

การคาดการณ์อุณหภูมิและปริมาณฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลง ภูมิอากาศโลก

PREDICTION OF TEMPERATURE AND RAINFALL AMOUNT IN THE UPPER PING RIVER BASIN UNDER GLOBAL CLIMATE CHANGE SCENARIOS

เทวิน พริกมาก (Tawin Prikmak)¹ นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ (Nuchanart Sriwongsitanon)²

¹ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (p.tawin@gmail.com)

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

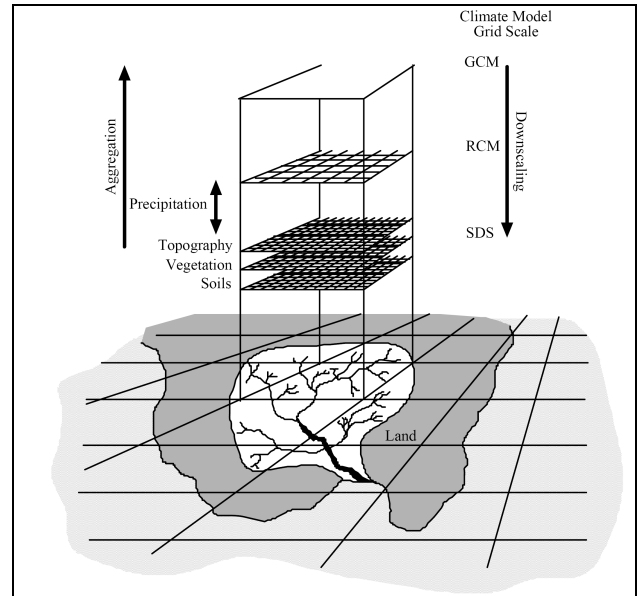
บทคัดย่อ : การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกในอนาคตภายใต้สมมติฐานต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นโดยหน่วยงาน Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับแบบจำลองภูมิอากาศโลก (Global Climate Models or General Circulation Models, GCMs) กำลังได้รับความสนใจจากนักวิจัย อย่างไรก็ตาม ขนาดกริดของตัวแปรด้านภูมิอากาศที่ได้จากแบบจำลองมีขนาดใหญ่เกินไปในการประเมินการเปลี่ยนแปลงในระดับภูมิภาคหรือระดับท้องถิ่น จึงต้องมีการนำเทคนิคการลดส่วน (Downscaling) เพื่อเพิ่มความละเอียดของข้อมูลภูมิอากาศให้สามารถนำมาใช้งานกับสเกลที่เล็กลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนในอดีต รวมทั้งคาดการณ์อุณหภูมิและปริมาณฝนในอนาคตภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก โดยใช้ข้อมูลผลลัพธ์ของตัวแปรภูมิอากาศภายใต้สมมติฐาน A2 และ B2 ที่ได้จากแบบจำลอง Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3) และนำมาใช้ร่วมกับแบบจำลอง Statistical Downscaling Model (SDSM) เพื่อการลดส่วนของตัวแปรด้านภูมิอากาศให้สามารถนำมาใช้กับลุ่มน้ำปิงตอนบนได้ ผลการศึกษาพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุด ในลุ่มน้ำปิงตอนบนระหว่างปี พ.ศ. 2504-2550 มีแนวโน้มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยตามเวลา ในขณะที่ปริมาณฝนรายปีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย สำหรับผลการคาดการณ์ในอนาคต (พ.ศ.2553-2642) ภายใต้สมมติฐาน A2 และ B2 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยอุณหภูมิจะสูงขึ้นกว่าปัจจุบันในช่วงฤดูฝนและจะต่ำกว่าในช่วงฤดูแล้ง สำหรับปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นพอสมควร โดยมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นมากในฤดูฝน โดยเฉพาะช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคมส่วนฤดูแล้งจะมีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้เดือนที่มีปริมาณฝนตกสูงสุดจะเปลี่ยนไปจากที่เคยเกิดขึ้นในอดีต

ABSTRACT : The studies on global climate change in the future under different scenarios defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to be applied on Global Climate Models or in other word is General Circulation Models (GCMs) have been of interest to researchers. However, grid sizes of climate variables provided by GCMs are generally too large to be effectively used to assess any changes on the regional or local scales. Downscaling technique is therefore necessary to increase the resolution of climate variables to be effectively applied on the smaller scales. This research aims to investigate the variations of historical temperature and rainfall amount in the Upper Ping River Basin as well as their changes in the future under the global climate change scenarios. The outputs of climate variables under the scenarios A2 and B2 from Hadley Centre Coupled Model, version 3 (HadCM3) were applied together with the Statistical Downscaling Model (SDSM), which was used for downscaling the GCM output into a finer scale to be more useful for the Upper Ping River Basin. The results showed that the historical average, maximum, and minimum temperature between 1961 and 2007 slightly increased with time while the annual rainfall amount slightly decreased. The predicted average, maximum and minimum temperature between 2010 and 2099 slightly increase in the rainy season but lower than in the dry season. The annual rainfall also tends to increase in the rainy season especially between June to August and increase slightly also in dry season, and the maximum rainfall months differ from the past.

KEYWORDS: Climate Change, Temperature, Rainfall Amount, Downscaling, SDSM, Upper Ping River Basin

1. บทนำ

ในปัจจุบันการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก สามารถวิเคราะห์ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศ Global Climate Models หรือ General Circulation Models (GCMs) ซึ่งมีการพัฒนาแบบจำลองประเภทนี้ขึ้นมามากมายโดยหน่วยงานแนวหน้าทั่วโลก อาทิเช่น แบบจำลอง ECHAM5-OM ของประเทศเยอรมัน แบบจำลอง HadCM3 ของประเทศอังกฤษ แบบจำลอง CGCM3 ของประเทศแคนาดา และแบบจำลอง CSIRO-Mk3 ของประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น [1] โดยหน่วยงานเหล่านี้ได้มีการนำข้อมูลด้านภูมิอากาศต่าง ๆ ที่เก็บรวบรวมได้ในแต่ละภูมิภาคไปใช้ประกอบกับแบบจำลอง GCMs และประเมินเป็นข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศต่าง ๆ ภายใต้กริดขนาดใหญ่ (ประมาณ 100,000 ตารางกิโลเมตร) จากนั้นนำสมมุติฐานต่าง ๆ (Scenarios) ของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่ขึ้นจากปัจจัยหลาย ๆ ด้าน เช่น การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การเพิ่มขึ้นของผลผลิตมวลรวมของประเทศ (GDP) และการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ที่จัดทำขึ้นโดยองค์กร IPCC มาประยุกต์กับแบบจำลอง GCMs เพื่อใช้ในการพยากรณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตที่ได้จากแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในอดีต อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง GCMs จะแสดงผลในพื้นที่ที่มีขนาดกว้างมาก ๆ (large scale) ซึ่งขึ้นกับขนาดของกริดการแสดงผลลัพธ์ แต่สำหรับระดับสเกลที่เล็กลงเช่นในระดับภูมิภาคหรือระดับท้องถิ่นจะไม่สามารถแสดงผลที่เชื่อถือได้ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคเพื่อที่จะวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศในระดับท้องถิ่นจากตัวแปรด้านภูมิอากาศ (Atmospheric predictor variables) ในชั้นบรรยากาศจากสเกลในระดับภูมิภาค (Regional scale) นั่นคือวิธีการลดส่วนหรือ Downscaling Technique โดยวิธีการลดส่วนจะแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลัก ๆ ดังแสดงในภาพที่ 1 วิธีแรกคือ Statistical Downscaling (SDS) ซึ่งใช้วิธีเชิงตัวเลขทางสถิติมาช่วยในการทำนายสภาพอากาศ และวิธีที่สองใช้วิธี Regional Climate Models (RCMs) โดยจะจำลองลักษณะภูมิอากาศต่าง ๆ ในสเกลย่อยลงไปแบบจำลอง GCMs โดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ (dynamic) ที่ตัวแปรและเงื่อนไขผันแปรไปตามเวลา และใช้พื้นที่และขอบเขตเงื่อนไขจากแบบจำลอง GCMs เป็นตัวควบคุม



ภาพที่ 1 ภาพแสดงการจำลองภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำด้วยวิธี Downscaling [2]

สำหรับการศึกษานี้ได้พิจารณาและเลือกใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากแบบจำลอง HadCM3 [3] เนื่องจากดาวโนโพลด์ได้ฟรีไม่ยุ่งยาก ข้อมูลมีความละเอียดระดับรายวันและมีขนาดกริด (Resolution) ที่ไม่ใหญ่มาก ($2.5^\circ \text{ lat} \times 3.75^\circ \text{ long}$ หรือประมาณ 100,000 ตร.กม.) เมื่อเทียบกับแบบจำลอง GCMs อื่น ๆ โดยข้อมูลดังกล่าวที่ได้จากการดาวโนโพลด์จะนำมาจัดรูปแบบสำหรับใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าให้กับแบบจำลอง Statistical DownScaling Model (SDSM) ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภท Statistical Downscaling มาใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนในลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยแบบจำลอง SDSM เป็นแบบจำลองที่สามารถใช้ในการประเมินผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งได้อย่างรวดเร็วโดยไม่ใช้เทคโนโลยีมากมายนัก อีกทั้งเป็นแบบจำลองประเภท Public Domain สามารถดาวโนโพลด์ได้ [4] โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

2. วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณฝนในอดีตในพื้นที่ลุ่มน้ำปึงตอนบน
- 2) คัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศ (predictor variables) ที่เหมาะสมและมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนในลุ่มน้ำปึงตอนบนจากข้อมูลของ NCEP (National

Centers for Environmental Prediction) โดยใช้แบบจำลอง SDSM

3) ทำการประเมินปริมาณฝนและอุณหภูมิในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนจากตัวแปรภูมิอากาศซึ่งได้มาจากผลการวิเคราะห์ของแบบจำลอง HadCM3 ด้วยแบบจำลอง SDSM ภายใต้สมมติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตแบบ A2 และ B2

3. ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

หลักการของ Statistical Downscaling คือ การนำชุดตัวแปรด้านภูมิอากาศ (Predictors) ที่ได้จากแบบจำลอง GCMs มาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านอุทกวิทยา (Predictands) ซึ่งในการศึกษานี้คือ ปริมาณฝน และอุณหภูมิที่สถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในลุ่มน้ำปิงตอนบน เพื่อให้ได้ฟังก์ชันการเปลี่ยนค่า (Transfer Function) จากนั้นสามารถนำฟังก์ชันการเปลี่ยนค่ามาประยุกต์ใช้กับผลการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภูมิอากาศตามสมมติฐานต่าง ๆ (Scenarios) ในอนาคต ก็จะได้ค่าตัวแปรด้านอุทกวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้านภูมิอากาศ (Predictors) กับตัวแปรภาคพื้นดิน (Predictands) แสดงในรูปสมการทั่วไปดังนี้ [5]

$$R_t = F(X_T) \text{ for } T \leq t \quad (1)$$

โดย R_t = ตัวแปรภูมิอากาศท้องถิ่น (Local-scale predictand) ทั้งแบบสถานีเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มที่เวลา t

X_T = ชุดตัวแปรภูมิอากาศ (Predictor set) จากอดีต (T) ถึงปัจจุบันที่เวลา t

F = ฟังก์ชัน (Function) ที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่าง 2 สิ่ง ที่แตกต่างในเชิงพื้นที่ที่มีขนาดพื้นที่ต่างกันโดยสิ้นเชิง

สำหรับแบบจำลอง SDSM จะใช้ฟังก์ชันการคำนวณในรูปแบบของ Multiple Linear Regression [6] ซึ่งมีสมการหา O_i และ I_i ดังนี้

1) *Modeling Occurrence:*

$$O_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_{1i} + \alpha_2 x_{2i} + \dots + \alpha_n x_{ni} \quad (2)$$

2) *Modeling Intensity:*

$$I_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_n x_{ni} + e_i \quad (3)$$

โดย O_i = การเกิดฝนรายวัน (Daily Occurrence)

I_i = ปริมาณฝนรายวัน (Daily Intensity)

X_{ni} = Predictors (ตัวแปรของ GCM ในชั้นบรรยากาศ)

e_i = ค่าความคลาดเคลื่อนในแบบจำลอง (modeling error)

4. แนวทางการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนในอดีตจนถึงปัจจุบัน และการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกของกลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยการทำ Downscaling ด้วยแบบจำลอง SDSM แสดงในภาพที่ 2 สรุปได้ดังนี้

1) การรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิรายวันของสถานีตรวจวัดอากาศจังหวัดเชียงใหม่ ของกรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี ค.ศ. 1961 ถึงปี ค.ศ. 2008 และข้อมูลปริมาณฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนของกรมชลประทาน โดยมีสถานีวัดน้ำฝนที่รวบรวมได้จำนวนทั้งสิ้น 48 สถานี (สถานีที่มีข้อมูลมากกว่า 15 ปี) โดยเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 1961 ถึงปี ค.ศ. 2007

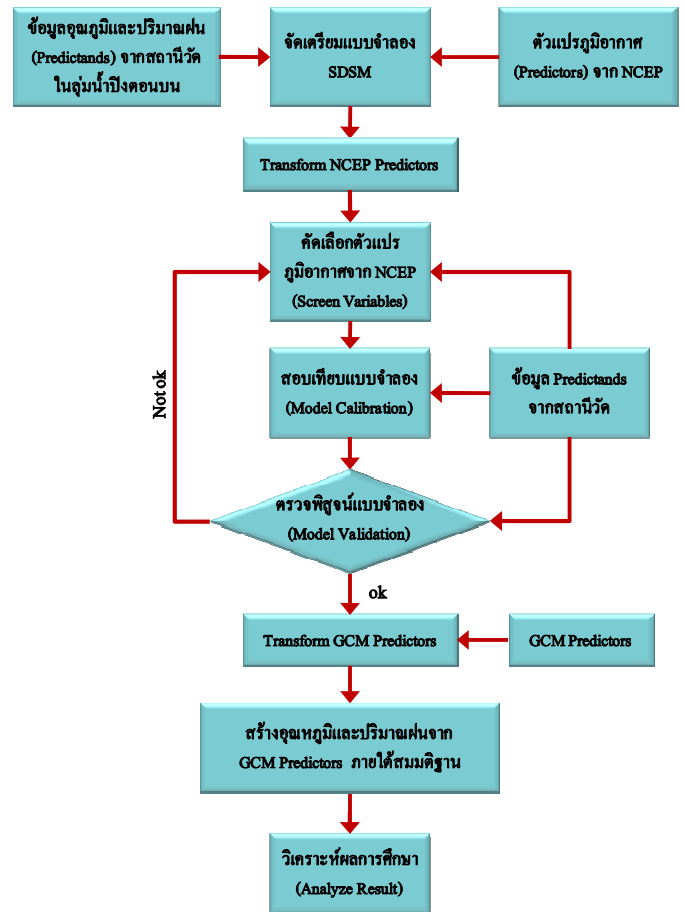
2) คัดเลือกสถานีวัดน้ำฝนเพื่อนำข้อมูลปริมาณฝน ไปใช้ในการศึกษาวิจัยด้วยวิธีการดังนี้ คือ ในกรณีที่สถานีวัดน้ำฝนตั้งอยู่ใกล้กันจะคัดเลือกสถานีที่มีความสมบูรณ์ของข้อมูลมากที่สุดมาใช้ พิจารณาการกระจายตัวของสถานีวัดในลุ่มน้ำ ทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของข้อมูลเบื้องต้นด้วยวิธี Double Mass Curve สุดท้ายจึงเหลือสถานีวัดน้ำฝนที่จะนำไปใช้ในการศึกษาจำนวน 20 สถานี ซึ่งกระจายตัวตั้งแต่ทางตอนเหนือลงมาถึงตอนใต้ของลุ่มน้ำปิงตอนบน ดังแสดงรายชื่อของสถานีวัดน้ำฝนในตารางที่ 1

และตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละสถานีแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดเชียงใหม่ 14 สถานี และในจังหวัดลำพูน 6 สถานี

3) รวบรวมข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศ (predictors) ในชั้นบรรยากาศในอดีตบริเวณพื้นที่ศึกษา เพื่อใช้ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ซึ่งข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศดังกล่าวจะใช้ข้อมูลจากการรวบรวมของ National Centers for Environmental Prediction (NCEP) ซึ่งได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ ทั่วโลก สำหรับรายชื่อตัวแปรภูมิอากาศที่ใช้หาความสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 2

4) ใช้แบบจำลอง SDSM ในการคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศ (ข้อมูลจาก NCEP) ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณฝน (predictands) ในอดีตเบื้องต้น ด้วยวิธีสหสัมพันธ์แยกส่วน (Partial Correlation) หลังจากนั้นทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง เพื่อคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศที่เหมาะสมกับอุณหภูมิและปริมาณฝนแต่ละสถานีโดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างpredictors และ predictands จากค่า R^2 และค่า Standard Error (SE) เมื่อได้ predictors ที่เหมาะสมในแต่ละสถานีแล้ว จึงนำข้อมูลภูมิอากาศแบบเดียวกันในอนาคตมาศึกษาภายใต้สมมติฐานต่าง ๆ ต่อไป

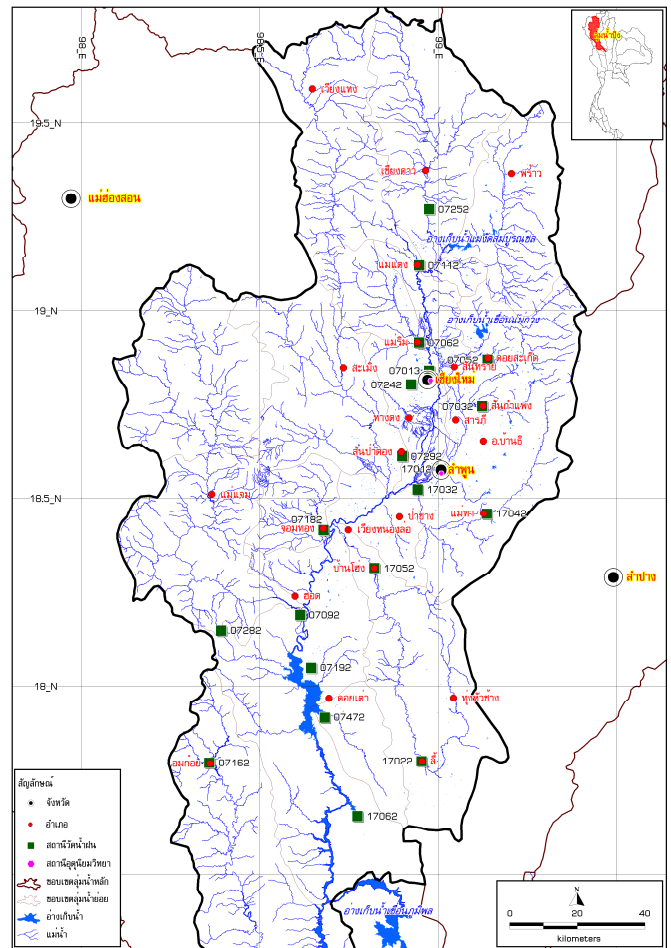
5) นำตัวแปรภูมิอากาศ (predictors) ในอนาคตซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก HadCM3 ภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงแบบ A2 และ B2 ซึ่งเป็นสมมติฐานการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโลกอนาคต (Special Report on Emission Scenarios, SRES) ที่มีการศึกษาและกำหนดโดย IPCC (ภาพที่ 4) โดยตระกูล A (A Family) เป็นการพัฒนาที่มุ่งเน้นด้านเศรษฐกิจเป็นหลัก (More economic) ส่วนตระกูล B (B Family) เป็นการพัฒนาที่เน้นด้านสิ่งแวดล้อม (More environmental) โดยผลที่ได้จะแสดงถึงอุณหภูมิและปริมาณฝนที่เปลี่ยนแปลงไปของแต่ละสถานีในอนาคตภายใต้สมมติฐานแบบ A2 และ B2



ภาพที่ 2 แผนผังวิธีการศึกษาและวิธีการลดส่วน (Downscaling Technique) ด้วยแบบจำลอง SDSM ในลุ่มน้ำปิงตอนบน

ตารางที่ 1 สถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา

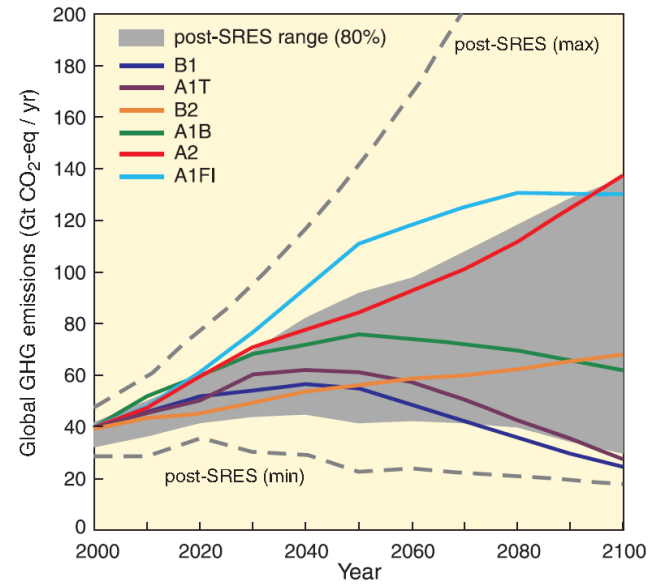
ลำดับที่	รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี (มิลลิเมตร)
จังหวัดเชียงใหม่			
1	07013	อ.เมือง	1,163
2	07032	อ.สันกำแพง	901
3	07052	อ.ดอยสะเก็ด	1,144
4	07062	อ.แม่ริม	996
5	07092	อ.ฮอด	992
6	07112	อ.แม่แตง	1,167
7	07162	อ.อมก๋อย	997
8	07182	อ.จอมทอง	909
9	07192	บ้านแอ่น อ.ดอยเต่า	982
10	07242	อุทยานแห่งชาติสุเทพ-ปุย	1,634
11	07252	ศูนย์พัฒนาลุ่มน้ำคอยเชียงดาว	1,554
12	07282	คอยบ่อแก้ว อ.ฮอด	1,099
13	07292	สถานีทดลองพันธุ์ข้าวสันป่าตอง	982
14	07472	ศูนย์พัฒนาเขื่อนภูมิพล	935
จังหวัดลำพูน			
15	17012	อ.เมือง	938
16	17022	อ.ลี้	1,051
17	17032	อ.ป่าซาง	1,001
18	17042	อ.แม่ทา	1,119
19	17052	อ.บ้านโฮ้ง	991
20	17062	อ.ลี้ บ้านก้อ	98



ภาพที่ 3 สถานีตรวจอากาศเชียงใหม่และสถานีวัดน้ำฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 2 ตัวแปรภูมิอากาศในชั้นบรรยากาศที่ได้จากการดาวน์โหลด

NCEP/GCM Predictors	
Mean sea level pressure	500hPa divergence
1000hPa airflow strength	850hPa airflow strength
1000hPa zonal velocity	850hPa zonal velocity
1000hPa meridional velocity	850hPa meridional velocity
1000hPa vorticity	850hPa vorticity
1000hPa wind direction	850hPa geopotential height
1000hPa divergence	850hPa wind direction
500hPa airflow strength	850hPa divergence
500hPa zonal velocity	Near surface relative humidity
500hPa meridional velocity	Specific/relative humidity at 500hPa
500hPa vorticity	Specific/ relative humidity at 850hPa
500hPa geopotential height	Near surface specific humidity
500hPa wind direction	Mean temperature at 2m



ภาพที่ 4 สมมติฐาน (Scenarios) การพัฒนาของโลกในอนาคต ที่มีผลต่อปริมาณก๊าซเรือนกระจก [7]

5. ผลและวิจารณ์

1) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรายปีเชิงสถิติของสถานีตรวจอากาศจังหวัดเชียงใหม่ตั้งแต่ปี ค.ศ.1961-2008 เมื่อเทียบกับช่วงปีฐาน ค.ศ.1961-1990 แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้นประมาณ 0.02°C ต่อปี และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุดรายปีและต่ำสุดรายปีเท่ากับ 0.01°C และ 0.03°C ต่อปี ตามลำดับ

2) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายปีเชิงสถิติของสถานีที่ได้คัดเลือกไว้ 20 สถานี (ตารางที่ 1) ตั้งแต่ปี ค.ศ.1961-2007 เมื่อเทียบกับช่วงปีฐาน (ค.ศ.1961-1990) ดังแสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงในภาพที่ 6 พบว่า เกือบทุกสถานีที่ทำการศึกษามีแนวโน้มลดลงดังแสดงในตารางที่ 3 โดยมีอัตราการลดลงมากที่สุดที่สถานีอำเภอแมริม (07062) เฉลี่ย 13.1 มิลลิเมตรต่อปี ส่วนสถานีที่มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ สถานีอมก๋อย (07162) มีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 2.6 มิลลิเมตรต่อปี สำหรับค่าเฉลี่ยของทั้ง 20 สถานีนี้รวมมีอัตราการลดลงเฉลี่ย 3.1 มิลลิเมตรต่อปี

จากผลการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางด้านสถิติของอุณหภูมิและปริมาณฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนที่เกิดขึ้นนี้ จะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย เพราะเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการระเหยจะมากขึ้น ผนวกกับปริมาณฝนที่ลดลงในแต่ละปี รวมทั้งการขยายตัวทางด้านการใช้น้ำที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต เหล่านี้จึงมีผลทำให้ปริมาณน้ำท่าในอนาคตของกลุ่มน้ำปิงตอนบนมีแนวโน้มลดลง

3) การสอบเทียบแบบจำลองและการทำ Downscaling ด้วยแบบจำลอง SDSM นั้น จะใช้ข้อมูลอุณหภูมิจากสถานีตรวจอากาศจังหวัดเชียงใหม่และปริมาณฝนจากการตรวจวัดในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูนที่ได้คัดเลือกไว้ (ตารางที่ 1) ช่วงปี ค.ศ.1961-1990 มาใช้ในการสอบเทียบและคัดเลือกตัวแปรภูมิอากาศ (จากตารางที่ 2) ที่เหมาะสม ผลการสอบเทียบอุณหภูมิและปริมาณฝนในรูปแบบต่างๆ เช่น Quantile-Quantile Plot แสดงตัวอย่างในภาพที่ 7 และในรูปของกราฟเส้นแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 8 และภาพที่ 9 จากผลการศึกษาจะได้ค่าความสัมพันธ์ (R^2 และ RMSE) ระหว่างข้อมูลจากการตรวจวัดกับผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง SDSM ของข้อมูลอุณหภูมิต่ำกว่าข้อมูลฝน โดยส่วนใหญ่จะมีความสัมพันธ์กันดีในช่วงฤดูแล้งแต่ในฤดูฝนจะให้ค่าสูงกว่าข้อมูลตรวจวัดเล็กน้อย นอกจากนี้ในการวิเคราะห์มีสถานีที่

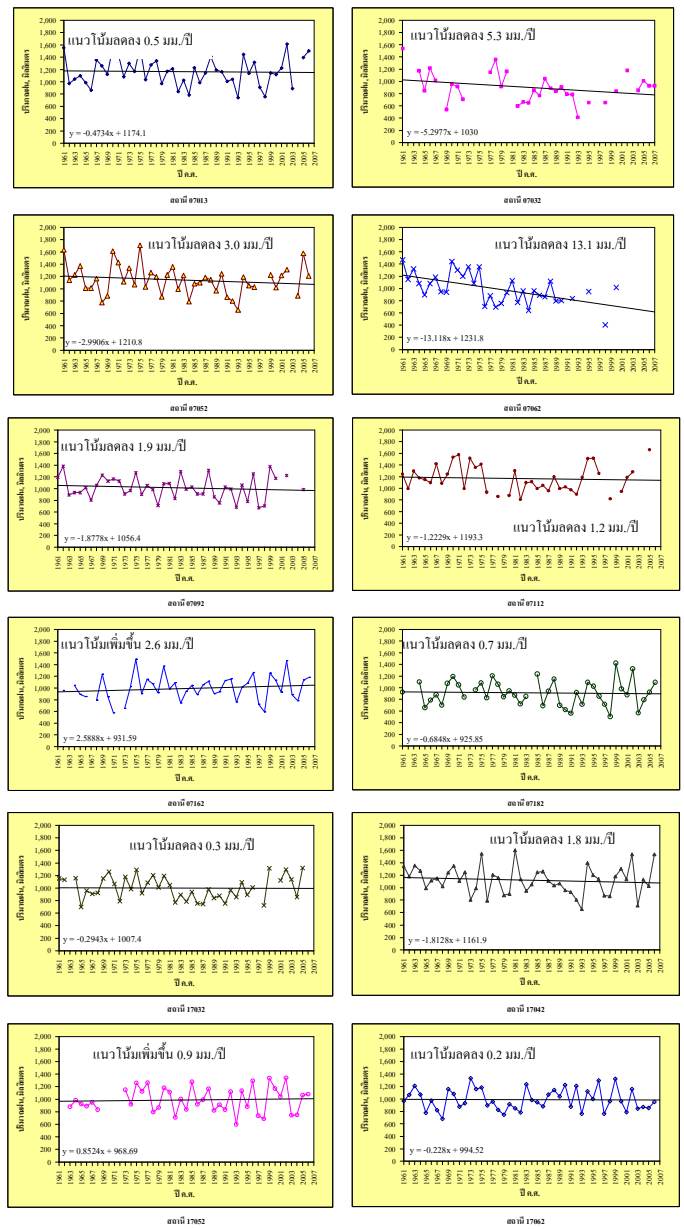
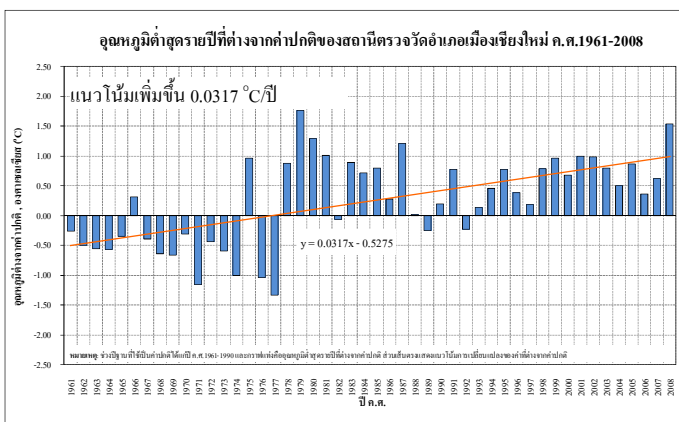
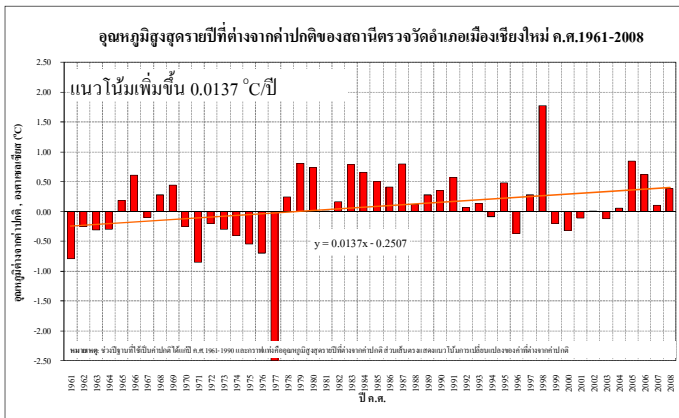
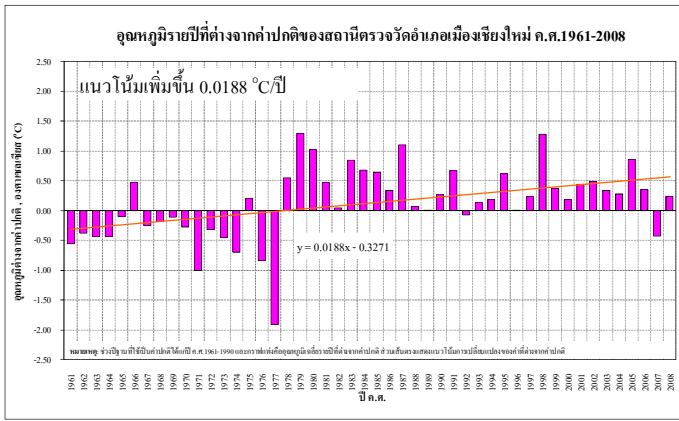
ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศกับข้อมูลจากการตรวจวัดของสถานีได้แก่ สถานี อ.แมริม (07062) จึงไม่สามารถนำมาศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้

จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (ค.ศ.1961-1990) predictors ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบน ได้แก่

- อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน : Relative humidity at 500 hPa, Relative humidity at 850 hPa, Surface specific humidity, Mean temperature at 2m
- อุณหภูมิสูงสุดรายวัน: 850 hPa divergence, Relative humidity at 500 hPa, Relative humidity at 850 hPa, Mean temperature at 2m
- อุณหภูมิต่ำสุดรายวัน: 500 hPa zonal velocity, 850 hPa geopotential height, Relative humidity at 850 hPa, Near surface relative humidity, Surface specific humidity
- ปริมาณฝน (จาก 19 สถานี): 850 hPa meridional velocity, 850 hPa divergence, Relative humidity at 500 hPa, Relative humidity at 850 hPa และ Near surface relative humidity

เมื่อนำข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศของแบบจำลอง HadCM3 ในอนาคตภายใต้สมมติฐาน A2 และ B2 ชนิดเดียวกันกับที่ได้จากการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ นำเข้าในแบบจำลอง SDSM และแบ่งเป็นช่วงเวลาต่างๆ ในอนาคต คือ ทศวรรษที่ 2020s (ค.ศ.2010-2039), ทศวรรษที่ 2050s (ค.ศ.2040-2069) และทศวรรษที่ 2080s (ค.ศ.2070-2099)

4) ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในลุ่มน้ำปิงตอนบนภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศแบบ A2 และ B2 แสดงในตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 6 ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนแสดงตัวอย่างในภาพที่ 8 และสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายสถานีในลุ่มน้ำปิงตอนบนในตารางที่ 7 จากข้อมูลรายสถานีทั้ง 19 สถานีทำการ Weighting factor ด้วยวิธี Thiessen polygon เพื่อให้เป็นฝนเชิงพื้นที่ (Areal Rainfall) จะได้ปริมาณฝนในลุ่มน้ำปิงตอนบนในอนาคตภายใต้สมมติฐานแบบ A2 และ B2 เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงปี ค.ศ.1961-1990 และ ค.ศ.1991-2007 ในภาพที่ 10 ซึ่งปริมาณฝนรายปีจะเพิ่มขึ้นจากอดีต (ค.ศ.1961-1990) ประมาณ 60-90% โดยเฉพาะในฤดูฝนจะเพิ่มสูงขึ้นมาก

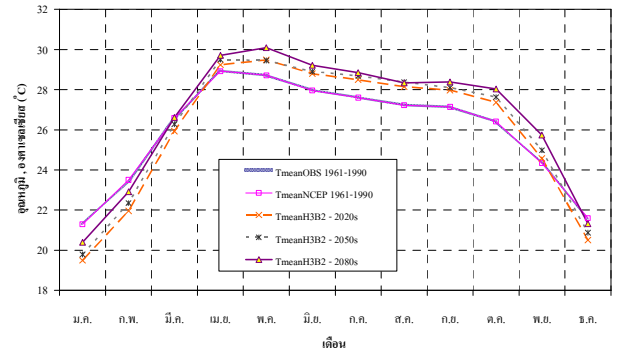
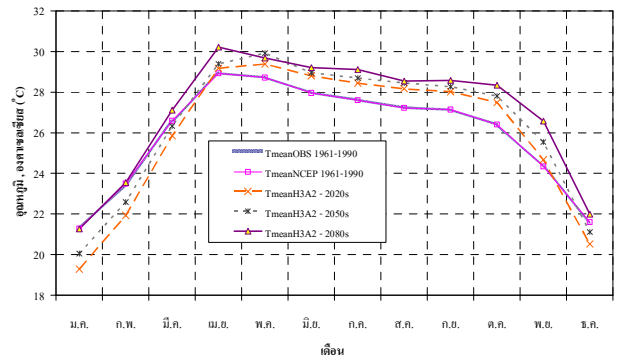


ภาพที่ 6 ตัวอย่างแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายปีของสถานีในกลุ่มน้ำป่าตอนบน

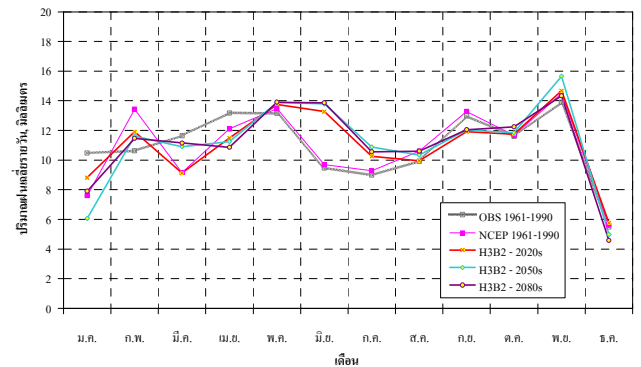
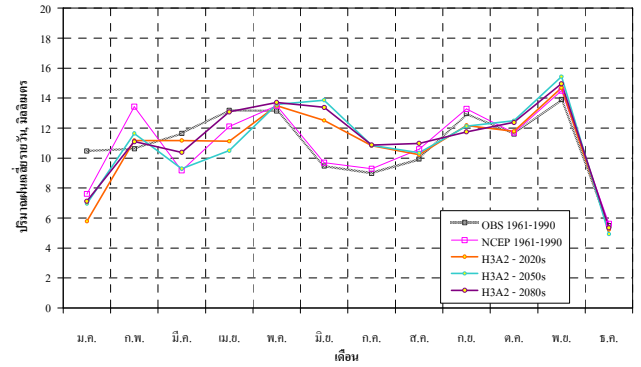
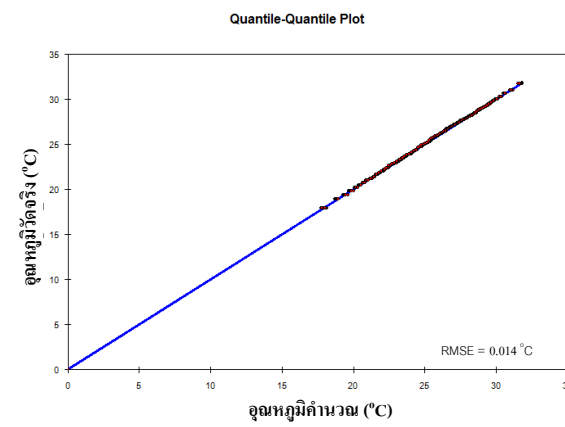
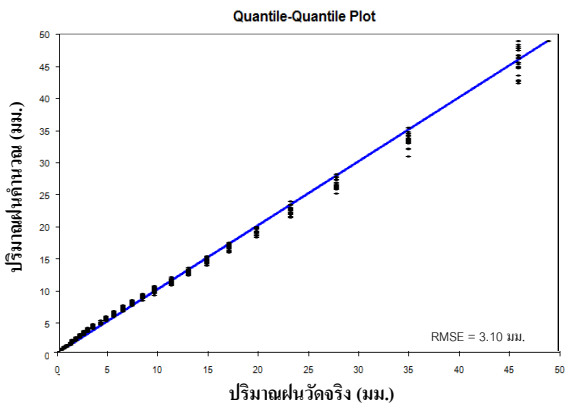
ภาพที่ 5 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สถานีตรวจอากาศเชียงใหม่ จากค่าเฉลี่ยช่วงปี ค.ศ.1961-1990 จากอดีตถึงปัจจุบัน

ตารางที่ 3 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายปีของสถานีวัดน้ำฝน
ในกลุ่มน้ำปิงตอนบนที่ใช้ในการศึกษา (ค.ศ.1961-2007)

ลำดับที่	รหัส	สถานี	แนวโน้มการ (มิลลิเมตร/ปี)
จังหวัดเชียงใหม่			
1	07013	อ.เมือง	-0.5
2	07032	อ.สันกำแพง	-5.3
3	07052	อ.ดอยสะเก็ด	-3.0
4	07062	อ.แม่ริม	-13.1
5	07092	อ.สอด	-1.9
6	07112	อ.แม่แตง	-1.2
7	07162	อ.อมก๋อย	2.6
8	07182	อ.จอมทอง	-0.7
9	07192	บ้านแอ่น อ.ดอยเต่า	-8.6
10	07242	อุทยานแห่งชาติสุเทพ-ปุย	-3.2
11	07252	ศูนย์พัฒนากลุ่มน้ำคอยเชียงดาว	-7.5
12	07282	คอยบ่อแก้ว อ.สอด	-3.5
13	07292	สถานีทดลองพันธุ์ข้าวสันป่าตอง	0.5
14	07472	ศูนย์พัฒนาเขื่อนภูมิพล	-3.8
จังหวัดลำพูน			
15	17012	อ.เมือง	-4.1
16	17022	อ.ลี้	-7.5
17	17032	อ.ป่าซาง	-0.3
18	17042	อ.แม่ทา	-1.8
19	17052	อ.บ้านโฮ้ง	0.9
20	17062	อ.ลี้ บ้านก่อ	-0.2



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบผลการสอบเทียบของอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอนาคตกายใต้สมมติฐาน A2 และ B2



ภาพที่ 9 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอนาคตกายใต้สมมติฐาน A2 และ B2

ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบผลการสอบเทียบของอุณหภูมิและปริมาณฝนในรูปแบบของ Quantile-Quantile Plot

ตารางที่ 4 การสอบเทียบแบบจำลองและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนในกลุ่มน้ำปีงตอนบนภายใต้สมมติฐาน A2 และ B2

	การสอบเทียบแบบจำลอง		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)					
	Observe	NCEP	A2			B2		
	(1961-1990)	(1961-1990)	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s
ม.ค.	21.29	21.29	-2.01	-1.24	-0.03	-1.80	-1.51	-0.90
ก.พ.	23.46	23.50	-1.53	-0.88	0.09	-1.50	-1.11	-0.56
มี.ค.	26.58	26.59	-0.73	-0.25	0.53	-0.65	-0.30	0.03
เม.ย.	28.93	28.92	0.24	0.46	1.28	0.31	0.57	0.78
พ.ค.	28.72	28.72	0.66	1.19	0.95	0.76	0.73	1.37
มิ.ย.	27.97	27.96	0.83	0.99	1.24	0.82	0.93	1.24
ก.ค.	27.61	27.60	0.83	1.08	1.50	0.88	1.07	1.24
ส.ค.	27.24	27.23	0.93	1.21	1.30	0.91	1.13	1.10
ก.ย.	27.14	27.14	0.88	1.13	1.44	0.84	0.96	1.24
ต.ค.	26.40	26.41	1.09	1.41	1.93	0.96	1.23	1.63
พ.ย.	24.33	24.34	0.35	1.21	2.25	0.24	0.66	1.41
ธ.ค.	21.59	21.60	-1.07	-0.48	0.40	-1.10	-0.72	-0.27
เฉลี่ยทั้งปี	25.94	25.94	0.04	0.49	1.07	0.06	0.30	0.69
สูงสุด	28.93	28.92	1.09	1.41	2.25	0.96	1.23	1.63
ต่ำสุด	21.29	21.29	-2.01	-1.24	-0.03	-1.80	-1.51	-0.90

ตารางที่ 5 การสอบเทียบแบบจำลองและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในกลุ่มน้ำปีงตอนบนภายใต้สมมติฐาน A2 และ B2

	การสอบเทียบแบบจำลอง		อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย (°C)					
	Observe	NCEP	A2			B2		
	(1961-1990)	(1961-1990)	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s
ม.ค.	28.94	28.92	-2.41	-1.59	-0.13	-2.25	-1.84	-1.26
ก.พ.	32.14	32.18	-2.14	-1.40	-0.37	-2.01	-1.64	-1.04
มี.ค.	34.96	34.96	-0.78	-0.20	0.70	-0.62	-0.30	0.11
เม.ย.	36.10	36.07	0.45	1.11	1.50	0.23	0.76	1.35
พ.ค.	34.05	34.03	0.51	1.25	0.70	0.57	0.50	1.49
มิ.ย.	32.32	32.33	0.86	0.98	1.22	0.80	0.92	1.31
ก.ค.	31.70	31.69	0.68	0.94	1.40	0.74	1.00	1.08
ส.ค.	31.13	31.10	2.24	3.05	3.34	2.30	2.83	2.76
ก.ย.	31.35	31.34	1.62	2.10	2.57	1.54	1.72	2.23
ต.ค.	31.06	31.08	2.40	2.81	3.57	2.14	2.56	3.20
พ.ย.	29.75	29.73	1.08	2.33	3.74	0.97	1.59	2.71
ธ.ค.	28.29	28.29	-0.95	-0.16	1.21	-1.02	-0.58	0.20
เฉลี่ยทั้งปี	31.81	31.81	0.30	0.94	1.62	0.28	0.63	1.18
สูงสุด	36.10	36.07	2.40	3.05	3.74	2.30	2.83	3.20
ต่ำสุด	28.29	28.29	-2.41	-1.59	-0.37	-2.25	-1.84	-1.26

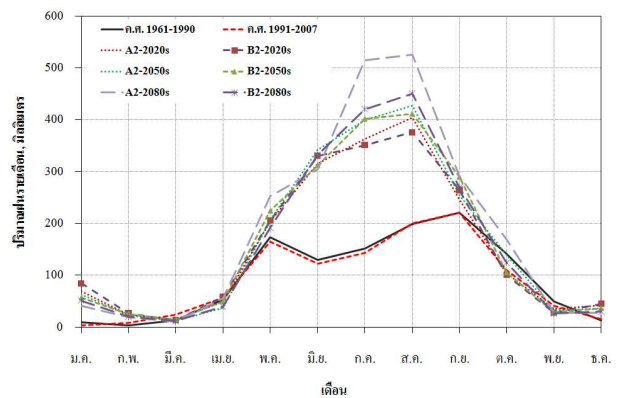
ตารางที่ 6 การสอบเทียบแบบจำลองและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนในกลุ่มน้ำปีงตอนบนภายใต้สมมติฐาน A2 และ B2

	การสอบเทียบแบบจำลอง		อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย (°C)					
	Observe	NCEP	A2			B2		
	(1961-1990)	(1961-1990)	2020s	2050s	2080s	2020s	2050s	2080s
ม.ค.	13.70	13.68	2.22	3.04	4.15	2.48	2.70	3.32
ก.พ.	14.84	14.93	1.62	2.50	3.92	1.70	2.19	2.90
มี.ค.	18.25	18.27	0.69	1.59	3.04	0.82	1.40	2.07
เม.ย.	21.81	21.81	0.99	1.77	4.18	1.01	1.72	2.56
พ.ค.	23.45	23.45	1.28	2.00	3.47	1.34	1.88	2.54
มิ.ย.	23.67	23.66	0.91	1.71	2.77	0.94	1.58	1.90
ก.ค.	23.57	23.56	1.16	1.90	2.86	1.19	1.69	2.29
ส.ค.	23.40	23.39	0.47	0.84	1.53	0.58	0.78	1.32
ก.ย.	22.97	22.97	0.23	0.60	1.18	0.32	0.70	0.92
ต.ค.	21.80	21.79	-1.39	-1.29	-0.92	-1.50	-1.56	-1.21
พ.ย.	18.96	18.98	0.17	0.26	0.17	0.24	0.05	0.11
ธ.ค.	14.95	14.96	1.93	2.38	2.91	1.85	2.14	2.53
เฉลี่ยทั้งปี	20.11	20.12	0.86	1.44	2.44	0.92	1.27	1.77
สูงสุด	23.67	23.66	2.22	3.04	4.18	2.48	2.70	3.32
ต่ำสุด	13.70	13.68	-1.39	-1.29	-0.92	-1.50	-1.56	-1.21

ตารางที่ 7 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายสถานีในกลุ่มน้ำปีงตอนบน

ลำดับที่	รหัสสถานี	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง (มิลลิเมตร/ปี)			
		จากข้อมูลในอดีต		ในอนาคต (ค.ศ.2010-2099)	
		(ค.ศ.1961-1990)	(ค.ศ.1991-2007)	A2	B2
จังหวัดเชียงใหม่					
1	7013	-2.7	25.0	2.3	1.8
2	7032	-10.6	22.4	-2.0	-2.9
3	7052	-5.5	30.9	8.5	2.6
4	7092	-4.3	15.8	-0.1	-2.3
5	7112	-9.1	20.6	0.8	-1.6
6	7162	3.1	3.6	2.9	0.3
7	7182	-2.4	12.0	10.3	2.4
8	7192	-6.7	9.9	9.7	3.2
9	7242	-4.2	19.9	1.4	-1.2
10	7252	-17.5	30.0	8.3	1.7
11	7282	-10.2	1.4	15.8	4.3
12	7292	-7.9	18.2	16.3	7.8
13	7472	-5.5	17.7	9.7	2.9
จังหวัดลำพูน					
14	17012	-1.8	6.6	-3.4	-1.1
15	17022	-6.0	20.9	1.5	-1.8
16	17032	-7.6	23.7	3.1	0.8
17	17042	-4.9	22.0	7.5	2.2
18	17052	1.8	7.5	-1.2	-1.6
19	17062	1.3	-7.7	6.4	1.7

ภาพที่ 10 ตัวอย่างการเปรียบเทียบของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอนาคตภายใต้สมมติฐาน A2 และ B2



6. สรุปผล

ผลการศึกษาจากข้อมูลสถิติในอดีตถึงปัจจุบันอุณหภูมิในพื้นที่ลุ่มน้ำปีงตอนบนพบว่าแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยในแต่ละปีเมื่อเทียบกับข้อมูลในช่วงปี พ.ศ.2504-2553 (ค.ศ.1961-1990) สำหรับตัวแปรภูมิอากาศ (predictors) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (เฉลี่ย, สูงสุด และต่ำสุดรายวัน) ในลุ่มน้ำปีงตอนบน ประกอบด้วย 500 hPa zonal velocity, 850 hPa divergence, 850 hPa geopotential height, Relative humidity at 500 hPa, Relative humidity at 850 hPa, Near surface relative humidity, Surface specific humidity และ Mean temperature at 2m เมื่อทำการ

คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตแบบ A2 และ B2 พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในแบบ A2 มากกว่า B2 แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($A2 > B2$) ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยในแต่ละเดือนจะสูงขึ้นจากเดิมมากในช่วงทศวรรษที่ 2050s และ 2080s (เฉลี่ยเพิ่มขึ้น $1.3 - 2.4$ °C)

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนรายปีในอดีตถึงปัจจุบันมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเป็นส่วนใหญ่ น่าจะมีสาเหตุมาจากการที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น การใช้ที่ดินเปลี่ยนแปลงไป และพื้นที่ป่าไม้ลดลง สำหรับตัวแปรภูมิอากาศ (predictors) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในกลุ่มน้ำปึงตอนบน ส่วนใหญ่ประกอบด้วย Surface meridional velocity, Surface divergence, 850 hPa divergence, Relative humidity at 500 hPa, Relative humidity at 850 hPa และ Near surface relative humidity ส่วนการคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตภายใต้สมมติฐานแบบ A2 และ B2 พบว่าปริมาณฝนรายปีมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นพอสมควร โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้เดือนที่มีปริมาณฝนตกสูงสุดจะเปลี่ยนไปจากที่เคยตกสูงสุดในเดือนพฤษภาคมและกันยายนเป็นเดือนกรกฎาคมและสิงหาคมด้วย นอกจากนี้ความรุนแรงของปริมาณฝนจะมีมากกว่าปัจจุบัน แสดงว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อความรุนแรงของฝนที่เพิ่มขึ้นด้วย แต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณโดยรวมของฝนเฉลี่ยทั้งปี

อย่างไรก็ตามการศึกษาดังกล่าวเป็นแนวทางการศึกษาหนึ่งที่จะใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังและวางแผนรับมือกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตระยะยาว โดยเฉพาะปริมาณฝนในแต่ละเดือนที่เปลี่ยนแปลงไป เพราะในกลุ่มน้ำปึงตอนบนเป็นที่ตั้งของเขื่อนขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญในระดับชาติถึง 3 เขื่อน ได้แก่ เขื่อนภูมิพล เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล และเขื่อนแม่งองอุดมธารา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำ จะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำของทั้ง 3 เขื่อน ไม่ว่าจะเป็นปริมาณน้ำในปริมาณที่มากกว่าหรือน้อยกว่าปกติก็ตาม จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมพร้อมรับมือกับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตและแนวทางการบริหารจัดการต่อไป

7. บรรณานุกรม

- [1] <http://www.ipcc-data.org/>
- [2] Robert L. Wilby and Christian W. Dawson, 2007. SDSM 4.2 — A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual : Page 7 of 94.
- [3] <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/sdsm/select.cgi>
- [4] <https://co-public.lboro.ac.uk/cocwd/SDSM/software.html>
- [5] Said Hassan Matan, 2007. STATISTICAL PRECIPITATION VARIABILITY CHANGES UNDER CLIMATE CHANGE SCENARIOS SIMULATIONS USING A STATISTICAL DOWNSCALING MODEL (SDSM). Master of Engineering (Civil-Hydrology and Water resources) University Technology Malaysia.
- [6] Dimitri Parishkura, 2008. Evaluation and application of dynamical and statistical downscaling tools for reconstruction of the variability and extremes of current climate regime and future scenario projections. Pacific Climate Impact Consortium, University of Victoria.
- [7] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva, Switzerland.