทียบกราฟโทรโพสเฟียร์กับบอลลูนตรวจอากาศ วันที่ 31 พฤษภาคม 2552



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบกราฟโทรโพสเฟียร์กับบอลลูนตรวจอากาศ วันที่ 2 มิถุนายน 2552



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบกราฟโทรโพสเฟียร์กับบอลลูนตรวจอากาศ วันที่ 3 มิถุนายน 2552



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบกราฟโทรโพสเฟียร์กับบอลลูนตรวจอากาศ วันที่ 4 มิถุนายน 2552

6. ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 2-8) พบว่ากราฟทั้ง 7 เมื่อพิจารณาจากกราฟโทรโพสเฟียร์มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นคล้อยตามกราฟที่ได้จากการตรวจอากาศด้วยบอลลูนตรวจอากาศ ตั้งแต่ 7:00 - 7:30 นาฬิกา แต่หลังจากเวลา 7:30 นาฬิกา กราฟมีทิศทางลดลงตามลำดับจนเป็นศูนย์ในที่สุด เกิดมาจากบอลลูนตรวจความชื้นได้ลอยตัวสูงขึ้นไปถึงชั้นบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งชั้นบรรยากาศในชั้นนี้ไม่มีความชื้นอยู่เลย ดังนั้นหลังจากเวลาประมาณ 7:30 นาฬิกา จึงไม่สามารถนำข้อมูลจากบอลลูนตรวจอากาศมาเปรียบเทียบได้

การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวที่ให้ความละเอียดสูงมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ [3] กราฟนี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้รับจากชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์มีความคล้ายคลึงกับผลตรวจความชื้นสัมพัทธ์จากบอลลูนตรวจอากาศของศูนย์วิจัยปฏิบัติการฝนหลวงเฉลิมพระเกียรติ ตั้งแต่วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 ถึง 4 มิถุนายน พ.ศ. 2552 อย่างมีนัยสำคัญ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Leick, A., 1995, GPS Satellite Surveying, 2nd ed, John Wiley & Sons, Inc., New York.

[2] Rizos, C., 1997, Principles and Practice of GPS Surveying, School of Surveying and

Spatial Information System, University of New South Wales, Sydney.

[3] Witchayangkoon, B., 2000, Elements of GPS Precise Point Positioning, Doctoral Dissertation, Department of Spatial Information Science and Engineering, Graduate School University of Maine, Maine.

[4] Saastamoinen, J., 1973, Contribution to the Theory of Atmospheric Refraction, Bulletin Geodesique 105: 279-298; 106: 383-397; 107: 13-34.

[5] Niell, A.E., 1996, Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelength, J. Geophys. Res. 101 (B2): 3227-3246.