รายงานฉบับสมบูรณ์

(Final Report)

โครงการย่อยที่ 2 : การศึกษาและจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศสำหรับงานวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทย

Sub-Project 2: The Analysis and Database Construction of Climate Change for Research and Development in Thailand Highlands

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การศึกษาและจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศสำหรับงานวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทย

แผนงานการวิจัย : การวิจัยเพื่อกำหนดนโยบายและกลยุทธ์การพัฒนาที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและรองรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

โดย

สรรพิศา ศรีไตรรัตน์ และคณะ

สนับสนุนทุนวิจัยโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

รายงานฉบับสมบูรณ์

(Fianal Report)

โครงการย่อยที่ 2 : การศึกษาและจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศสำหรับงานวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทย

Sub-Project 2: The Analysis and Database Construction of Climate Change for Research and Development in Thailand Highlands

โครงการย่อยภายใต้ชุดโครงการ : การศึกษาและจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศสำหรับงานวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทย

แผนงานการวิจัย: การวิจัยเพื่อกำหนดนโยบายและกลยุทธ์การพัฒนาที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและรองรับการเปลี่ยนแปลงในอนาคต

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร.สรรพิศา ศรีไตรรัตน์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
2. นางสาววรรษมน ภู่สกุลขจร	หน่วยวิจัยการออกแบบและวิศวกรรม ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
3. ดร.บุญลือ คะเชนทร์ชาติ	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
4. ดร.กมลาภรณ์ คนองเดช	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
5. ดร.ปรมิตา พันธ์วงศ์	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
6. ดร.กฤษฎาพันธุ์ ผลากิจ	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

กันยายน 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงด้วยได้ดีจากการอนุเคราะห์ของบุคคลและหน่วยงานหลายฝ่าย ขอขอบคุณ คุณณัฐวรรณ ธรรมสุวรรณ์ และเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยให้ราบรื่น ขอขอบพระคุณดร.สยาม ลววิโรจน์วงศ์ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ(องค์การมหาชน)ที่ได้ให้คำแนะนำด้านข้อมูลอากาศเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณการสนับสนุนข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ กรมป่าไม้สถาบันพัฒนาสารสนเทศทรัพยากรน้ำ และมูลนิธิโครงการหลวงฯ ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.กัมปนาท ภักดีกุล คณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ได้ให้คำปรึกษาโครงการวิจัยรวมถึงผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวชนิษฐา คุ้มรักษา นางสาวหิรัญญิกา ศรีวงศ์กลาง นางสาวจิติมา พลเพิ่มพูล นางสาวภัทรามาศ มากมูล และนายภากร ศรีมโนภาษ เจ้าหน้าที่วิจัย นายยุทธนา เปี่ยมเจริญ รวมถึงนักศึกษาและเจ้าหน้าที่คณะสิ่งแวดล้อมที่ช่วยให้การดำเนินโครงการเป็นไปได้อย่างราบรื่นสุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนโครงการวิจัยชิ้นนี้

คณะผู้จัดทำ

กันยายน 2558

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล	ดร.สรรพิศา ศรีไตรรัตน์
ตำแหน่ง	อาจารย์
หน่วยงาน	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่	มหาวิทยาลัยมหิดล อ.ศาลายา จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์	02-441-5000 ต่อ 1236
Email:	sanpisa@gmail.com / sanpisa.sri@mahidol.ac.th

ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาววรรษมน ภู่สกุลขจร
ตำแหน่ง	ผู้ช่วยนักวิจัย
หน่วยงาน	หน่วยวิจัยการออกแบบและวิศวกรรม
ที่อยู่	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ เขตพญาไท กรุงเทพ 10400
โทรศัพท์	02-564-6500 ต่อ 4359
Email:	wassamon.phu@mtec.or.th

ชื่อ-สกุล	ดร.บุญลือ คะเชนทร์ชาติ
ตำแหน่ง	อาจารย์
หน่วยงาน	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่	มหาวิทยาลัยมหิดล อ.ศาลายา จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์	02-441-5000 ต่อ 1219
Email:	boonlue.elephant@gmail.com

ชื่อ-สกุล	ดร.กมลาภรณ์ คนองเดช
ตำแหน่ง	อาจารย์
หน่วยงาน	คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่	มหาวิทยาลัยมหิดล อ.ศาลายา จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์	02-441-5000 ต่อ 1325
Email:	kamalaporn.kan@mahidol.ac.th

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

ชื่อ-สกุล ดร.ปรมิตา พันธ์วงศ์
ตำแหน่ง อาจารย์
หน่วยงาน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่ มหาวิทยาลัยมหิดล อ.ศาลายา จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 02-441-5000 ต่อ 1310
Email: paramita.pun@mahidol.ac.th

ชื่อ-สกุล ดร.กฤษฎาพันธุ์ ผลากิจ
ตำแหน่ง อาจารย์
หน่วยงาน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่ มหาวิทยาลัยมหิดล อ.ศาลายา จ.นครปฐม 73170
โทรศัพท์ 081-7136871
Email: kritsadapan.pal@mahidol.ac.th

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

สภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำการเกษตร โดยเฉพาะการเกษตรบนพื้นที่สูงของประเทศไทยที่ต้องพึ่งพาสภาพภูมิอากาศและน้ำตามธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อคุณภาพและปริมาณผลผลิตทางการเกษตรอย่างมากไม่ว่าจะเป็นปริมาณน้ำและอุณหภูมิที่เหมาะสม ปัจจัยต่อการออกดอก และลักษณะภูมิอากาศที่เพิ่มความเสี่ยงต่อความเสียหายหรือโรคพืชที่การกระจายตัวเพิ่มขึ้นสู่พื้นที่สูงเนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงด้วย ถึงแม้หน่วยงานต่างๆ จะเริ่มตระหนักถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบ้างแล้ว แต่การพยากรณ์และศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงของประเทศไทยมีจำกัด เนื่องจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่สูงส่วนใหญ่ได้มีการเก็บและบันทึกข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและสภาพอากาศในช่วง 5-10 ปีที่ผ่านเท่านั้น จึงไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระยะยาวได้ ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทยทางสถิติและคณิตศาสตร์อย่างละเอียด เพื่อให้ได้มาซึ่งฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศภาคเหนือของประเทศไทยและมุ่งเน้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงในพื้นที่สูงเทียบกับพื้นที่โดยรอบ รวมถึงการใช้ข้อมูลนี้เพื่อสร้างและปรับปรุงแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ภูมิอากาศบนพื้นที่ศึกษา เพื่อสามารถนำไปใช้ในการวิจัยและพัฒนาการวางแผนการเกษตรได้

ผลการวิจัย

1. การรวบรวมข้อมูล

1.1 การรวบรวมข้อมูลกาลอากาศ (meteorology)

คณะผู้วิจัยได้ติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่มีการตรวจวัดข้อมูลอากาศในภาคเหนือ และได้ข้อมูลเชิงลึกจากกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ มูลนิธิโครงการหลวง และสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ปัจจัยที่ได้ทำการขออนุเคราะห์ข้อมูล ได้แก่พิกัดของจุดตรวจวัด ความสูงจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนสูงสุด ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด ปริมาณน้ำท่าหรือความสูงของระดับน้ำ ปริมาณการระเหยของน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ ความครึ้ม (ปริมาณเมฆ) ความเร็วลม ความชื้นในอากาศ ความเข้มของแสง ตามช่วงแวลาการเก็บข้อมูล ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาถือว่าเป็นข้อมูลชุดที่สมบูรณ์ต่อเนื่องเป็นระยะยาวมากที่สุดและมีการเก็บรวมรวมทุกตัวแปรมากที่สุด มากกว่า 60 ปี ณ หลายๆ สถานี และมีรายละเอียดรายวัน ข้อมูลกรมทรัพยากรน้ำมีหลายตัวแปรเช่นกันและมีหลายสถานี แต่มีเพียง 29 สถานีเท่านั้นที่มีความสมบูรณ์ต่อเนื่องของข้อมูลพอสมควรในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง

1.2 การรวบรวมข้อมูลเชิงอดีตจากดัชนี

ได้แก่ วงปีของต้นไม้และหินงอกหินย้อยในพื้นที่สูงภาคเหนือ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูงและปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้อง พบว่า El Niño-Southern Oscillation (ENSO) เป็นหนึ่งในปัจจัย Ocean-atmospheric Coupling ที่มีรายงานว่ามีความสัมพันธ์กับสภาพทางอากาศมากเป็นปัจจัยหนึ่งในพื้นที่ตอนเหนือของประเทศไทยและทำให้เกิดปรากฏการณ์สภาพภูมิอากาศรุนแรง เช่นแห้งแล้ง อุณหภูมิสูงหรือน้ำท่วมเป็นพิเศษได้ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยเหล่านี้ เพื่อทำให้การพยากรณ์แม่นยำขึ้น

1.3 การรวบรวมข้อมูลดัชนี ocean-atmospheric climate coupling

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลด้านสภาพภูมิอากาศในรูปแบบข้อมูลดัชนีเกี่ยวกับอุตุนิยมวิทยา ทั้งนี้ ตัวแปร ocean-atmospheric climate coupling เช่นปรากฏการณ์ El Niño-Southern Oscillation (ENSO) เป็นปัจจัยหลักที่อาจจะส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดูกาล

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 การหาปัจจัยที่สำคัญต่อสภาพทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา

เพื่อหาปัจจัยสำคัญต่อสภาพทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ระหว่างตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ ดัชนี Ocean-Atmospheric และปัจจัยอื่นๆ ที่น่าจะเกี่ยวข้อง จากการวิเคราะห์แบบรายเดือนของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศ เพื่อใช้ในการพยากรณ์เชิงฤดูกาล นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ในระยะเวลาที่ต่างกัน (Cross-correlation Coefficient) เพื่อศึกษาว่าตัวแปรใดๆ มีการชะลอตัวในการตอบสนองจากตัวแปรอื่นๆ หรือไม่ หรือเพื่อตรวจสอบว่าจะสามารถพยากรณ์ตัวแปรหนึ่งล่วงหน้าจากตัวแปรอื่นได้หรือไม่ ผลจากการคำนวณ พบว่าบางตัวแปรอาจจะเกิดก่อนตัวแปรอื่นๆล่วงหน้าเป็นเดือนๆ จากการคำนวนค่าความสหสัมพันธ์ของตัวแปรอุตุนิยมวิทยาและดัชนี Ocean- Atmospheric Coupling พบว่า ดัชนี Nino 3.4 มีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศในพื้นที่สูงด้วย โดยเฉพาะตัวแปรปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ

2.2 การวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในภาคเหนือ

คณะผู้วิจัยได้ใช้วิธีทางสถิติและคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศย้อนหลังนับสิบๆ ปี เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษา การวิเคราะห์ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาระยะยาวได้แสดงให้เห็นว่า มีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั้งในพื้นที่ราบและพื้นที่สูงจากข้อมูลชุดที่สมบูรณ์ที่สุด โดยมีการเปรียบเทียบข้อมูลรายเดือนระยะยาวตลอดช่วงเวลาข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลรายวันของช่วงเวลาในอดีต (ก่อนปี ค.ศ. 2005) และช่วงทศวรรษสุดท้าย (ค.ศ. 2005 - 2014) โดยสรุปแล้วสถานีส่วนใหญ่ทั้งที่ราบและที่สูงแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและความถี่ของสภาพอากาศรุนแรงคล้ายคลึงกัน เนื่องจากตัวแปรน้ำฝนและอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดต่อการเกษตร คณะผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญในการวิเคราะห์ตัวแปรเหล่านี้มากที่สุด โดยสรุปได้ดังต่อไปนี้

ก) ข้อมูลจากพื้นที่ที่อยู่ใกล้กันไม่ว่าจะเป็นพื้นที่สูงหรือพื้นที่ราบก็มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทางคล้ายๆ กัน เช่นดังแสดงในตัวอย่างจากสถานีอุตุนิยมวิทยา 3 สถานีในจังหวัดตากในหัวข้อ 4.4.3 พบทุกที่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในทิศทางเดียวกันเป็นส่วนใหญ่หรือการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนเปรียบเทียบกับความสูงจากระดับน้ำทะเล พบว่า ความสูงจากระดับน้ำทะเลของสถานีไม่แสดงผลเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงแต่มีผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

ข) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิรายเดือนรายจังหวัด

คณะผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลเดือนมกราคมเพื่อแสดงตัวอย่างข้อมูลกลางเดือนฤดูหนาวและฤดูแล้ง และเดือนกรกฎาคมเพื่อแสดงช่วงฤดูฝนที่ร้อนกว่า แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุดและปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่ โดยมีการแสดงปริมาณและแนวโน้มตัวแปรน้ำฝนและอุณหภูมิตลอดจำนวนปีการเก็บข้อมูลของแต่ละสถานี แสดงแนวโน้ม ณ แต่ละสถานีทั้งนี้ข้อมูลโดยรวมจากทุกพื้นที่โดยส่วนใหญ่แสดงถึงปริมาณน้ำฝนเพิ่มมากขึ้นทั้งสองฤดูกาลแต่มีบางสถานีที่ลดลงอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดของแต่ละเดือนเพิ่มขึ้นโดยอุณหภูมิต่ำสุดได้สูงขึ้นมากกว่า 1-2 °C ในช่วง 25 ปีที่ผ่านมาในหลายพื้นที่ แต่อุณหภูมิเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยหรือมีลดลงเล็กน้อยในบางพื้นที่

ค) การเปลี่ยนแปลงความเสี่ยงสภาพอากาศรุนแรงในพื้นที่ศึกษา

คณะผู้วิจัยได้คำนวนสถิติการเปลี่ยนแปลงความถี่ความเสี่ยงของอุณหภูมิที่สูงเกินกว่า 35 และ 30 °C แสดงว่าวันที่อุณหภูมิสูงขึ้นเหล่านี้ลดลงในประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของสถานีทั้งหมดแต่มีเพียง 7 และ 33% ของสถานีที่มีแนวโน้มจำนวนวันอุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ 57% ของสถานีมีแนวโน้มจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 16 °C ลดลงแต่มีจำนวนสถานีที่มีแนวโน้มจำนวนวันที่หนาวกว่า 10 °C เพิ่มขึ้นและลดลงเท่าๆกัน โดยรวมมีจำนวนสถานีที่แสดงแนวโน้มวันที่ฝนไม่ตกลดลง ละจำนวนวันที่ฝนตกมากกว่า 100 มม. มากขึ้น แสดงถึงแนวโน้มโดยรวมว่ามีปริมาณฝนตกมากขึ้นและวันที่ฝนตกหนักถี่ขึ้นและแห้งแล้งลดลง

ง) การเปลี่ยนแปลงฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงระยะยาวจากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา

เพื่อสังเกตุการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระยะยาว คณะผู้วิจัยได้เปรียบเทียบตัวแปรอากาศเฉลี่ยรายวันของข้อมูลก่อนปีค.ศ. 2005 เทียบกับระหว่างปีค.ศ. 2005 – 2014 ตามที่แสดงในภาพ 4.115 –4.149 โดยสถานีส่วนใหญ่ของกรมอุตุนิยมวิทยาแสดงถึงปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ส่วนใหญ่ได้เพิ่มขึ้นใน 15 ปีหลังในปริมาณ 85 – 145 มม.ต่อปี หรือประมาณ 0.5 มม. ต่อวันโดยเฉลี่ยซึ่งนับเป็น 10% ของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ย ฝนตกในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคมเร็วขึ้นและฤดูฝนยาวนานขึ้น นอกจากนี้สถานีส่วนใหญ่ยังแสดงความเร็วลมที่มากขึ้นซึ่งอาจจะเป็นผลเสียต่อการเกษตรกรรมได้

การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิระยะยาวแสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้น 0.5 – 1°C โดยประมาณ ในช่วงปีค.ศ. 2005 – 2014 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านั้นโดยเฉลี่ย (ประมาณ ค.ศ. 1951 – 2004) โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นในพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า โดยประมาณที่ 0.11 °C ต่อความสูง 100 ม. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยระหว่างช่วงแวลาดังกล่าวรายวันของแต่ละพื้นที่แสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงจากอุณหภูมิสูงหรือความเย็นไม่เพียงพอมากขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาวมากกว่าช่วงฤดูร้อน

จ) การเปลี่ยนแปลงระยะยาวจากข้อมูลสถานีตรวจวัดกรมทรัพยากรน้ำ

เนื่องจากกรมทรัพยากรน้ำมีข้อมูลรายวันหลายสถานีและมีความละเอียดสูงในบางสถานี คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกวิเคราะห์บางตัวแปรและบางสถานีที่มีข้อมูลเพียงพอเท่านั้น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในช่วงปี ค.ศ. 1965 – 2004 เทียบกับค่าเฉลี่ยปี ค.ศ. 2005 – 2014 แสดงถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นอุณหภูมิสูงสุดเพิ่มมากขึ้นกว่าอุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉพาะอุณหภูมิในช่วยฤดูหนาวอุณหภูมิสูงสุดลดลงในฤดูร้อนและฤดูฝนอุณหภูมิต่ำสุดลดลงในหลายสถานี เช่นเดียวกับข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา แต่ผลแสดงแนวโน้มปริมาณน้ำฝนที่ลดลงในสถานีส่วนใหญ่ซึ่งส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลงด้วย ขัดแย้งกับข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา อย่างไรก็ตาม ข้อมูลชุดนี้ขาดความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลโดยส่วนมาก และการขัดแย้งของผลต่อปริมาณน้ำท่าอาจจะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอื่นๆของลุ่มน้ำเหล่านี้ เช่นการจัดการที่ดินและการใช้น้ำ

ฉ) แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเปรียบเทียบกับความสูงจากระดับน้ำทะเล

คณะผู้วิจัยได้แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและตัวแปรการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเปรียบเทียบกับความสูงจากระดับน้ำทะเล แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ภาคเหนือมีแนวโน้มอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทศวรรษหลัง โดยพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ต่ำกว่า โดยประมาณที่ 0.11 °C ต่อความสูง 100 ม. แต่การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในพื้นที่สูงและพื้นที่ราบมีค่าประมาณเท่ากัน และไม่แสดงความสัมพันธ์ของค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเทียบกับความสูงหรือการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอื่นเทียบกับความสูง

3. วิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงเทียบกับแบบจำลอง

คณะผู้วิจัยได้เปรียบเทียบข้อมูลจริงกับแบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่มีอยู่แล้วเช่น การศึกษาของศุภกรและคณะ (2551) ที่ใช้สถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามการคาดการของ IPCC SRES A2 ที่แสดงอุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดและจำนวนวันที่ร้อนจะสูงขึ้นแต่จำนวนวันที่เย็นจะลดลงซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยนี้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิสูงขึ้นในทุกพื้นที่ และได้แสดงถึงความสำคัญของลักษณะภูมิประเทศต่ออุณหภูมิ แต่ทุกพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นเท่าๆ กัน สอดคล้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของเราได้แสดงให้เห็นว่าบางพื้นที่มีอุณหภูมิที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในช่วง 15 ปีหลังนี้ นอกจากนี้เรายังพบว่าอุณหภูมิฤดูหนาวเปลี่ยนแปลงมากกว่า

ฤดูร้อนในพื้นที่ส่วนใหญ่ และอุณหภูมิในพื้นที่สูงเปลี่ยนแปลงมากกว่าในพื้นที่ราบในด้านปริมาณน้ำฝน งานวิจัยของศุภกรและคณะ (2551)แสดงถึงแนวโน้มเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝนและจำนวนวันที่ฝนตก สอดคล้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลของการศึกษานี้ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเป็นไปอย่างช้าๆ ตามการพยากรณ์ของศุภกรและคณะ (2551)แต่งานของเราแสดงถึงปริมาณน้ำที่สูงขึ้นมากกว่า 10% ในหลายพื้นที่

4. การสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศ

4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพภูมิอากาศระยะยาวและการเปรียบเทียบข้อมูลกาลอากาศพื้นที่สูงและพื้นที่ราบ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่สม่ำเสมอในทุกพื้นที่เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงที่มีตัวแปรความสูงจากระดับน้ำทะเลเกี่ยวข้อง โดยมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง 0.11 $^{\circ}$C ต่อความสูง 100 ม. ต่อ 35 ปี หรือคิดเป็น 0.03 $^{\circ}$C ต่อความสูง 100 ม. ทุก 10 ปี และสามารถใช้หลักการนี้เป็นพื้นฐานในการพยากรณ์อุณหภูมิในอนาคตได้ และสอดคล้องกับแบบจำลองที่มีผู้วิจัยอยู่แล้ว

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนและฤดูกาล

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบพยากรณ์น้ำฝนโดยการสร้างความสัมพันธ์จากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรภูมิอากาศและสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆที่มี โดยแบบจำลองนี้สามารถพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ฤดูกาลและหลายๆ ฤดูกาลก่อนหน้าได้ โดยการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 3 4 และ 5 ฤดูกาล มีความแม่นยำด้วยค่า R^2 เท่ากับ 0.98431 0.97101 0.93001 และ 0.79463 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยความแม่นยำได้อย่างน้อย 1 – 2 ปีก่อนหน้า

5. การจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศ

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างฐานข้อมูลอากาศด้วย SQL SERVER 2008 ด้วย asp.net โดยที่ต้องวิเคราะห์ระบบเดิมและพัฒนาระบบใหม่ โดยขณะนี้อยู่ในระหว่างการสร้างวิธีสืบค้นหา และจะมีการจัดกระบวนการพัฒนาและออกแบบฐานข้อมูลกาลอากาศ ทั้งนี้ได้มีการออกแบบฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงที่มีอยู่แล้วและมีการประชุมเพิ่มเติมกับผู้ใช้เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลให้เหมาะสม เมื่อวันที่ 7 เดือนกันยายน พ.ศ. 2558

Executive Summary

Climate is a key to agriculture, especially in the highlands of Thailand that relies on rain-fed practice. Climate change can significantly affect the quality and quantity of agricultural production through the change of the amount of water, temperature, and other variables. Climate change can increase of risk of damage, change optimal freezing period for flowering, and the distribution of disease. Although various agencies are starting to realize impacts from climate change, climate forecast and study the impact of climate change on the highlands are limited. The meteorological monitoring stations in the area mostly provide short-term data during the last 5-10 years which cannot be used to analyze long-term changes. This research project aim to collect and analyze climate change data in the highlands of northern Thailand through intensive statistical and mathematical analyses. We are also providing a climate database for Northern Thailand and focuses on the analysis of the relationship of climate change in highlands versus lowlands. We have also created and improved climate prediction model for the study area. The database and climate model can help improve agricultural research and development plan.

Research results

1. Data collection

1.1 Meteorological Data Collection

The research team contacted the relevant authorities that are monitoring weather in the north. Results include data from the Thai Meteorological Department, the Royal Irrigation Department, The Department of Water Resources, The Royal Project, and the Highland Research and Development Institute (Public Organization). Factors recorded includes the coordinates of the stations, elevation from MSL, average temperature, maximum temperature, minimum temperature, average rainfall, minimum rainfall, maximum rainfall, discharge, evaporation, humidity, cloud cover, radiation, wind speed, and wind direction. Data from the Thai Meteorological Department is considered the most complete with long-term, continuous data with the most variables from over 60 years in a lot of sites. The Department of Water Resources also provide many variables, but most stations lack continuity and there are only 29 stations that have reasonably continuous data that are being analyzed here.

1.2 Data collection from Paleoclimatic Indices

Data from dendrochronology and speleothems from highlands of northern Thailand were collected and analyzed for long term climate change patterns and important features of northernclimate data. ENSO is one of the most important ocean-atmospheric coupling that are reportedly tied to the

extreme weather conditions such as drought, flood, and extreme heat in northern Thailand. Therefore, it is important to analyze the impact of ocean-atmospheric coupling which would help to make more accurate forecasts.

1.3 Ocean-atmospheric climate coupling data

The researchers collected data of climate indices which includes important ocean-atmospheric climate coupling phenomenon such as ENSO as stated above.

2. Data analysis

2.1 Analysis of factors related to climate prediction

The researchers used Correlation Analysis to find the relationships between between climate indices, Ocean-Atmospheric indices, and and other factors that may be related to climate pattern to use to design climate forecast. We also analyzed the correlation coeffcient in different timeframe (Cross-correlation Coefficient) to determine whether any variables have lag-time relation to other variables. This is useful for climate forecast to determine if a variable can be predicted ahead of other variables or not. The result of this calculation shows that variables react before other variables in advance for months. We use the data from TMD and ocean-atmospheric climatic couples for this analysis. We also found that ENSO index, such as Nino 3.4 index, are associated with climate patterns.

2.2 Analysis of Long-term Climate Change in Northern Thailand

The researchers used statistical and mathematical methods to analyze climate data from over 10 years ago to observe the pattern of climate change. Long-term meteorological data analysis shows similar patterns of changes in both in lowlands and highlands in most data set. For example, the monthly data over long periods and analyzing data and daily time in the past (before AD 2005) and the last decade (AD 2005-2014) shows similar pattern of climate change and change in frequency of climate extremes similarly. The researchers especially focus on temperature and water variable due to their importance to agriculture. The results can be summarized as below.

A) Regardless of site elevation, data from areas that are nearby likely changes in patterns, as the examples from the stations in Tak Provincce. These sites have similar patterns of rainfall and temperature changes. Elevation of the sites do not have a relationship with the degree of changes of precipitation, but has the effect on temperature change.

B) Changes of monthly rainfall and temperature trends by Provinces

The researchers used data for January as an example of to mid-winter, dry period and July to show a warmer rainy season. Data of average maximum temperature and minimum rainfall also

shows changes of these parameters at each station. At most sites, significant increase of rainfalls ae observed in both season. The maximum temperature and minimum temperature increased by 1-2 °C over 25 years in many areas. Average temperature only change slightly.

C) The risk of extreme weather in the study area.

The research team calculated statistical risk of extreme climate conditions. The risk of Temperature higher than 35 and 30 °C show that at these higher temperatures dropped in about 50% of all stations, but there are only 7 stations (33%) of the stations that show increasing maximum temperatures. On the other hand, there is a decrease of number of days below 16°C at 57% of stations, but there are equal number of stations with both increase and decrease of number of days below 16°C. Most sites show a decrease of no-rain days and the increase of rainy days with over 100 mm precipitation. Thus the results show that there is more rainfall and more frequent heavy rains, with a reduction of drought.

D) Seasonality and long-term change based on the data from the Meteorological Department

To observe the long-term climate change,researchers compared the average daily meteorological data from years prior to AD 2005 to the average from years AD 2005- 2014. Most Thai Meteorological Department stations show increased rainfall. In most areas, rainfall has increased in the last 15 years by 85-145 mm per year (about 0.5 mm per day) on average. This is equivalent of an increase of up to 10% of average rainfall. Rainfall starts earlier during the months of April-May. In addition, the station also shows wind speeds increase, which may adversely affect the farmers.

The analysis of temperature data show that temperature has risen by 0.5 - 1°C during year AD 2005 to 2014 comparing to the data prior to AD 2005 (~AD951 – 2004). In average, temperature change occurs at about the rate of 0.11 °C per 100 m of elevation increase. The risk of high temperatures or insufficient cooling can increase and the temperature increases occur more during winter than summer.

E) Long-term changes based on the data from the Department of Water Resources

DWR provides data with many variables with high frequency for a long period of time. However, data are not continuous most site so the researchers chose to analyze only data from 29 stations. Changes of climate parameters from AD1965 - 2004 compared to the average from AD 2005 - 2014 shows a higher temperature, maximum temperature, and minimum temperature. Greater temperature increase during winter months are observed, with a decline in summer and rainy season. Minimum temperature dropped at several stations. Contrasting to TMD data, the results show the trend of lower rainfall in most stations, which resulted in reduced runoff but this can be due to the lack of continuity of data. Also, land use and water management changes can alter water usages and reduced overall discharge even if rainfall increases.

F) Climate change versus site elevation above sea level

From the analysis of the relationships of changing climate variables (including rainfall and temperature) to elevation from mean sea level, northern Thailand has overall trend of temperature increase in the last decade. The area at high elevation exchibit higher proportional increase of temperature and it is estimated that temperature rises at 0.11 °C per 100 m increase in the last 25 years. However, changes of rainfalls are more uniform regardless of elevation. Other variables also do not show a pattern of changes in comparison to elevation.

3. Analysis of climate change in northern Thailand comparing to models

Researchers compared this set of data with other existing climate change models, such that of Subhakorn et al (2551) that calculate changes based on gas carbon dioxide increase scenario IPCC SRES A2. The models show that average temperature maximum and minimum number of hot days will increase, but the number of cold days will decreasewhich is similar to the finding from this research. The model shows the importance of geography to temperature but every area equally heats up. However, our research show area with much less temperature change and that we also found that significantly more temperature changes in winter than summer in most areas. In addition, elevation plays a role in temperature change in our analysis. In terms of rainfall, Subhakorn's research shows a trend of increasing rainfall and number of rainy days, similar to our study. However, the degree of change by the model is slower than our analysis with an increase of over 10% of water in the last decades.

4. Climate Model for Northern Thailand

4.1 Temperature Changes

The analysis of long-term climate data and weather data comparison upon the highlands and plains. Reflect the changing temperatures consistently in all areas as the rate of change with variable height from sea level is associated. The changing trends 0.11 °C to a height of 100 m in 35 years or faster or up to 0.03 °C per 100 m in every 10 years. This principle can be used as basic temperature models for highlands and is consistent with the model that has already been researched.

4.2 Changes in rainfall and the season.

Our research team created a new rainfall forecast model to predict seasonal precipitation for study area based on mathematical relationships between climate variables and the environment. The model is able to forecast one season and many seasons earlier. The forecast of 2, 3, 4, 5 seasons in

advance shows very high accuracy with R^2 values of 0.98431, 0.97101, 0.93001, and 0.79463, respectively. Thus, the model can forecast with high precision at least 1-2 years in advance.

5. Climate Database

The research team designed and built climate database using SQL SERVER2008 with asp.net. In order to create the database, we analyzed existing systems and attempt to develop the new systems. The research team is in the process of finalizing it and try to design to make it compatable with the existing climate database at HRDI. We are organizing workshops and meetings in September to gather important information from users at HRDI to finalize the design.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
คณะผู้วิจัย	ข
บทสรุปผู้บริหาร	ง
Executive Summary	ฌ
สารบัญเรื่อง	ฑ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ต
บทคัดย่อ	ศ
Abstract	ส
บทที่ 1 บทนำและวัตถุประสงค์	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	4
2.1 การศึกษาสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย	5
2.2 ข้อมูลสภาพอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทยและการศึกษาดัชนีสภาพอากาศระยะยาวเพื่อค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.3 ผลกระทบจากการจัดการโดยมนุษย์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อม	8
2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสถิติของการทำนายปริมาณน้ำฝน	11
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	14
3.1 วิธีการวิจัย	14
3.2 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	20
3.3 สถานที่ดำเนินการวิจัย	20
บทที่ 4 ผลการวิจัย	21
4.1 แผนงานโดยสรุป	21
4.2 แหล่งที่มาของการเก็บรวบรวมข้อมูล	21

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
4.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบนพื้นที่สูง ดัชนีสภาพภูมิอากาศ และดัชนี ocean-atmosphere climate coupling	22
4.4 ประเมินข้อมูลจากปัจจุบันและอดีตเชิงสถิติ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง	37
4.5 วิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง เทียบกับแบบจำลอง	198
4.6 แบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศ	205
4.7 ฐานข้อมูลกาลอากาศ	222
4.8 การจัดการอบรมเกี่ยวกับการใช้ฐานข้อมูลกาลอากาศภาคเหนือเพื่อการวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทย	
บทที่ 5 วิจารณ์ผลการวิจัย	240
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย	242
เอกสารอ้างอิง	243
ภาคผนวก	249
ตารางสรุปเปรียบเทียบแผนงานวิจัยกับผลงานวิจัย	250
ข้อเสนอแนะ	251
ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน	252
ภาคผนวก 1	253
ภาคผนวก 2	255
ภาคผนวก 3	265
ภาคผนวก 4	266

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	ผลสรุปการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามการพยากรณ์จาก Global Climate Models 4 แบบ	11
3.1	ขอบเขตการดำเนินการจัดทำข้อมูลภูมิอากาศในอดีต ปัจจุบัน และภาพฉายการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะสั้นและระยะยาว	15
3.2	ตัวอย่างปัจจัยและตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศที่ต้องวิเคราะห์	16
4.1	สรุปความสมบูรณ์ของข้อมูลจากหน่วยงานหลัก	28
4.2	สรุปคุณภาพข้อมูลเชิงดัชนี Ocean-Atmospheric Coupling	35
4.3	จำนวนจุดข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา	38
4.4	ความสัมพันธ์ของตัวแปรสภาพภูมิอากาศต่างๆจากข้อมูลชุดของกรมอุตุนิยมวิทยา	39
4.5	Cross-correlation Coefficient ระหว่างตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในภาคเหนือ	40
4.6	Correlation Coefficient ของตัวแปรต่างๆ และ ดัชนี Nino 3.4 เดือนมกราคม	42
4.7	Correlation Coefficient ของตัวแปรต่างๆ และ ดัชนี Nino 3.4 เดือนกรกฎาคม	43
4.8	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใน 3 สถานี ณ จังหวัดตาก	44
4.9	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าอุณหภูมิเฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุดของสถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา	51
4.10	เปอร์เซ็นต์ของสถานีที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศรุนแรง	113
4.11	แสดงค่าทางสถิติที่ได้จากการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแฟลงแบบเวฟเลตโดยมีโครงสร้าง 25-20-1 ในพื้นที่บริเวณภาคเหนือ	211
4.12	ค่าทางสถิติของชุดทดสอบที่ได้จากการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแฟลงแบบเวฟเลตโดยมีโครงสร้าง 25-10-x ; x = 2,…,5ในพื้นที่บริเวณภาคเหนือ	213
4.13	ค่าทางสถิติของชุดทดสอบที่ได้จากการทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลตโดยมีโครงสร้าง 25-10-x ; x = 2,…,5ในสถานีพื้นที่สูงทั้ง 5 สถานี (อ.สันทราย, อ. แม่อาย, อ. อุ้มผาง, อ. เมืองตาก, อ. แม่สอด)	216
4.14	ตาราง STATION_CODE	227
4.15	ตาราง ADDRESS_CODE	228
4.16	ตาราง OWNER_CODE	228

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.17	ตาราง DATA CODE	229
4.18	ตัวแปรที่ตั้งสถานีที่ใช้ในฐานข้อมูล	236
4.19	รายชื่อผู้เข้าร่วมการอบรมฐานข้อมูลกาลอากาศจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)	237

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) Highland Research and Development Institute (Public Organization)

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	มูลค่าผลผลิตข้าวในปี พ.ศ. 2552–2554 ในประเทศไทย ช่วงน้ำท่วมในฤดูฝนในปี พ.ศ. 2554 (ค.ศ. 2011) ได้สร้างความเสียหายต่อผลผลิตเป็นอย่างมาก	8
3.1	ตัวอย่างโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นซ่อนตัวเดียว	18
4.1	แผนที่แสดงการกระจายตัวของสถานีข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำ (▲) กรมอุตุนิยมวิทยา (●) และกรมชลประทาน (●)	23
4.2	สถานีข้อมูลและความยาวของข้อมูลแต่ละสถานีจากกรมอุตุนิยมวิทยา	25
4.3	ศูนย์ตรวจวัดสภาพภูมิอากาศพื้นที่โครงการขยายผลโครงการหลวง	27
4.4	แผนที่พื้นที่เก็บตัวอย่างไม้สักจากจังหวัดตากและจังหวัดแม่ฮ่องสอน	31
4.5	ดัชนีไม้สัก (เส้นบาง) และปริมาณน้ำฝนที่ถูกจำลองเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคมในอดีต (เส้นทึบ)	31
4.6	เส้นความแห้งแล้งรุนแรง (PDSI) ค่าความแห้งแล้งรุนแรงจริง (เส้นสีแดง) ค่าเฉลี่ยทุกๆ 11 ปี (เส้นสีดำ) ค่าความแห้งแล้งรุนแรงย้อนหลังจำลอง (เส้นสีน้ำเงิน)	32
4.7	แผนที่พื้นที่เก็บตัวอย่างไม้สนสองใบและสนสามใบในภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย	32
4.8	พื้นที่ศึกษาบริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน	33
4.9	เส้นอุณหภูมิจำลองจากไม้สนกับค่าดัชนีอากาศอื่นๆ ในช่วงปี ค.ศ.1834-2003	33
4.10	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเดือนมกราคม ณ สถานีดอยมูเซอร์ จังหวัดตาก ในช่วงปีพ.ศ.1992 – 2014 จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา	45
4.11	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเดือนกรกฎาคม ณ สถานีดอยมูเซอร์ จังหวัดตาก ในช่วงปีพ.ศ.1992 – 2014 จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา	46
4.12	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเดือนมกราคม ณ สถานีอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก ในช่วงปีพ.ศ.1977 – 2014 จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา	47
4.13	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเดือนกรกฎาคม ณ สถานีอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก ในช่วงปีพ.ศ.1992 – 2014 จากข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา	48
4.14	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเดือนมกราคม ณ สถานีเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก ปี พ.ศ. 1961 – 2014	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.15	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเดือนกรกฎาคม ณ สถานีเขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก ในช่วงปี พ.ศ. 1961 – 2014	50
4.16	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าเดือนมกราคม ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	53
4.17	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณหยาดน้ำฟ้าเดือนกรกฎาคม ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	54
4.18	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือนมกราคมณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	55
4.19	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือนกรกฎาคมณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	56
4.20	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเดือนมกราคมณสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	57
4.21	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเดือนกรกฎาคม ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	58
4.22	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเดือนมกราคมณสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	59
4.23	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเดือนกรกฎาคมณสถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	60
4.24	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาห้างฉัตร จังหวัดลำปาง เดือนมกราคม	61
4.25	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาห้างฉัตร จังหวัดลำปาง เดือนกรกฎาคม	62
4.26	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดแม่ฮ่องสอน เดือนมกราคม	63
4.27	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดแม่ฮ่องสอน เดือนกรกฎาคม	64

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.28	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน เดือนมกราคม	65
4.29	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดแม่ฮ่องสอน เดือนกรกฎาคม	66
4.30	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดพะเยา เดือนมกราคม	67
4.31	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดพะเยา เดือนกรกฎาคม	68
4.32	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดน่าน เดือนมกราคม	69
4.33	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดน่าน เดือนกรกฎาคม	70
4.34	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง 2 จังหวัดน่าน เดือนมกราคม	71
4.35	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง 2 จังหวัดน่าน เดือนกรกฎาคม	72
4.36	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน เดือนมกราคม	73
4.37	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน เดือนกรกฎาคม	74
4.38	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอทุ่งช้าง จังหวัดน่าน เดือนมกราคม	75
4.39	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอทุ่งช้าง จังหวัดน่าน เดือนกรกฎาคม	76
4.40	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมืองจังหวัดอุตรดิตถ์ เดือนมกราคม	77

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.41	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ เดือนกรกฎาคม	78
4.42	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย เดือนมกราคม	79
4.43	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย เดือนกรกฎาคม	80
4.44	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอศรีสำโรง 2 จังหวัดสุโขทัย เดือนมกราคม	81
4.45	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอศรีสำโรง 2 จังหวัดสุโขทัย เดือนกรกฎาคม	82
4.46	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดตาก เดือนมกราคม	83
4.47	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดตาก เดือนกรกฎาคม	84
4.48	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เดือนมกราคม	85
4.49	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เดือนกรกฎาคม	86
4.50	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอสามเงา จังหวัดตาก เดือนมกราคม	87
4.51	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอสามเงา จังหวัดตาก เดือนกรกฎาคม	88
4.52	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดตาก เดือนมกราคม	89
4.53	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดตาก เดือนกรกฎาคม	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.54	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก เดือนมกราคม	91
4.55	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก เดือนกรกฎาคม	92
4.56	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เดือนมกราคม	93
4.57	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก เดือนกรกฎาคม	94
4.58	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เดือนมกราคม	95
4.59	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ เดือนกรกฎาคม	96
4.60	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เดือนมกราคม	97
4.61	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ เดือนกรกฎาคม	98
4.62	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ เดือนมกราคม	99
4.63	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ เดือนกรกฎาคม	100
4.64	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร เดือนมกราคม	101
4.65	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร เดือนกรกฎาคม	102
4.66	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร เดือนมกราคม	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.67	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร เดือนกรกฎาคม	104
4.68	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เดือนมกราคม	105
4.69	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เดือนกรกฎาคม	106
4.70	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง 2 จังหวัดเชียงราย เดือนกรกฎาคม	107
4.71	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เดือนกรกฎาคม	108
4.72	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เดือนมกราคม	109
4.73	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เดือนกรกฎาคม	110
4.74	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เดือนมกราคม	111
4.75	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เดือนกรกฎาคม	112
4.76	สัญลักษณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสำหรับแผนที่ต่างๆ	113
4.77	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวนวันที่ฝนตกน้อยกว่า 10 มม. ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	114
4.78	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวนวันที่ฝนตกมากกว่า 100 มม. ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	115
4.79	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 °C ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	116
4.80	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวนวันที่อุณหภูมิต่ำกว่า 16 °C ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.81	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 °C ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	118
4.82	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงจำนวนวันที่อุณหภูมิสูงกว่า 35 °C ณ สถานีตรวจวัดกรมอุตุนิยมวิทยา	119
4.83	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (300201)	120
4.84	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีแม่สะเรียง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (300202)	121
4.85	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย (303201)	122
4.86	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย (303301)	123
4.87	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา (310201)	124
4.88	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีดอยอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ (327202)	125
4.89	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรแม่โจ้ (327301)	126
4.90	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (327501)	127
4.91	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง (328201)	128
4.92	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีเถิน อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง (328202)	129
4.93	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง (328301)	130

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.94	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีลำพูน อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน (329201)	131
4.95	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีแพร่ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ (330201)	132
4.96	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีน่าน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน (331201)	133
4.97	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน (331301)	134
4.98	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีท่าวังผา อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน (331401)	135
4.99	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีทุ่งช้าง อำเภอทุ่งช้าง จังหวัดน่าน (331402)	136
4.100	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ (351201)	137
4.101	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีสุโขทัย อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย (373201)	138
4.102	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรศรีสำโรง อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย (373301)	139
4.103	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก (376201)	140
4.104	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (376202)	141
4.105	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีเขื่อนภูมิพล อำเภอสามเงา จังหวัดตาก (376203)	142
4.106	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอร์ อำเภอเมือง จังหวัดตาก (376301)	143

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.107	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุ้มผาง อำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก (376401)	144
4.108	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก (378201)	145
4.109	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ (379201)	146
4.110	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีหล่มสัก อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ (379401)	147
4.111	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีวิเชียรบุรี อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ (379402)	148
4.112	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีกำแพงเพชร อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร (380201)	149
4.113	ข้อมูลภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรพิจิตร อำเภอเมือง จังหวัดพิจิตร (386301)	150
4.114	ข้อมูลภูมิอากาศเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดอากาศ 31 สถานี	151
4.115	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการคายระเหย ณ สถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา	152
4.116	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลความเร็วลม ณ สถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา	153
4.117	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ณ สถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา	154
4.118	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวัน ณ สถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา	155
4.119	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนรวม ณ สถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา	156
4.120	แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ย ณ สถานีตรวจวัด กรมอุตุนิยมวิทยา	157
4.121	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม)ณ สถานีแม่ฮ่องสอน อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (300201)	158

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.122	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม)ณ สถานีเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย (303201)	158
4.123	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย (303301)	159
4.124	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีพะเยา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา (310201)	160
4.125	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีแม่สะเรียง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (300202)	160
4.126	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีดอยอ่างขาง อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ (327202)	161
4.127	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรแม่โจ้ (327301)	161
4.128	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (327501)	162
4.129	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีลำปาง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง (328201)	162

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.130	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีเถิน อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง (328202)	163
4.131	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลำปาง อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง (328301)	163
4.132	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีลำพูน อำเภอเมือง จังหวัดลำพูน (329201)	164
4.133	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีแพร่ อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ (330201)	164
4.134	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรน่าน อำเภอเมือง จังหวัดน่าน (331301)	165
4.135	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีท่าวังผา อำเภอท่าวังผา จังหวัดน่าน (331401)	165
4.136	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีทุ่งช้าง อำเภอทุ่งช้าง จังหวัดน่าน (331402)	166
4.137	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์ (351201)	167
4.138	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีสุโขทัย อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย (373201)	167

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.139	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีทุ่งช้าง อำเภอทุ่งช้าง จังหวัดน่าน (331402)	168
4.140	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก (376201)	168
4.141	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก (376202)	169
4.142	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีเขื่อนภูมิพล อำเภอสามเงา จังหวัดตาก (376203)	170
4.143	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า) และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรดอยมูเซอร์ อำเภอเมือง จังหวัดตาก (376301)	170
4.144	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้าและปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) สถานีอุ้มผาง อำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก (376401)	171
4.145	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า)และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก (378201)	171
4.146	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้าและปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ (379201)	172

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.147	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้าและปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีหล่มสัก อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ (379401)	172
4.148	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้าและปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) สถานีวิเชียรบุรี อำเภอวิเชียรบุรี จังหวัดเพชรบูรณ์ (379402)	173
4.149	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงตัวแปรสภาพภูมิอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีฟ้า)และปีค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีกำแพงเพชร อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร (380201)	173
4.150	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีแม่น้ำสาละวินที่บ้านแม่สามแลบ อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน	174
4.151	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่ปายที่บ้านปางหมูอำเภอเมือง จังหวัด	175
4.152	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่ปายที่สบแม่สะมาดอำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน	176
4.153	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่ปาย ที่ตั้งเขื่อน (บ้านแปง) อำเภอปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน	177
4.154	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีแม่น้ำเมยที่บ้านท่าสองยาง อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก	178
4.155	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่อุสุที่บ้านพอหน่อท่าใต้ (บ้านแม่อุสุ) อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก	179

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.156	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีศูนย์สำรวจอุทกวิทยาเชียงแสน (แม่น้ำโขงที่เชียงแสน)อำเภอเชียงแสน จังหวัดเชียงราย	180
4.157	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีบ้านห้วยถ้ำ (โครงการห้วยแม่ผง) อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา	181
4.158	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีอำเภอฝางอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่	182
4.159	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีบ้านแม่อาย อำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่	183
4.160	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีบ้านปางต้นแกอ.แม่อาย จ.เชียงใหม่	184
4.161	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีบ้านมูเซอร์ขุนเมา อำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่	185
4.162	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่ปูนหลวงที่ตั้งเขื่อน อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	186
4.163	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่โถที่บ้านห้วยม่วง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	187
4.164	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ.2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่สรวย ที่ตั้งเขื่อน อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย	188
4.165	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ.2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีสนามบินเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย	189

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.166	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ.2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีสัมพันธ์กิจฟาร์ม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย	190
4.167	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีบ้านบัวสลี(อบต.บัวสลี) จังหวัดเชียงราย	191
4.168	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาเชียงราย อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย	192
4.169	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีแม่น้ำปิงที่บ้านตาก อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก	193
4.170	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ.2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาเชียงใหม่ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่	194
4.171	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่ขานที่บ้านสันป่าตอง(บ้านห้วยโท้ง) อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่	195
4.172	เปรียบเทียบตัวแปรสภาพอากาศโดยเฉลี่ยก่อนปี ค.ศ. 2005 (สีน้ำเงิน) และปี ค.ศ. 2005 – 2014 (สีส้ม) ณ สถานีน้ำแม่ตื่นที่บ้านป่าคาอำเภออมก๋อย จังหวัดเชียงใหม่	196
4.173	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างปีค.ศ. 1951 – 2004 และ ค.ศ. 2005 – 2014เปรียบเทียบกับความสูงจากระดับน้ำทะเล	197
4.174	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อวันระหว่างปีค.ศ. 1951 – 2004 และ ค.ศ. 2005 – 2014 เปรียบเทียบกับความสูงจากระดับน้ำทะเล	198
4.175	อุณหภูมิสูงสุดของภาคเหนือในอดีตและจากการพยากรณ์ของศุภกรและคณะ	199
4.176	จำนวนวันที่มีอากาศร้อนในรอบปีบริเวณพื้นที่ภาคเหนือในอดีตและจากการพยากรณ์ของศุภกรและคณะ	200

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.177	อุณหภูมิต่ำสุดบริเวณภาคเหนือในอดีตและจากการพยากรณ์ของศุภกรและคณะ	201
4.178	จำนวนวันที่มีอากาศเย็นในรอบปีบริเวณพื้นที่ภาคเหนือในอดีตและจากการพยากรณ์ของศุภกรและคณะ	202
4.179	ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีบริเวณพื้นที่ภาคเหนือในอดีตและจากการพยากรณ์ของศุภกรและคณะ	203
4.180	จำนวนวันที่ฝนตกในรอบปีบริเวณพื้นที่ภาคเหนือในอดีตและจากการพยากรณ์ของศุภกรและคณะ	204
4.181	หน้าจอของโปรแกรมพยากรณ์น้ำฝนที่ถูกสร้างสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้	206
4.182	โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต	207
4.183	สถานีสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ภาคเหนือที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาล	208
4.184	ตัวอย่างการแปลงเวฟเลตของข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยใช้ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Daubechies2 ที่ resolution ระดับ 1 และ 2	209
4.185	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลจากสถานีในพื้นที่ทางภาคเหนือ	211
4.186	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้า 1 ฤดูจากสถานีในพื้นที่ทางภาคเหนือ	212
4.187	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้า 2 ฤดูจากสถานีในพื้นที่ทางภาคเหนือ	214
4.188	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้า 3 ฤดูจากสถานีในพื้นที่ทางภาคเหนือ	214
4.189	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้า 4 ฤดูจากสถานีในพื้นที่ทางภาคเหนือ	215

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.190	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้า 5 ฤดูจากสถานีในพื้นที่ทางภาคเหนือ	215
4.191	กราฟแสดงผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้าในฤดูที่ 1 จากสถานีอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่	217
4.192	กราฟแสดงผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้าในฤดูที่ 1 จากสถานีอำเภอแม่อาย จังหวัดเชียงใหม่	218
4.193	กราฟแสดงผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้าในฤดูที่ 1 จากสถานีอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก	219
4.194	กราฟแสดงผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้าในฤดูที่ 1 จากสถานีอำเภอเมือง จังหวัดตาก	220
4.195	กราฟแสดงผลที่ได้จากการทำนายและค่าจริงจากการวัดของปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้าในฤดูที่ 1 จากสถานีอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก	221
4.196	ระบบฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบนพื้นที่สูง	223
4.197	แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลระบบฐานข้อมูลกาลอากาศ	226
4.198	ตัวอย่างระเบียนการบันทึกข้อมูลตามโครงสร้างในตาราง STATION_CODE	227
4.199	ตัวอย่างระเบียนการบันทึกข้อมูลตามโครงสร้างในตาราง ADDRESS_CODE	228
4.200	ตัวอย่างระเบียบการบันทึกข้อมูลตามโครงสร้างในตาราง OWNER_CODE	229
4.201	ตัวอย่างระเบียบการบันทึกข้อมูลตามโครงสร้างในตาราง DATA	234
4.202	ตัวอย่างหน้าสืบค้นของเวปไซต์ฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น (www.climatethailand.com)	235

บทคัดย่อ

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในภาคเหนือจากสถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศจาก 5 หน่วยงาน คือ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ มูลนิธิโครงการหลวง และสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) โดยรวบรวมข้อมูลรายวันและรายเดือน (แล้วแต่หน่วยงาน) ย้อนหลังไปมากที่สุดเท่าที่มีข้อมูลจนถึงปัจจุบัน และคณะผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสมบูรณ์และถูกต้องของข้อมูลดังกล่าวก่อนจะนำไปใส่ในฐานข้อมูลข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาเป็นข้อมูลที่สมบูรณ์และมีความต่อเนื่องมากที่สุดในระดับรายวันและสามารถย้อนหลังไปได้มากกว่า 50 ปีในพื้นที่ส่วนใหญ่ คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลและพัฒนาฐานข้อมูล โดยสามารถสรุปผลหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและคณิตศาสตร์เพื่อระบุลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลรายเดือนและรายวันจากการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว และข้อมูลทั้งปีรายวันแสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มปริมาณน้ำฝนสูงขึ้นประมาณ 85 – 100 มม. ในช่วงปีค.ศ. 2005 – 2014 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านั้นโดยเฉลี่ย (ประมาณ ค.ศ. 1951 – 2004) ซึ่งถือเป็นประมาณ 10% ของปริมาณน้ำฝนในปัจจุบัน ความชื้นสัมพัทธ์ก็สูงขึ้นด้วย ทั้งนี้ความสูงจากระดับน้ำทะเลของสถานีไม่แสดงผลเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลง

2. มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงช่วงฤดูฝนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยที่ฤดูฝนเริ่มเร็วขึ้นในพื้นที่ส่วนใหญ่ และมีฝนตกรุนแรงต่อเนื่องกว่าเดิมและจำนวนวันที่แห้งแล้งหรือฝนตกชุกด้วย

3. การวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว และข้อมูลทั้งปีรายวันแสดงว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีแนวโน้มอุณหภูมิสูงขึ้น 0.5 - 1°C โดยประมาณ ในช่วงปีค.ศ. 2005 – 2014 เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้านั้นโดยเฉลี่ย (ประมาณค.ศ. 1951 – 2004) โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นในพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่า โดยประมาณที่ 0.11 °C ต่อความสูง 100 ม. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาดังกล่าวรายวันของแต่ละพื้นที่แสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงจากความอุณหภูมิสูงหรือความเย็นไม่เพียงพอมากขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้นในช่วงฤดูหนาวมากกว่าช่วงฤดูร้อน

4. ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีความสอดคล้องกับแนวโน้มจากการพยากรณ์ระดับพื้นที่จากแบบจำลองของศุภกรและคณะ (พ.ศ. 2551) ที่ใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่พื้นที่ แต่ผลงานของคณะผู้วิจัยชุดนี้แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนแต่ละพื้นที่ไม่เกี่ยวข้องกับความสูงมากนักและมีความแตกต่างจากพื้นที่หนึ่งถึงพื้นที่หนึ่ง และยังมีการแปรปรวนในแต่ละฤดูกาลมาก ดังนั้นการพยากรณ์น้ำฝนระดับพื้นที่ในช่วงแต่ละฤดูกาลเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ที่จะช่วยส่งเสริมการวางแผนทางการเกษตร

5. คณะผู้วิจัยได้ออกแบบพยากรณ์น้ำฝนโดยสร้างสมการความสัมพันธ์จากค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรภูมิอากาศและสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆที่มี โดยแบบจำลองนี้สามารถพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ฤดูกาลและหลายๆ ฤดูกาลก่อนหน้าได้โดยมีความแม่นยำมากกว่า 90%

6. คณะผู้วิจัยได้สัมภาษณ์ผู้ใช้ฐานข้อมูลของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงเบื้องต้นและได้ออกแบบฐานข้อมูลให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงที่มีอยู่แล้วและจะมีการประชุมเพิ่มเติมกับผู้ใช้เพื่อพัฒนาฐานข้อมูลให้เหมาะสมต่อไป

Abstract

The research team collected and analyzed climate change in the north of Thailand using meteorological stations from five agencies, including the Department of Meteorology, Department of Water Resources, the Royal Irigation Department, the Royal Project, and the Highland Research and Development Institute. The data are in daily and monthly format depending on the agency dated as far back as the data is available. The data were then screened for quality control prior to the construction of climate database. Data from the Thai Meteorological Department (TMD) is the most complete with highest continuity in daily resolution and is dating back over 50 years in most area. The finding includes the following:

1. The research team analyzed the statistics and mathematics to identify climate change in the long term. The analysis of monthly and daily data in winter and summer seasonsand daily data shows that most areas have an increase by 85-100 mm during AD 2005 - 2014 compared prior year average (~ AD 1951 - 2004). That accounts for 10% of the rainfall. Relative humidity also increased. Site elevation do not have a linear relationship with rainfall changes.

2. Duration of seasonality is likely to change. The timing of rainy season has been changing with an increase of rainy days and longer period of continuous rainy days and well as there is a decrease of dry days.

3. Analysis of Information during the rainy season and winter and all year daily data show that the most likely temperature rises 0.5 - 1°C approximately during AD 2005 - 2014 compared with the average from prior years (~ AD1951 - 2004). There is an impact of elevation to this temperature change as temperature is increasing at the rate of 0.11 °C for every 100 m increase over 35 years average. All daily data shows an increase risk of high temperatures and perhaps insufficient freezing period for trees. The b changes is higher in winter than during summer.

4. Analysis of the changing trends are consistent with the results from other existing models, such as that of Suwanno et al (2551) that is widely used. The similar patterns include temperature increases uniformly across the landscape. The results of this research show that the rainfall change in each area does not depend on site elevation and there are increasing change in seasonal variations. Thus, rain forecast for the area is especially important to improve agricultural planning.

5. Our team created a new rain forecast model specifically for northern region using mathematical relationships of climate and environmental variables. The model is able to forecast 1-5 seasons in advance with high accuracy.

6. Basic climate database and web interface has been created in accordance with the existing HRDI climate. There will be more meetings with users and stakeholders to improve the design of the database in the next phase.