



การกำจัดเมฆออกจากดัชนี NDVI เพื่อเพิ่มความถูกต้อง
ในการตรวจสอบสภาพภัยแล้ง กรณีศึกษา: ลุ่มน้ำปิงตอนบน
Removing Cloud Cover from NDVI to Improve Drought
Monitoring Accuracy Case Study: Upper Ping River Basin

ทงศักดิ์ สุขศิริ¹ และ รศ.ดร.นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (thanongsaks@hotmail.com)

² ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (fengnms@ku.ac.th)

บทคัดย่อ

สภาวะภัยแล้งสามารถประเมินได้โดยใช้ดัชนีความแตกต่างจากค่าปกติกของพืชพรรณ (NDVI) ซึ่งเป็นดัชนีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดดัชนีหนึ่ง ในการตรวจสอบสภาพของพืชพรรณที่เป็นผลจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลราย 8 วัน ที่ตรวจวัดได้จากดาวรับรู้ MODIS ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Terra ที่ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน ในช่วงปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2548 มาใช้เพื่อประเมินค่าดัชนี NDVI โดยในขั้นตอนการประเมินค่าดัชนี NDVI จะต้องกำจัดข้อมูลที่เป็นผลจากการเติมค่าที่ไม่เป็นจริงออกจากทุกจุดภาพ และ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดจุดภาพที่ได้รับผลกระทบจากเมฆออกจากการคำนวณ เพื่อให้ค่าของดัชนี NDVI มีความถูกต้องมากขึ้น จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อตัดจุดภาพที่มีเมฆออกไปเป็นผลให้ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนมีความถูกต้องขึ้นมาก ในขณะที่ในฤดูแล้งได้รับผลกระทบน้อยเนื่องจากมีเมฆปกคลุมในปริมาณน้อย ทั้งนี้ ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนที่ได้รับการประเมินหลังจากที่ทำการตัดจุดภาพที่ได้รับผลกระทบจากเมฆออกไปจะมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 25% และ 32% ในปี พ.ศ. 2547 และปี พ.ศ. 2548 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีก่อนการตัดจุดภาพที่ได้รับผลกระทบจากเมฆ ดังนั้น ดัชนี NDVI จึงสามารถนำมาใช้เพื่อประเมินภัยแล้งได้อย่างถูกต้องมากขึ้นหลังจากที่มีการกำจัดจุดภาพที่ได้รับอิทธิพลของเมฆปกคลุมออกจากกระบวนการประเมินค่า ทั้งนี้ ในการแสดงค่าดัชนี NDVI ที่เป็นผลจากการคำนวณแบบราย 8 วัน นั้น ได้นำมาหาค่าเฉลี่ยแบบรายเดือนและแสดงผลโดยการเฉลี่ยตามพื้นที่ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยทั้ง 14 ลุ่มน้ำ ของลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อสร้างความชัดเจนให้กับผลการศึกษา

คำสำคัญ: การรับรู้ระยะไกล, ดัชนีแตกต่างจากค่าปกติกของพืชพรรณ, ผลกระทบของเมฆ, ลุ่มน้ำปิงตอนบน

Abstract

Droughts can be evaluated by using the Normalized Differences Vegetation Index (NDVI) which is one of the most accepted indices for monitoring the condition of vegetation resulted from a changing environment. Therefore, the 8 day-period satellite data sensed by the Terra's Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) covering the Upper Ping River Basin between 2004 and 2005 were used to evaluate the NDVI in this study. During the processes of NDVI evaluation, the pixels with default data and especially the pixels with cloud effects have to be eliminated from the calculation to improve the accuracy of NDVI. The results showed that an elimination of cloud cover from affected pixels resulted in improving an accuracy of NDVI during the rainy season significantly while there was much effects by cloud pixels according to a few cloud coverage. The values of NDVI during the rainy season evaluated after an elimination affected pixels with cloud covered increase approximately of 25 % and 32 % in years 2004 and 2005, respectively compared to those of before eliminating cloud pixels. Therefore, NDVI can be used to evaluate droughts more accurately after an elimination of the cloud covered pixels from estimating processes. In our presentation, the values of NDVI evaluated using 8 day-period were averaged on monthly basis and presented based on each 14 sub-catchments of the Upper Ping River Basin for clearer understanding

Keywords: Remote Sensing, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Cloud Effects, Upper Ping River Basin

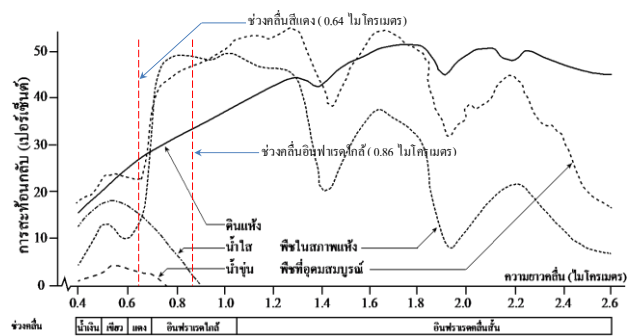
พื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมีปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีประมาณ 1,100 มิลลิเมตร โดยปริมาณฝนส่วนใหญ่ประมาณ 88% เกิดขึ้นในฤดูฝนในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม และมีเพียง 12% เกิดขึ้นในฤดูแล้ง[5] เป็นผลให้เกิดสภาพความแห้งแล้งในบางช่วงเวลาโดยเฉพาะอย่างยิ่งระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ดัชนี NDVI เป็นดัชนีที่ใช้แสดงลักษณะของพืชพรรณ โดยดัชนี NDVI ถูกนำเสนอโดย Rouse *et al.* [12] โดยได้มีการนำดัชนี NDVI มาใช้เป็นครั้งแรกเพื่อตรวจสอบสภาพพืชพรรณในพื้นที่ ดัชนี NDVI นั้น ได้มาจากผลต่างระหว่างค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (0.86 ไมโครเมตร) และช่วงคลื่นสีแดง (0.64 ไมโครเมตร) การด้วยผลรวมของค่าการสะท้อนจากช่วงคลื่นทั้งสอง ซึ่งโดยทางทฤษฎีแล้วค่าของดัชนี NDVI จะมีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 โดยค่าที่มากแสดงให้เห็นถึงสภาพความชุ่มชื้นที่สูงกว่าของพืชพรรณ

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

โดยที่ ρ_{NIR} หมายถึงค่าการสะท้อนจากพื้นผิวในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และ ρ_{RED} หมายถึงค่าการสะท้อนจากพื้นผิวในช่วงคลื่นสีแดง



รูปที่ 2 การสะท้อนกลับเชิงสเปกตรัมสำหรับพืช ดิน และน้ำ
ที่มา: ปรับปรุงจาก [13]

เพื่อให้่ายต่อความเข้าใจในการประเมินค่าดัชนี NDVI จึงแสดงการสะท้อนกลับเชิงสเปกตรัมสำหรับพืช ดิน และน้ำ ดังในรูปที่ 2 จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในกรณีของโค้งการสะท้อนกลับจากพืชที่อุดมสมบูรณ์จะได้ค่าการสะท้อนกลับจากช่วงคลื่นสีแดง มีค่าประมาณ 12.80% และการสะท้อนกลับจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ประมาณ 46.88% ดังนั้นจะได้ค่าดัชนี NDVI ซึ่งคำนวณจากสมการที่ (1) เท่ากับ 0.57 และสำหรับในกรณีของโค้งการสะท้อนกลับจากพืชในสภาพแห้ง จะได้ค่าการสะท้อนกลับจากช่วงคลื่นสีแดงประมาณ 22.69% และจากช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ประมาณ 49.14% ดังนั้น จะได้ค่าดัชนี NDVI เท่ากับ 0.37 จึงแสดงให้เห็นว่า ดัชนี NDVI จะมีค่าสูงในกรณีที่พืชพรรณมีความชุ่มชื้นและจะลดต่ำลงเมื่อพืชพรรณอยู่ในสภาพแห้งแล้ง

เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของพืชคือ พืชสีเขียวที่อุดมสมบูรณ์จะตอบสนองต่อช่วงคลื่นที่สีแดง ได้ต่ำกว่าการตอบสนองต่อช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มาก แต่เมื่อพืชอยู่ในภาวะที่ถูกผลกระทบจากสภาพแวดล้อมจนความอุดมสมบูรณ์ลดลง การตอบสนองต่อช่วงคลื่นที่ตามองเห็นจะมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่การตอบสนองต่อช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ จะมีการตอบสนองลดลง จากคุณสมบัติข้อนี้ เมื่อนำข้อมูลการสะท้อนของช่วงคลื่นที่ตามองเห็น โดยเฉพาะในช่วงคลื่นสีแดง และข้อมูลการสะท้อนของช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ มาสร้างเป็นอัตราส่วนซึ่งกันและกันแล้ว จะช่วยให้ประสิทธิภาพในการจำแนกพืชเพิ่มสูงขึ้น ผลการศึกษาของ Gao and B. [14] ยังพบว่าช่วงคลื่นสีแดงจะเป็นช่วงคลื่นที่คลอโรฟิลล์สามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงคลื่นนี้ได้ดี ในขณะที่ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะเป็นช่วงคลื่นที่มีค่าการสะท้อนที่สูงในบริเวณพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม ทำให้ทั้งสองช่วงคลื่นจะมีการตอบสนองแตกต่างกันอย่างมากเมื่อพิจารณาผ่านชั้นพืชพรรณที่ปกคลุมในระดับความลึกต่าง ๆ

ค่าของดัชนี NDVI สำหรับพืชจะมีค่าสูงกว่าพื้นผิวดินที่ว่างเปล่า เมฆรวมไปถึงแหล่งน้ำ นอกจากนั้นแล้ว ในกลุ่มของพืชพรรณนานาชนิดนั้นพบว่าพืชที่อุดมสมบูรณ์และขึ้นอย่างหนาแน่นจะมีค่า NDVI ที่สูงกว่าพืชที่ไม่อุดมสมบูรณ์และขึ้นอยู่อย่างเบาบาง ดังนั้น ค่าดัชนี NDVI จึงเป็นดัชนีหลักที่ใช้ในการจำแนกลักษณะของพืชพรรณ ลักษณะการปกคลุมของพืชชนิดของพืช การเปลี่ยนแปลง ตลอดจนรูปแบบในการทำเกษตรกรรม

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการ

2.3.1 การรวบรวมข้อมูล

การดาวน์โหลดข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลจากดาวเทียม Terra MODIS จากเว็บไซต์ <ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/> โดยเลือกใช้ข้อมูลผลิตภัณฑ์ MOD09A1-V005 ซึ่งเป็นข้อมูลราย 8 วัน ที่มีความละเอียดจุดภาพ 500 เมตร ที่ผ่านการตรวจพิสูจน์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โดยข้อมูลชุดนี้จัดอยู่ในเวอร์ชันที่ 5 (V005) ซึ่งเป็นเวอร์ชันใหม่ล่าสุดและมีข้อมูลที่ให้บริการตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 จนถึงปัจจุบัน ในการศึกษานี้ได้เลือกศึกษาข้อมูลในปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548 โดยเลือกดาวน์โหลดเพิ่มข้อมูลที่มีชื่อว่า h27v07.500 ประเภท hdf ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนมาใช้ในการศึกษา เพื่อประกอบการศึกษาวิเคราะห์ดัชนี NDVI ทั้งนี้ไฟล์ข้อมูลที่ได้จากการดาวน์โหลดเป็นไฟล์ข้อมูลชนิด HDF-EOS

2.3.2 การแปลงไฟล์ข้อมูล HDF-EOS ให้เป็นไฟล์ข้อมูล Geotiff

การประยุกต์ใช้โปรแกรม MRT (MODIS reprojection tool) เพื่อการแปลงไฟล์ที่ได้จากการดาวน์โหลดซึ่งเป็นไฟล์ชนิด HDF-EOS ไปเป็นไฟล์ข้อมูลชนิด Geotiff พร้อมทั้งแปลงระบบพิกัดข้อมูลให้เป็นระบบ UTM WGS84

2.3.3 การกำจัดข้อมูลที่เป็นผลจากการเดิมค่าที่ไม่เป็นจริงออก

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการดาวน์โหลดบางส่วนนั้นมีการเดิมค่าข้อมูลที่ไม่เป็นจริงในบางจุดภาพ ที่มีสาเหตุจากการเกิดสัญญาณรบกวนหรือการขาดหายของข้อมูล โดยค่าที่เดิมนั้นเป็นค่าที่ไม่จริง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องดำเนินการนำค่าดังกล่าวออกไปเพื่อให้เหลือเฉพาะค่าที่มีความถูกต้อง

เท่านั้น ในการดำเนินการดังกล่าวกระทำได้โดยโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม ArcGIS 9 เพื่อทำการดึงข้อมูลที่ไม่เป็นจริงออกจากไฟล์ข้อมูล Geotiff ก่อนการนำข้อมูลที่ถูกต้องไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป

2.3.4 การสร้างไฟล์ข้อมูล IMG และการคำนวณค่าดัชนี NDVI

การประยุกต์ใช้โปรแกรม ERDAS IMAGINE 9.1 เพื่อการนำเข้าข้อมูล Geotiff และแปลงให้เป็นไฟล์ข้อมูลประเภท IMG จากนั้นจึงทำการสร้าง Model เพื่อการคำนวณค่าดัชนี NDVI โดยใช้ความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) จากนั้นจึงทำการตัดภาพด้วยคัตเตอร์ให้ครอบคลุมเฉพาะลุ่มน้ำปึงตอนบน

2.3.5 การสร้างไฟล์ข้อมูลเมฆ

แนวทางในการสร้างไฟล์ข้อมูลเมฆสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากดาวรับรู้ MODIS สามารถศึกษาได้จากเอกสาร MODIS Surface Reflectance Users Guide [15] โดยในเอกสารดังกล่าวจะมีการแสดงข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของสถานภาพต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ MOD09A1 (State QA Description) ที่ได้จัดทำขึ้น โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ข้อมูลที่ใช้ชื่อว่า Internal Cloud Algorithm Flag ซึ่งแสดงข้อมูลสถานภาพของจุดภาพว่ามีเมฆปกคลุมหรือไม่ โดยจุดภาพที่มีเมฆปกคลุมจะมีค่าของจุดภาพเท่ากับ 1 และในกรณีที่ไม่มีเมฆปกคลุมจะมีค่าเท่ากับ 0 ทั้งนี้ ในการสร้างไฟล์ข้อมูลเมฆดังกล่าวดำเนินการโดยโปรแกรม LDOPE (MODIS Land Data Operational Product Evaluation) ที่มีความสามารถในการดึงข้อมูลที่แสดงสถานภาพเกี่ยวกับเมฆจากไฟล์ HDF-EOS เพื่อนำไปใช้ประกอบการกำจัดจุดภาพที่มีเมฆปกคลุมในขั้นต่อไป

2.3.6 การสร้างดัชนี NDVI ที่ได้จากการนำจุดภาพที่เป็นเมฆออก

การนำไฟล์ข้อมูลจุดภาพที่มีเมฆปกคลุมที่ได้จากขั้นตอนในข้อ (2.3.5) มาใช้ประกอบกับไฟล์ข้อมูลของดัชนี NDVI ที่ได้จากขั้นตอนในข้อ (2.3.4) เพื่อการกำจัดจุดภาพที่มีเมฆปกคลุมออกจากดัชนี NDVI สำหรับแต่ละภาพของเหตุการณ์ที่พิจารณา

2.3.7 การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าดัชนี NDVI ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบนสำหรับกรณีที่มีการนำเมฆออกกับกรณีไม่นำเมฆออก

การใช้โปรแกรม ArcGIS 9 เพื่อการประเมินค่าดัชนี NDVI เฉลี่ยรายเดือนสำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อยทั้ง 14 ลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยการนำค่าดัชนี NDVI ราย 8 วัน มาเฉลี่ยแบบรายเดือน โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าดัชนี NDVI สำหรับกรณีที่ไม่มีและไม่มีการกำจัดเมฆออก เพื่อตรวจสอบผลกระทบของเมฆที่มีต่อผลการประเมินค่าดัชนี NDVI ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบน

3. ผลการศึกษาและอภิปราย

3.1 ผลการกำจัดข้อมูลที่เกิดจากการเติมค่าที่ไม่จริง

จากการพิจารณาค่าที่ไม่เป็นจริงออกเนื่องจากการเติมค่าของผลิตภัณฑ์ในส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบนนั้นพบว่า ปี พ.ศ. 2547 พบข้อมูลภาพที่เติมค่าจำนวน 2 ภาพ จากทั้งหมด 46 ภาพ และในปี พ.ศ. 2548 พบข้อมูลภาพที่เติมค่าจำนวน 3 ภาพ จากทั้งหมด 46 ภาพ โดยภาพที่มีการเติมค่าที่ไม่เป็นจริงสูงสุดอยู่จำนวน 17 จุดภาพ จากจุดภาพของลุ่มน้ำปึงตอนบนทั้งหมด 117,520 จุดภาพ ซึ่งนับว่าไม่มีนัยสำคัญ ในกรณีนี้แต่จำเป็นต้องตรวจสอบเพื่อความถูกต้อง เนื่องจากในบางกรณีอาจมีการเติมค่าในหลาย ๆ จุดภาพ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องโดยรวมของผลการประเมิน

3.2 ผลการกำจัดจุดภาพที่มีเมฆปกคลุม

เพื่อให้เห็นผลกระทบจากการกำจัดจุดภาพที่มีเมฆปกคลุมออกจากผลิตภัณฑ์ จึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ดัชนี NDVI สำหรับในกรณีที่ไม่มีและไม่มีการกำจัดเมฆออก เพื่อให้เห็นผลการเปรียบเทียบที่ชัดเจน จึงได้แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนี NDVI รายลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำปึงตอนบนสำหรับช่วงฤดูแล้งในปี พ.ศ. 2547 และ 2548 ดังในตารางที่ 1 และในช่วงฤดูฝนในปี พ.ศ. 2547 และ 2548 ดังในตารางที่ 2 จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนี NDVI ในช่วงฤดูแล้งสำหรับเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ และ มีนาคม ของทั้งสองปี ในกรณีก่อนและหลังการกำจัดเมฆออกนั้น มีค่าเท่ากัน รวมทั้งในเดือนธันวาคมของปี พ.ศ. 2547 และในเดือนเมษายนของพ.ศ. 2548 ซึ่งมีค่าเท่ากัน แต่สำหรับเดือนอื่น ๆ ในฤดูแล้งของทั้งสองปีมีค่าแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญ

เพื่อให้เห็นผลของการกำจัดเมฆในภาพรวม จึงได้ทำการเปรียบเทียบดัชนี NDVI ของลุ่มน้ำปึงตอนบนของทั้งสองฤดูกาลและทั้งสองปี ในรูปที่ 3 จากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดัชนี NDVI ของลุ่มน้ำปึงตอนบนในกรณีที่ไม่มีและไม่มีการกำจัดเมฆออก สำหรับข้อมูลในปี พ.ศ. 2548 โดยในภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากในกรณีก่อนและหลังการกำจัดเมฆออก เนื่องจากในช่วงดังกล่าวมีเมฆปกคลุมอยู่เพียง 1% และ 2% ในปี พ.ศ. 2547 และ 2548 ตามลำดับ จึงไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของดัชนี NDVI ในขณะที่ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมในช่วงก่อนการกำจัดเมฆมีค่าน้อยกว่าค่าดัชนี NDVI ในกรณีหลังการกำจัดเมฆออกมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม นอกจากนั้นแล้ว ในภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ไม่มีการกำจัดเมฆออกจะเป็นผลให้ค่าดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูแล้งซึ่งแตกต่างจากความเป็นจริง และเมื่อมีการกำจัดเมฆออกไปเป็นผลให้ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูแล้งซึ่งเป็นสิ่งที่ถูกต้องตามทฤษฎี โดยเมื่อพิจารณาจุดภาพที่มีเมฆออกแล้ว พบว่า ในปี พ.ศ. 2547 ค่าดัชนี NDVI เมื่อพิจารณาเฉลี่ยทุกลุ่มน้ำเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่กำจัดเมฆออกประมาณ 25% โดยลุ่มน้ำแม่แจ่มตอนล่างมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดประมาณ 41% และลุ่มน้ำปึงส่วนที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดประมาณ 15% และสำหรับในปี พ.ศ. 2548 พบว่า ค่าดัชนี

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)

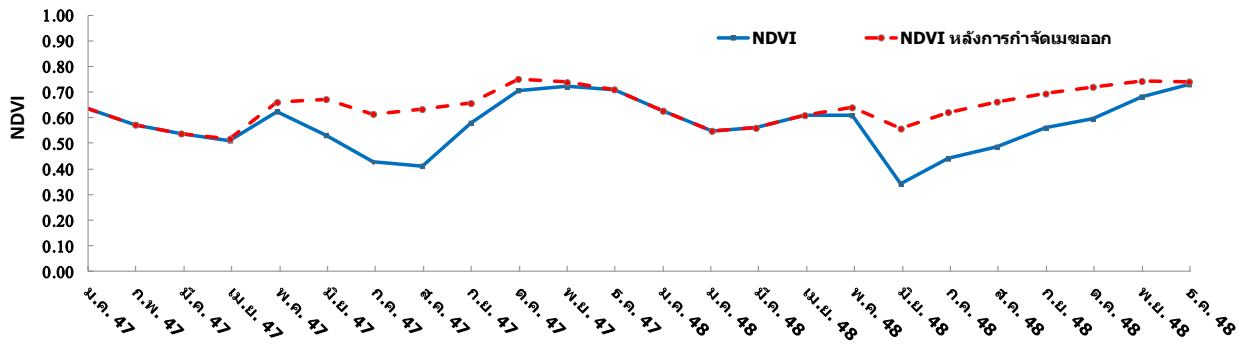
E-mail address: thanongsaks@hotmail.com

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนี NDMI ราชุ่มน้ำย่อย ในช่วงฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548

กลุ่มน้ำย่อย	ดัชนี NDMI สำหรับฤดูแล้งปี พ.ศ. 2547 (2548)																		
	ม.ก.			ภ.พ.			มี.ค.			เม.ย.			พ.ย.			ธ.ค.			เฉลี่ยต่างทั้ง 6 เดือน, %
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	
	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	
1.แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	0.68 (0.69)	0.68 (0.69)	0 (0)	0.60 (0.57)	0.60 (0.57)	0 (0)	0.54 (0.57)	0.54 (0.57)	0 (0)	0.53 (0.63)	0.53 (0.63)	0 (0)	0.73 (0.77)	0.76 (0.79)	3 (3)	0.74 (0.76)	0.74 (0.76)	0 (0)	
2.น้ำแม่จิด	0.71 (0.70)	0.71 (0.70)	0 (0)	0.65 (0.63)	0.65 (0.63)	0 (0)	0.60 (0.62)	0.60 (0.62)	0 (0)	0.57 (0.65)	0.57 (0.65)	0 (0)	0.74 (0.72)	0.76 (0.76)	2 (6)	0.75 (0.76)	0.75 (0.76)	0 (0)	
3.แม่น้ำแม่เตง	0.74 (0.74)	0.74 (0.75)	0 (0)	0.69 (0.68)	0.69 (0.68)	0 (0)	0.65 (0.67)	0.65 (0.67)	0 (0)	0.60 (0.69)	0.61 (0.69)	1 (0)	0.76 (0.76)	0.78 (0.80)	4 (5)	0.79 (0.79)	0.79 (0.79)	0 (1)	
4.แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	0.56 (0.57)	0.56 (0.57)	0 (0)	0.51 (0.50)	0.51 (0.50)	0 (0)	0.50 (0.52)	0.50 (0.52)	0 (0)	0.47 (0.55)	0.47 (0.55)	0 (0)	0.66 (0.66)	0.67 (0.68)	1 (3)	0.64 (0.66)	0.64 (0.66)	0 (1)	
5.น้ำแบริม	0.69 (0.70)	0.69 (0.70)	0 (0)	0.65 (0.65)	0.65 (0.65)	0 (0)	0.61 (0.64)	0.61 (0.64)	0 (0)	0.59 (0.66)	0.59 (0.66)	0 (0)	0.73 (0.74)	0.76 (0.77)	3 (4)	0.75 (0.76)	0.75 (0.76)	0 (1)	
6.น้ำแม่กวัง	0.59 (0.60)	0.59 (0.60)	0 (0)	0.52 (0.51)	0.52 (0.51)	0 (0)	0.50 (0.53)	0.50 (0.53)	0 (0)	0.48 (0.59)	0.49 (0.59)	0 (0)	0.71 (0.66)	0.71 (0.71)	1 (7)	0.68 (0.69)	0.68 (0.70)	0 (1)	
7.น้ำแม่จ่าน	0.71 (0.72)	0.71 (0.72)	0 (0)	0.64 (0.64)	0.64 (0.64)	0 (0)	0.61 (0.64)	0.61 (0.64)	0 (0)	0.56 (0.66)	0.57 (0.66)	2 (0)	0.72 (0.71)	0.75 (0.77)	5 (8)	0.77 (0.76)	0.77 (0.77)	0 (2)	
8.น้ำแม่ลี	0.53 (0.54)	0.53 (0.54)	0 (0)	0.45 (0.43)	0.45 (0.43)	0 (0)	0.41 (0.45)	0.41 (0.45)	0 (0)	0.43 (0.55)	0.44 (0.55)	0 (0)	0.70 (0.59)	0.71 (0.70)	1 (17)	0.66 (0.69)	0.66 (0.71)	0 (2)	
9.น้ำแม่กลาง	0.68 (0.67)	0.68 (0.67)	0 (1)	0.62 (0.61)	0.62 (0.61)	0 (0)	0.61 (0.62)	0.61 (0.62)	0 (0)	0.55 (0.67)	0.57 (0.67)	3 (0)	0.70 (0.65)	0.75 (0.75)	7 (15)	0.77 (0.71)	0.77 (0.74)	0 (4)	
10.แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	0.53 (0.49)	0.53 (0.49)	0 (0)	0.45 (0.41)	0.45 (0.41)	0 (0)	0.42 (0.44)	0.42 (0.44)	0 (0)	0.42 (0.52)	0.42 (0.52)	0 (0)	0.71 (0.61)	0.72 (0.69)	1 (14)	0.64 (0.68)	0.64 (0.71)	0 (3)	
11.แม่แจ่มตอนบน	0.73 (0.72)	0.73 (0.72)	0 (0)	0.68 (0.65)	0.68 (0.65)	0 (0)	0.65 (0.65)	0.65 (0.65)	0 (0)	0.57 (0.65)	0.59 (0.65)	4 (0)	0.77 (0.76)	0.79 (0.80)	3 (4)	0.78 (0.78)	0.78 (0.79)	0 (1)	
12.แม่แจ่มตอนล่าง	0.58 (0.54)	0.58 (0.54)	0 (1)	0.51 (0.48)	0.51 (0.48)	0 (0)	0.49 (0.50)	0.49 (0.50)	0 (0)	0.45 (0.55)	0.46 (0.55)	2 (0)	0.69 (0.70)	0.70 (0.76)	1 (9)	0.64 (0.74)	0.64 (0.75)	0 (1)	
13.น้ำแม่หาด	0.53 (0.46)	0.53 (0.46)	0 (0)	0.44 (0.38)	0.44 (0.38)	0 (0)	0.41 (0.44)	0.41 (0.44)	0 (0)	0.43 (0.54)	0.43 (0.54)	0 (0)	0.70 (0.59)	0.71 (0.70)	1 (18)	0.63 (0.70)	0.63 (0.71)	0 (2)	
14.น้ำแม่ตื่น	0.65 (0.62)	0.65 (0.62)	0 (1)	0.58 (0.54)	0.58 (0.54)	0 (0)	0.54 (0.55)	0.54 (0.55)	0 (0)	0.50 (0.63)	0.51 (0.63)	3 (0)	0.78 (0.63)	0.78 (0.73)	0 (16)	0.72 (0.75)	0.72 (0.76)	0 (2)	
เฉลี่ย 14 กลุ่มน้ำย่อย	0.64 (0.63)	0.64 (0.63)	0 (0)	0.57 (0.55)	0.57 (0.55)	0 (0)	0.54 (0.56)	0.54 (0.56)	0 (0)	0.51 (0.61)	0.52 (0.61)	1 (0)	0.72 (0.68)	0.74 (0.74)	2 (9)	0.71 (0.73)	0.71 (0.74)	0 (1)	

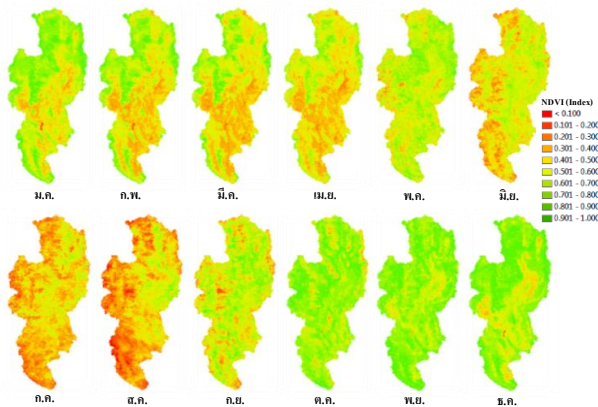
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยดัชนี NDMI ราชุ่มน้ำย่อย ในช่วงฤดูฝน ปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548

กลุ่มน้ำย่อย	ดัชนี NDMI สำหรับฤดูฝนปี พ.ศ. 2547 (2548)																		
	พ.ค.			มิ.ย.			ก.ค.			ส.ค.			ก.ย.			ต.ค.			เฉลี่ยต่างทั้ง 6 เดือน, %
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	
	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	ค่าดัชนี NDMI	NDVI - Cloud	(3)=(2×0)/(1), %	
1.แม่น้ำปิงส่วนที่ 1	0.64 (0.65)	0.68 (0.68)	6 (4)	0.55 (0.36)	0.69 (0.59)	25 (65)	0.47 (0.45)	0.63 (0.66)	34 (47)	0.45 (0.56)	0.67 (0.73)	50 (29)	0.59 (0.61)	0.67 (0.73)	14 (18)	0.72 (0.68)	0.76 (0.77)	6 (12)	
2.น้ำแม่จิด	0.68 (0.66)	0.69 (0.68)	2 (4)	0.56 (0.35)	0.68 (0.58)	22 (66)	0.47 (0.44)	0.62 (0.61)	33 (38)	0.41 (0.51)	0.63 (0.65)	54 (29)	0.57 (0.54)	0.61 (0.67)	7 (24)	0.67 (0.69)	0.75 (0.75)	11 (10)	
3.แม่น้ำแม่เตง	0.60 (0.64)	0.66 (0.68)	11 (6)	0.57 (0.30)	0.69 (0.53)	22 (75)	0.38 (0.37)	0.56 (0.60)	49 (60)	0.34 (0.35)	0.62 (0.59)	81 (71)	0.57 (0.56)	0.67 (0.70)	18 (26)	0.68 (0.59)	0.75 (0.74)	10 (25)	
4.แม่น้ำปิงส่วนที่ 2	0.61 (0.57)	0.62 (0.59)	1 (4)	0.57 (0.41)	0.66 (0.56)	17 (35)	0.46 (0.49)	0.62 (0.62)	36 (28)	0.50 (0.54)	0.63 (0.65)	25 (20)	0.64 (0.61)	0.68 (0.69)	7 (13)	0.71 (0.66)	0.72 (0.70)	2 (6)	
5.น้ำแบริม	0.72 (0.69)	0.72 (0.71)	0 (3)	0.62 (0.37)	0.71 (0.54)	14 (47)	0.40 (0.41)	0.59 (0.58)	47 (41)	0.46 (0.55)	0.64 (0.68)	40 (24)	0.69 (0.65)	0.75 (0.77)	9 (17)	0.73 (0.70)	0.78 (0.78)	7 (12)	
6.น้ำแม่กวัง	0.63 (0.60)	0.64 (0.62)	2 (2)	0.57 (0.42)	0.67 (0.58)	17 (38)	0.46 (0.49)	0.63 (0.63)	38 (28)	0.55 (0.51)	0.68 (0.62)	24 (22)	0.60 (0.53)	0.65 (0.67)	7 (7)	0.70 (0.65)	0.74 (0.73)	6 (11)	
7.น้ำแม่จ่าน	0.67 (0.61)	0.69 (0.65)	4 (8)	0.52 (0.36)	0.65 (0.55)	26 (52)	0.45 (0.43)	0.64 (0.64)	43 (50)	0.44 (0.46)	0.65 (0.68)	49 (48)	0.59 (0.55)	0.65 (0.70)	11 (26)	0.73 (0.55)	0.77 (0.71)	6 (29)	
8.น้ำแม่ลี	0.60 (0.59)	0.64 (0.61)	6 (3)	0.52 (0.38)	0.65 (0.54)	26 (44)	0.46 (0.51)	0.65 (0.62)	42 (22)	0.44 (0.35)	0.65 (0.60)	46 (71)	0.55 (0.53)	0.62 (0.66)	14 (26)	0.68 (0.54)	0.72 (0.68)	6 (25)	
9.น้ำแม่กลาง	0.64 (0.62)	0.69 (0.66)	7 (6)	0.48 (0.30)	0.64 (0.53)	33 (76)	0.48 (0.41)	0.63 (0.65)	31 (60)	0.36 (0.56)	0.62 (0.68)	70 (21)	0.53 (0.50)	0.62 (0.68)	17 (36)	0.73 (0.47)	0.77 (0.69)	5 (48)	
10.แม่น้ำปิงส่วนที่ 3	0.59 (0.58)	0.62 (0.62)	5 (6)	0.50 (0.37)	0.66 (0.60)	32 (60)	0.41 (0.49)	0.63 (0.65)	52 (34)	0.40 (0.51)	0.63 (0.68)	59 (33)	0.58 (0.55)	0.66 (0.67)	14 (22)	0.69 (0.53)	0.74 (0.66)	7 (23)	
11.แม่แจ่มตอนบน	0.58 (0.57)	0.65 (0.63)	12 (9)	0.46 (0.21)	0.62 (0.47)	37 (122)	0.34 (0.31)	0.56 (0.52)	63 (65)	0.32 (0.49)	0.57 (0.67)	80 (38)	0.52 (0.54)	0.61 (0.69)	18 (27)	0.73 (0.52)	0.77 (0.71)	6 (37)	
12.แม่แจ่มตอนล่าง	0.54 (0.56)	0.62 (0.60)	14 (6)	0.45 (0.26)	0.65 (0.55)	43 (114)	0.37 (0.43)	0.62 (0.64)	67 (51)	0.30 (0.52)	0.60 (0.70)	102 (36)	0.58 (0.56)	0.68 (0.70)	18 (25)	0.74 (0.61)	0.77 (0.74)	3 (22)	
13.น้ำแม่หาด	0.64 (0.60)	0.66 (0.61)	3 (2)	0.58 (0.46)	0.74 (0.62)	28 (35)	0.52 (0.56)	0.69 (0.67)	34 (28)	0.46 (0.42)	0.65 (0.64)	41 (53)	0.60 (0.64)	0.69 (0.75)	16 (18)	0.70 (0.59)	0.74 (0.73)	7 (23)	
14.น้ำแม่ตื่น	0.60 (0.59)	0.67 (0.65)	11 (9)	0.51 (0.24)	0.69 (0.56)	37 (131)	0.32 (0.39)	0.54 (0.60)	68 (56)	0.33 (0.48)	0.61 (0.70)	86 (45)	0.53 (0.47)	0.64 (0.63)	20 (36)	0.70 (0.55)	0.75 (0.70)	7 (29)	
เฉลี่ย 14 กลุ่มน้ำย่อย	0.62 (0.61)	0.66 (0.64)	6 (5)	0.53 (0.34)	0.67 (0.56)	26 (63)	0.43 (0.44)	0.61 (0.62)	44 (41)	0.41 (0.49)	0.63 (0.66)	54 (36)	0.58 (0.56)	0.66 (0.69)	13 (24)	0.71 (0.60)	0.75 (0.72)	6 (21)	

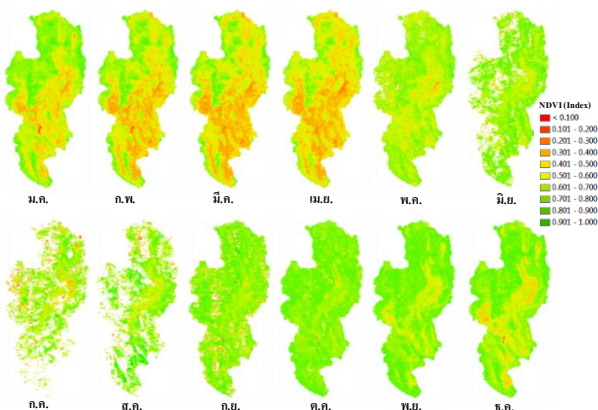


รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของดัชนี NDVI สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน ในกรณีก่อนและหลังการกำจัดเมฆออก ในปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548

NDVI เพิ่มขึ้นจากกรณีไม่กำจัดเมฆออกประมาณ 32% โดยลุ่มน้ำแม่ต้นมีค่าเพิ่มขึ้นมากที่สุดประมาณ 51% และลุ่มน้ำปึงส่วนที่ 2 มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดประมาณ 18%



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI ก่อนการกำจัดเมฆออก สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน ปี พ.ศ. 2547



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยดัชนี NDVI หลังการกำจัดเมฆออก สำหรับลุ่มน้ำปึงตอนบน ปี พ.ศ. 2547

เพื่อให้เห็นภาพการเปลี่ยนแปลงของดัชนี NDVI ในแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2547 ในกรณีก่อนและหลังการกำจัดเมฆออกดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ โดยการเฉลี่ยค่าดัชนี NDVI นั้น เป็นการเฉลี่ยเพื่อหาค่ารายเดือนจากภาพราย 8 วัน ในเดือนนั้น ๆ ซึ่งมีประมาณ 4 ภาพ แต่สำหรับใน

กรณีที่ภาพใดได้รับผลกระทบจากเมฆจะไม่นำภาพนั้นมาพิจารณา จากผลการเฉลี่ยค่าดัชนี NDVI ซึ่งแสดงในรูปที่ 4 พบว่า ในกรณีที่ไม่มีเมฆออกเป็นผลให้ค่าดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูแล้ง ในหลายลุ่มน้ำย่อยอย่างชัดเจน และเมื่อมีการกำจัดเมฆออกไปดังในรูปที่ 5 เป็นผลให้ค่าดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน ทำให้การแสดงผลภาพความแห้งแล้งโดยใช้ดัชนี NDVI มีความสมเหตุสมผลมากขึ้น และสามารถนำมาใช้ประกอบการแสดงผลภาพความแห้งแล้งของพื้นที่ลุ่มน้ำได้อย่างน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถนำมาใช้ประกอบการแสดงผลภาพความแห้งแล้งของพื้นที่ลุ่มน้ำได้อย่างน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

4. สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการประเมินค่า NDVI ซึ่งเป็นดัชนีภัยแล้งที่คำนวณจากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลราย 8 วัน โดยใช้ลุ่มน้ำปึงตอนบนเป็นพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้ ดัชนี NDVI คำนวณได้จากผลต่างระหว่างค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงคลื่นสีแดง และหารด้วยผลรวมของการสะท้อนจากช่วงคลื่นทั้งสอง จากผลการศึกษาพบว่า NDVI สามารถประเมินสภาพภัยแล้งได้อย่างสมเหตุสมผลในช่วงฤดูแล้ง แต่มีความผิดปกติในช่วงฤดูฝนซึ่งมีสาเหตุจากคุณภาพที่ได้รับผลกระทบจากเมฆที่ปกคลุมในปริมาณมาก ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้กำจัดเมฆออกจากคุณภาพที่ได้รับผลกระทบดังกล่าวทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง หลังจากการกำจัดเมฆออกแล้วพบว่า ดัชนี NDVI สามารถประเมินสภาพภัยแล้งได้ถูกต้องมากขึ้น กล่าวคือ เมื่อไม่มีการกำจัดเมฆออก ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าในช่วงฤดูแล้ง และเมื่อกำจัดเมฆออก พบว่า ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูแล้งซึ่งนับว่ามีความถูกต้องตามหลักทฤษฎี ทั้งนี้ ดัชนี NDVI ในช่วงฤดูฝนหลังการกำจัดเมฆออกมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 25% และ 32% ในปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีเมฆออก แต่สำหรับในช่วงฤดูแล้งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากได้รับผลกระทบจากเมฆที่ปกคลุมน้อยมาก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า ดัชนี NDVI มีความเหมาะสมที่จะใช้เพื่อการประเมินสภาพภัยแล้งหรือสภาพความชุ่มชื้นของพืชพรรณได้อย่าง

สมเหตุสมผล ทั้งนี้จะต้องดำเนินการกำจัดคุณภาพที่ได้รับผลกระทบจาก
เมฆที่ปกคลุมออกก่อนการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องสมบูรณ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่
ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงการตรวจสอบภัย
แล้งและการเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับประเทศไทย และขอขอบคุณ คุณ
สรรเสริญ ธีรโพธิ์ภักดิ์ นิสิตปริญญาเอกของภาควิชาวิศวกรรม
ทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ช่วยให้
คำแนะนำการใช้โปรแกรมประกอบการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณเว็บไซต์
<http://modis.gsfc.nasa.gov/> ขององค์การบริหารการบินและอวกาศ
แห่งชาติ หรือ นาซา ซึ่งเป็นแหล่งสนับสนุนข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลที่
ใช้ประกอบการศึกษาวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mishra, A.K., Singh, V.P., “A review of drought concepts”.
Journal of Hydrology, 391, pp. 202-216, 2010.
- [2] Palmer, W.C.. “Meteorological drought”. U.S. Weather Bureau
Research Paper 45. Office of Climatology, U. S. Department of
Commerce, Washington D.C., pp. 58, 1965.
- [3] McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., “The relationship of
drought frequency and duration to time scales”, *Proceedings of the
8th conference of applied climatology. Anaheim, CA: American
Meteorological Society*, 1993, pp. 179-184.
- [4] McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., “Drought monitoring with
multiple time scales”, *Proceedings of the 9th conference of applied
climatology*, 1995, pp. 233-236.
- [5] นุชนารถ และคณะ, “โครงการตรวจสอบภัยแล้งและการเตือน
ภัยล่วงหน้าสำหรับประเทศไทย”, *รายงานฉบับที่ 1*, สถาบันวิจัย
และพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กทม., พ.ศ.
2555, 191 หน้า
- [6] Gao, B.-C., “A normalized difference water index for remote
sensing of vegetation liquid water from space”, in *SPIE's 1995
Symposium on OE / Aerospace Sensing and Dual Use Photonics*,
Vol. 2480, Orlando, FL., 1995.
- [7] Kogan, F.N., “Application of vegetation index and brightness
temperature for drought detection”. *Advanced Space Research*, 15,
pp. 91-100, 1995.
- [8] Yang, L., B. K. Wylie, L. L. Tieszen, and B. C. Reed, “An
analysis of relationships among climate forcing and time-
integrated NDVI of grasslands over the U. S. northern and central
Great Plains”. *Remote Sens. Environ.*, 65, pp. 25–37, 1998.
- [9] McVicar, T. R., and P. N. Bierwirth, “Rapidly assessing the 1997
drought in Papua New Guinea using composite AVHRR imagery”.
Int. J. Remote Sens., 22, pp. 2109– 2128, 2001.
- [10] Ji, L., and A. Peters, “Assessing vegetation response to drought in
the northern Great Plains using vegetation and drought indices”.
Remote Sens. Environ., 87, pp. 85– 98, 2003.
- [11] Wan, Z., P. Wang, and X. Li, “Using MODIS land surface
temperature and normalized difference vegetation index for
monitoring drought in the southern Great Plains, USA”. *Int. J.
Remote Sens.*, 25, pp. 61–72, 2004.
- [12] Rouse, J.W., Hass, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., “Monitoring
vegetation systems in the Great Plains with ERTS”, *Proceedings
of the 3rd Earth Resources Technology Satellite-1 symposium.
Greenbelt, MD: NASA SP-351*, 1974, pp. 309-317.
- [13] นุชนารถ ศรีวงศิดานนท์, *อุทกวิทยาขั้นสูง*, วีรวรรณ พรินต์ติ้ง
แอนด์ แพ็คเก็จจิ้ง ; พ.ศ.2555, หน้า 292-297.
- [14] Gao, B., “NDWI - A normalized difference water index for remote
sensing of vegetation liquid water from space”. *Remote Sensing of
Environment*, 58, pp. 257-266, 1996.
- [15] E. F. Vermote, S. Y. Kotchenova and J. P. Ray. *MODIS Surface
Reflectance User's Guide*. Available Source: [http://modis-
sr.ltdri.org/products/MOD09_UserGuide_v1_3.pdf](http://modis-
sr.ltdri.org/products/MOD09_UserGuide_v1_3.pdf), December 10,
2013.